



Rekenregels van de KringloopWijzer 2018

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2017-versie

J.J. Schröder, L.B. Šebek, J. Oenema, J.G. Conijn, Th. Vellinga & J. de Boer



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Rekenregels van de KringloopWijzer 2018

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2017-versie

J.J. Schröder, L.B. Šebek, J. Oenema, J.G. Conijn, Th. Vellinga & J. de Boer

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

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

Wageningen, april 2019

Rapport WPR-883

Schröder, J.J., L.B. Šebek, J. Oenema, J.G. Conijn, Th. Vellinga & J. de Boer, 2019. *Rekenregels van de KringloopWijzer 2018; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2017-versie*. Wageningen Research, Rapport WPR-883. 128 blz.; 7 fig.; 52 tab.; 69 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/475701>

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

© 2019 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-883

Foto omslag: Melkkoeien in een kwetsbare omgeving

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Waarom een KringloopWijzer?	5
1.2	De kringlopen in meer detail	7
1.3	Bronnen van N-verlies	10
1.4	Benuttingen	11
1.4.1	Algemeen	11
1.4.2	Benutting op bedrijfsniveau	11
1.4.3	Benutting op dierniveau	12
1.4.4	Benutting op mestniveau	12
1.4.5	Benutting op bodemniveau	12
1.4.6	Benutting op (ruwvoer)gewasniveau	12
1.5	Beperkingen van de KringloopWijzer	12
1.6	Leeswijzer	13
2	Kengetallen	14
2.1	BEX, excreties door niet-melkvee en mestscheiding	14
2.1.1	Inleiding	14
2.1.2	Berekeningswijze	14
2.1.3	Mestproductie door overige graasdieren	22
2.1.4	Mestproductie door 'staldieren'	23
2.1.5	Mestscheiding	26
2.1.6	Kanttekeningen bij BEX en de mestproductie van overige graasdieren en 'staldieren'	27
2.2	BEA	29
2.2.1	Inleiding	29
2.2.2	Berekeningswijze	29
2.2.3	Kanttekeningen bij BEA	44
2.3	BEN: bedrijfsspecifieke N stromen	46
2.3.1	Inleiding	46
2.3.2	Berekeningswijzen	46
2.3.3	Kanttekeningen bij BEN	64
2.4	BEP: bedrijfsspecifieke P-stromen	66
2.4.1	Inleiding	66
2.4.2	Berekeningswijze	67
2.4.3	Kanttekeningen bij BEP	69
2.5	BEC: bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO ₂ equivalenten	70
2.5.1	Inleiding	70
2.5.2	Omrekening van methaan en lachgas naar CO ₂ -equivalenten	72
2.5.3	Allocatie van emissies naar melk en verkoop van dieren	72
2.5.4	Berekening van de emissie van landgebruiksverandering	72
2.5.5	Waar komen welke emissies tot stand?	73
2.5.6	Berekeningswijzen	73
2.5.7	Kanttekeningen bij BEC	92
	Literatuur	94
	Bijlage 1 Verwijzing van kengetallen naar desbetreffende paragraaf van dit rapport	97
	Bijlage 2 Definitie en berekening van aanvullende kengetallen	99
	Bijlage 3 Acronymenlijst	106

Bijlage 4	Tabellen	115
Bijlage 5	Enterische methaanemissie	120
Bijlage 6	Emissiecoëfficiënten	125

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 kunnen verliezen van lachgas-N, methaan en koolzuur een broeikas effect hebben. 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.

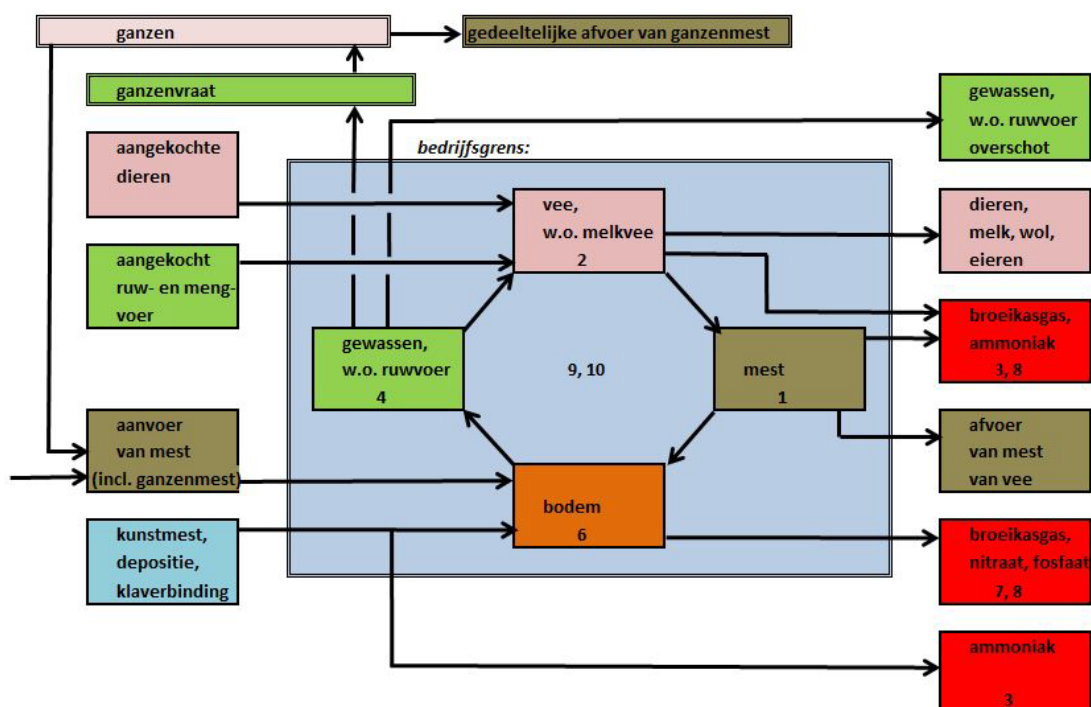
Het project 'KringloopWijzer' heeft tot doel een instrument te ontwikkelen, te toetsen en de introduceren die de kringloop en de verliezen van N, P en C wetenschappelijk, integraal, eenduidig en betrouwbaar in beeld brengt. Aanvankelijk gebeurde dit alleen voor gespecialiseerde melkveehouderijbedrijven, 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) 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, uitrijden dierlijke mest en gebruik 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 kunstmest en dierlijke mest (inclusief de excretie van ganzen);
6. Bodemoverschot van N en P_2O_5 en de toevoer van effectieve organische stof aan de bodem van het grasland, snijmaïsland en eventuele overige akkerbouwgewassen (ruwvoer en niet-ruwvoer);
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 en C;
10. Efficiëntie van het bedrijf (=deel van aangevoerde mineralen dat in melk, vlees dan wel (af te voeren) niet-ruwvoer akkerbouwgewassen wordt omgezet): benutting N en P_2O_5 in aangekocht voer of aangekochte meststoffen.

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



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

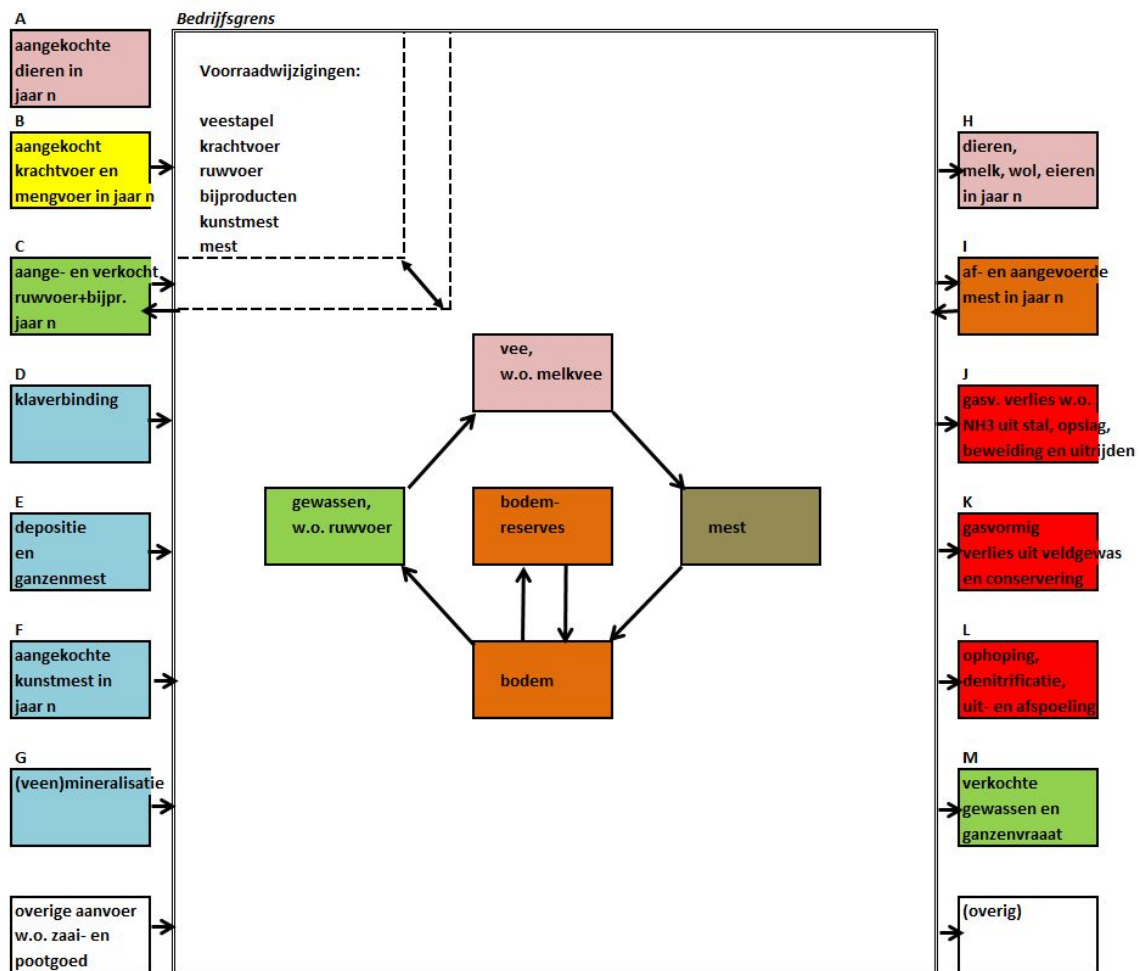
1.2 De kringlopen in meer detail

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

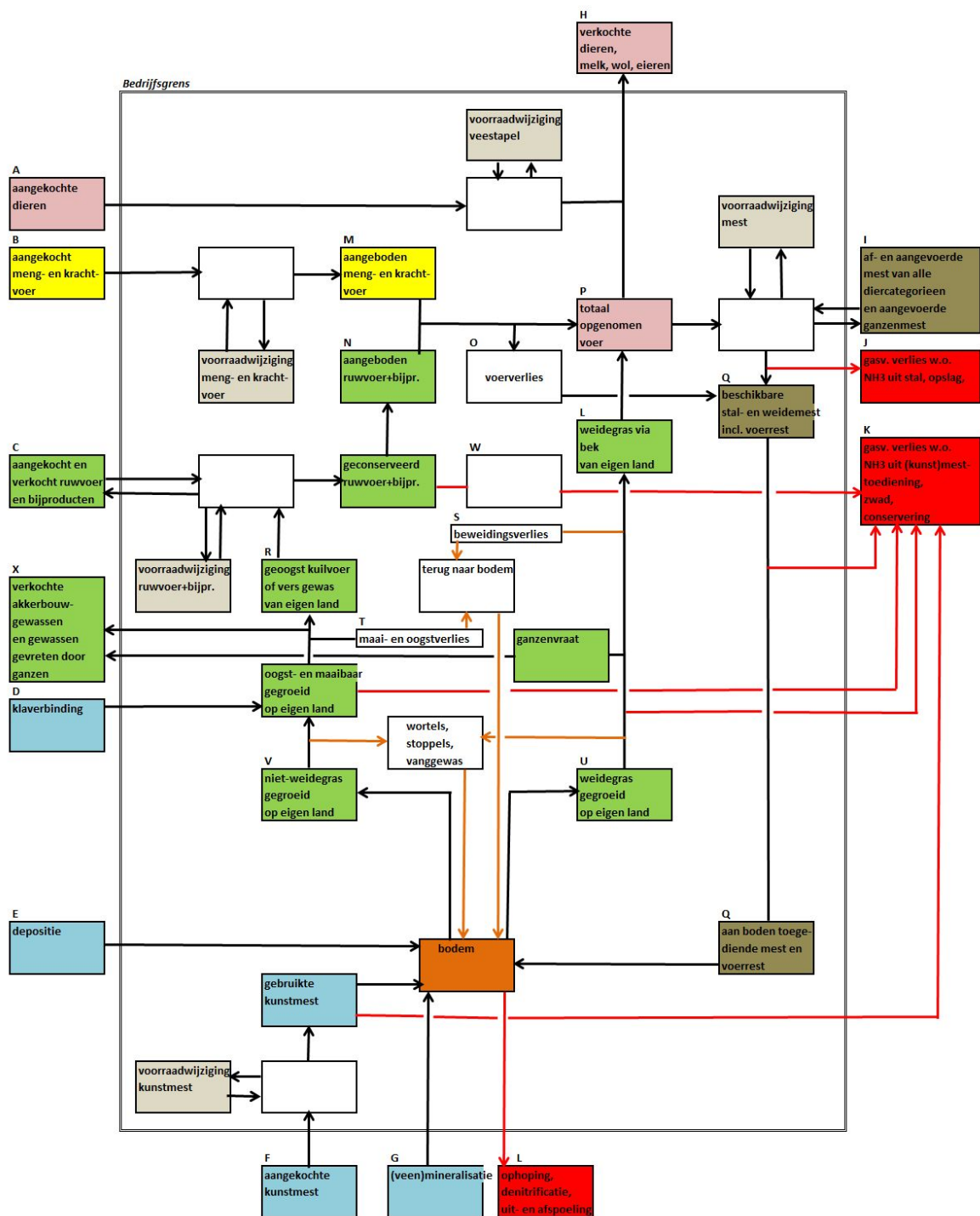
Tabel 1.1 Door de KringloopWijzer gehanteerde procentuele veldverliezen (beweidingsverliezen bij weidegras, maaiverliezen bij gemaaid gras, oogstverliezen bij maïs), conserveringsverliezen en vervoederingsverliezen.

	Veldverlies	Conserveringsverlies				Vervoederingsverlies
	DS, VEM, N, P	DS	VEM	N	P	DS, VEM, N, P
Weidegras, beperkt weiden	15	0	0	0	0	0
Weidegras, onbeperkt weiden	20	0	0	0	0	0
Weidegras, stalvoeding	5	0	0	0	0	0
Gemaaid gras ten behoeve van inkuilen	5	10	15	3	0	5
Snijmaïs	2	4	4	1	0	5
Overig zelf geteeld ruwvoer	2	4	6	1.5	0	3
(aangevoerde) natte bijproducten	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

* Bij aanvoer van deze producten vinden eventuele veldverliezen namelijk elders plaats.



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.

	N (kg/ton)	P ₂ O ₅ (kg/ton)	TAN (%)	SG (ton/m ³)	OS/N -
Graasdieren drijfmest, mestcode 14	4,0 ¹	1,5 ¹	48 ¹	1,005 ¹	17,8 ¹
Weidemest graasdieren ²	4,0 ¹	1,5 ¹	48 ¹	1,005 ¹	17,8 ¹
Graasdieren vaste mest, mestcode 10	6,5	3,2	14 ¹	0,9 ¹	20,1 ¹
Staldieren drijfmest, mestcode 50 ³	6,4	3,8	53 ¹	1,04 ¹	11,3 ¹
Staldieren vaste mest, mestcode 39 ⁴	31,3	15,4	25 ¹	0,605 ¹	12,3 ¹
Compost ⁵	7,0 ¹	3,3 ¹	9 ¹	0,8 ⁶	30,1 ¹
Dunne fractie, mestcode 11	4,9 ¹	2,0 ¹	61 ¹⁰	1,02 ¹	7,0 ¹
Dikke fractie, mestcode 13	9,2 ¹	8,4 ¹	29 ¹	0,9 ⁷	16,5 ¹
Kunstmestvervangers (mineralenconcentraat, spuiwater)	7,3 ⁸	0,5 ⁸	90 ⁸	1,005 ¹	2,9 ⁸
Digestaat ⁹	5,6 ¹	3,1 ¹	74 ¹	1,005 ¹	6,0 ¹
Overig ²	4,0 ¹	1,5 ¹	48 ¹	1,005 ¹	17,8 ¹
(Graasdieren, dunne fractie) ¹⁰	(3,4)	(1,0)	(60)	(1,005)	(13,7)
(Graasdieren, dikke fractie) ¹⁰	(7,3)	(4,1)	(22)	(0,9)	(26,4)
(Staldieren, dunne fractie) ¹⁰	(6,1)	(2,6)	(64)	(1,005)	(8,8)
(Staldieren, dikke fractie) ¹⁰	(10,8)	(9,1)	(29)	(0,9)	(17,1)

¹ Den Boer et al., 2012.

² Als graasdieren drijfmest.

³ Als vleesvarkens drijfmest.

⁴ Als vleeskuikens vaste mest.

⁵ Gemiddelde GFT en groencompost.

⁶ www.handboekbemesting.nl.

⁷ Als vaste mest.

⁸ Velthof, 2011.

⁹ Gemiddelde van rundvee en vleesvarkens en afbraak van Norg van 25-50%.

¹⁰ Omdat de tabel beperkt-plausibele waarden bevat voor dunne en dikke fracties en dit mogelijk is toe te schrijven aan het gebruik van een beperkt aantal analyses van verschillende soorten mest, wordt overwogen om in toekomstige versies van de KringloopWijzer bijgaande cijfers voor dikke en dunne fracties te gebruiken. Daarbij staat gescheiden rundveemest voor 'graasdieren' en gescheiden vleesvarkensmest voor 'staldieren' en is de massabalans-werkwijze gevolgd zoals in www.bemestingsadvies.nl (geraadpleegd op 13 februari 2019).

1.3 Bronnen van N-verlies

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

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

Niet-berekende overige N-verliezen =

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

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

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

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

¹ BEA basis.

² BEA plus.

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

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

⁵ BEN: nitraatuitspoeling.

⁶ BEC: N ophoping als afgeleide uit BEC.

1.4 Benuttingen

1.4.1 Algemeen

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

De volgende benuttingspercentages worden in de KringloopWijzer berekend.

1.4.2 Benutting op bedrijfsniveau

De benutting op bedrijfsniveau wordt gedefinieerd als:

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

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

1.4.3 Benutting op dierniveau

De benutting op dierniveau wordt gedefinieerd als:

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

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

1.4.4 Benutting op mestniveau

De benutting op mestniveau wordt gedefinieerd als:

Mest en voerrest die 'in' de bodem terechtkomt, als fractie van de excretie plus voerrest (= aangeboden voer - melk en vlees gecorrigeerd voor mutatie veestapel) 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 van de KringloopWijzer

De voorliggende versie van de KringloopWijzer kent meerdere beperkingen. De huidige versie houdt bij de berekening van de benuttingen op bedrijfsniveau en bodemniveau behalve met de nuttige output in de vorm van melk en vlees uit melkvee (melkkoeien en bijbehorend jongvee) ook rekening met de nuttige output in de vorm van overige graasdieren (fokstieren, roodvleesstieren, weide- en zoogkoeien, rosékalveren, schapen, geiten, paarden, pony's), dieren uit neventak 'staldieren' en eventueel af te voeren akkerbouwproducten (onder verrekening van dat deel van het voer dat voor andere dieren dan melkvee is ingezet), maar ook de gewassen die onverhoopt door ganzen zijn opgevreten. Waar voor berekeningen getallen met betrekking tot het gebruik van mest nodig zijn,

wordt de mestproductie van de eventuele intensieve veehouderijtak ('staldieren') wel verrekend maar wordt deze niet, zoals bij melkvee, berekend als het verschil tussen de hoeveelheid mineralen in ruwvoer, krachtvoer en bijproducten en de hoeveelheid mineralen in vlees (en bij melkvee vanzelfsprekend de melk), maar volgens een stalbalans geschat op basis van de aanwezige aantallen dieren. Ten aanzien van de mest die door meevretende ganzen binnen het bedrijf wordt uitgescheiden, zijn aanvullende rekenregels ontwikkeld. Voor wat betreft broeikasgassen, houdt de huidige versie van de KringloopWijzer overigens ook rekening met de broeikasgasproductie die het gevolg is van het energieverbruik en de aan de spijsvertering verbonden methaanproductie van een eventuele tak intensieve veehouderij.

Deze versie van de KringloopWijzer kent vooralsnog geen mogelijkheid om de conserveringsverliezen van mengkuilen van ruwvoer en een droog bijproduct nauwkeurig te berekenen. Een onvolkomenheid is verder dat bij de berekening van de emissies van ammoniak en broeikasgassen per ton geproduceerde melk, ook de emissies betrokken worden die door de staldieren worden veroorzaakt.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport behandelt achtereenvolgens de BEX (Bedrijfsspecifieke excretie, paragraaf 2.1), de BEA (Bedrijfsspecifieke emissie van ammoniak, paragraaf 2.2), de BEN (Bedrijfsspecifieke emissie van nitraat en lachgas, paragraaf 2.3), de BEP (Bedrijfsspecifieke fosfaatstromen, paragraaf 2.4) en de BEC (Bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO₂-equivalenten, paragraaf 2.5). Elke paragraaf begint met een inleiding waarna de berekeningswijze van de kengetallen wordt uitgelegd. Aan het eind van elke paragraaf 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 paragraaf 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 Kengetallen

2.1 BEX, excreties door niet-melkvee en mestscheiding

2.1.1 Inleiding

De BEX, zoals meest recent gedefinieerd in de Handreiking (2018), 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) 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 hoeveelheid mest die geproduceerd wordt door eventueel aanwezige niet-graasdieren 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 graskuil en snijmaïs 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 er daarom voor gekozen om de voeropname van vers gras, graskuil en snijmaïs te berekenen op basis van de VEM-behoefte (zie paragraaf 2.1.2.12), waarbij de benodigde VEM naar rato van de verhouding van de berekende vers grasopname en de aangelegde voorraden graslandproducten en snijmaïsproducten (zoals vastgesteld door een geaccrediteerd laboratorium) wordt verdeeld over de verschillende voedermiddelen. Dit principe wordt nader uitgelegd in Oenema *et al.* (2017).

2.1.2 Berekeningswijze

2.1.2.1 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 vervluchtiging. Voor P speelt vervluchtiging geen rol en is de bruto excretie gelijk aan de netto excretie.

2.1.2.2 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:

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

2.1.2.3 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.

2.1.2.4 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).

Vastlegging N (of P) = kg dierlijk product x 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, 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, 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.

2.1.2.5 Berekening netto N excretie

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

Netto N excretie = bruto N excretie – gasvormige N verliezen uit BEA

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

Bedrijfsspecifieke informatie is beschikbaar voor:

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

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

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

2.1.2.6 Opbouw veestapel

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

2.1.2.7 Melkproductie en melksamenstelling

De melkproductie is gelijk aan de 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). Het percentage vet en eiwit in de melk is het voortschrijdend gemiddelde zoals vastgesteld door zuivelindustrie, berekend per kalenderjaar.

Als (een deel van) de melk gebruikt wordt voor verwerking binnen het bedrijf (w.o. zelf zuivelen), dan wordt ook deze melk bij de hoeveelheid geproduceerde melk betrokken.

2.1.2.8 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 2.1.1 een rasfactor opgenomen. Deze is gebaseerd op de VEM-onderhoudsbehoefte bij volwassen gewicht.

Tabel 2.1.1 Gemiddeld gewicht van de verschillende categorieën melkvee per rasgroep en de rasfactoren voor de VEM-behoefte en de diergewichten

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

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

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

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

2.1.2.9 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 maanden 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. Droge koeien staan het gehele jaar op stal en aan deze groep wordt geen vers gras verstrekt.

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

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

De VEM-behoefte wordt berekend volgens de algemene rekenregels van het CVB. Deze zijn ook gebruikt voor de onderbouwing van de excretieforfaits in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. In de berekening van de VEM-behoefte wordt rekening gehouden met de opbouw van de veestapel, het productieniveau van de koeien, het volwassen gewicht van de melkkoeien en beweiding van de melkkoeien. De behoefteberekening voor melkvee is gebaseerd op dieren die aangebonden staan. Vrij lopende dieren in een ligboxenstal of tijdens beweiding hebben door de bewegingsactiviteit een hogere VEM-behoefte. Daarnaast is extra energie nodig voor eventuele jeugdgroei, voor dracht en voor compensatie van de Negatieve Energie Balans (NEB) in het begin van de lactatie. Deze extra energiebehoeften worden in de vorm van energietoelagen (zie Tabel 2.1.2) in de VEM-behoefte meegerekend.

De VEM-behoefte van melkvee wordt berekend als de optelsom van de VEM-behoefte voor melkproductie en voor onderhoud. Bij onderhoud wordt onderscheid gemaakt tussen 'tijdens lactatie' en 'tijdens droogstand'. De berekening gaat uit van een lactatie van 307 dagen per kalenderjaar en 58 dagen droogstand. Een koe gebruikt naast energie voor onderhoud en melkproductie ook energie voor beweging, groei, dracht en mobilisatie van lichaamsreserves (zie Tabel 2.1.2). De VEM-behoefte van de totale melkveestapel (in kVEM/jaar) is de optelsom van de VEM-behoefte van de melkkoeien, de pinken en de kalveren.

Tabel 2.1.2 Energietoelagen per melk- en kalfkoe in kVEM voor melkkoeien met een volwassengewicht van 650 kg*.

		Melk- en kalfkoeien		Jongvee	
		kVEM/jaar	kVEM/dag	≥ 1 jaar	≤ 1 jaar
				kVEM/dag	kVEM/dag
Bewegingstoeslag**	Niet weiden	201			
	extra bij Beperkt weiden		0,419		
	extra bij Combi weiden		0,419		
	extra bij Onbeperkt weiden		0,560	0,784	0,409
Jeugdtoeslag***		101			
Dracht en NEB****		194	0,5315	0,2819	

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

** De bewegingstoelage voor 'Niet weiden' geldt voor niet-aangebonden dieren (10% van onderhoudsbehoefte, gesteld op 2010 kVEM/jaar (Tamminga *et al.*, 2004). De extra bewegingstoelagen in deze tabel voor melkkoeien bedragen 7,5% voor 'Beperkt weiden' en 10% voor 'Onbeperkt weiden'. Voor jongvee is de toeslag gebaseerd op de uitgangspunten in de BEX jongvee; deze zijn weergegeven in kVEM per dier per weidedag.

*** De jeugdtoelage per koe is gebaseerd op een vervangingspercentage van 28%.

**** NEB = Negatieve Energie Balans.

Overzicht rekenregels VEM behoefte

kVEM-behoefte jongvee per jaar

Jonger dan 1 jaar (kalveren (ka)) (per dier per kalenderjaar): $(1.380 + 0,409 \times \text{aantal weidedagen}) \times \text{aantal ka} \times \text{rasfactor VEM behoefte} \times 1,02$ (kVEM).

Ouder dan 1 jaar (pinken (pi)) (per dier per kalenderjaar): $(2.259 + 130,2 \times 0,79 + 0,784 \times \text{aantal weidedagen}) \times \text{aantal pi} \times \text{rasfactor VEM behoefte} \times 1,02$ (kVEM).

kVEM-behoefte melkkoeien per jaar: melkproductie

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

FPCM/dag = $(\text{melkgift/koe (kg)} \times (0,337 + 0,116 \times \% \text{vet} + 0,06 \times \% \text{eiwit})) / 315$ (dagen).

VEM melkproductie = $(442 \times \text{FPCM/dag} \times (1 + (\text{FPCM/dag} - 15) \times 0,00165)) \times 315$ (dagen).

kVEM melkproductie = VEM melkproductie/1000.

kVEM-behoefte melkkoeien per jaar: onderhoud

GEW (kg) = levend gewicht afhankelijk van type koe (zie forfait Tabel 2.1.1).

VEMonh tijdens lactatie = $(42,4 \times \text{GEW}^{0,75} \times (1 + (\text{FPCM/dag} - 15) \times 0,00165)) \times 315$ (dagen).

VEMonh tijdens droogstand = $42,4 \times \text{GEW}^{0,75} \times (1 + (-15 \times 0,00165)) \times 50$ (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 = (bewegingstoeslag 'Niet weiden' uit Tabel 2.1.2 + (aantal maanden weiden x extra bewegingstoeslag voor 'Beperkt weiden' of 'Onbeperkt weiden' uit Tabel 2.1.2) * 315/365) + jeugdtoeslag uit Tabel 2.1.2 + dracht- en NEB-toeslag uit Tabel 2.1.2.

kVEM-behoefte melkveestapel per jaar

kVEM-behoefte van melkveestapel = ((kVEM melkproductie + kVEM onderhoud + kVEM toeslag) x aantal melkkoeien) + (kVEM jongvee <1 jaar x aantal jongvee < 1 jaar) + (kVEM jongvee >1 jaar x aantal jongvee > 1 jaar).

2.1.2.11 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 2.1.2.3). 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 natte bijproducten, krachtvoerders en melkproducten – vervoederingsverliezen uit overig ruwvoer en natte bijproducten, krachtvoerders en melkproducten, met:

berekende VEM-opname veestapel = VEM behoefte veestapel x 102%.

2.1.2.12 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.

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

- De variatie in beweidingduur bij onbeperkt weiden bedraagt 10 tot 20 uren per etmaal. Die variatie bedraagt bij beperkt weiden 2 tot 10 uren per etmaal.
- In de praktijk krijgen weidende melkkoeien minstens twee uren weidegang. Bij 2 uur weidegang neemt een melkkoe 2 kg droge stof weidegras op (type 'Overige rassen' - zie Tabellen 2.1.1 en 2.1.2 - 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 drogestofopname uit weidegras met 2% worden verhoogd respectievelijk verlaagd.
- Bij zomerstalvoeding wordt ervan uitgegaan dat de drogestofopname 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 drogestofopname van vers gras gelijk gesteld aan 87% van de opname bij 9 uren weiden per etmaal.
- De drogestofopname van Jerseys en van kruislingen bedraagt respectievelijk 70% en 85% van die van koeien van de overige rassen. Dezelfde percentages gelden ook voor het referentieniveau van de meetmelkproductie om de drogestofopname te berekenen (respectievelijk 6650 en 8075 kg FPCM/jaar).
- Droge koeien krijgen geen vers gras

2.1.2.13 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. Voor de BEX is alleen de verhouding van de gehalten VEM met N en P van belang (resp. N/VEM en P/VEM). Deze verhoudingen worden voor vers gras 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 (excl. aankoop en niet afkomstig van natuurgrasland), het uitgangspunt voor de geschatte samenstelling van het verse gras.

2.1.2.14 Correctie voor voeropname door overige graasdieren

Als op het bedrijf naast het 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 2.1.3). Hierbij is het verbruik de opname plus de vervoederingsverliezen

Tabel 2.1.3 Forfaitaire kVEM-opname per jaar voor een aantal categorieën 'overige graasdieren'.

Diercategorie	Voer							Totaal ruwvoer en overige
	Kunst- melk	Kracht- voer	Ruwvoer			Overige		
			Vers gras	Hooi Graskuil	Snijmaïs		Totaal	
104 Fokstieren (>1 jaar)	0	274	0	2466		2466		2740
115 Startkalveren voor rosé- of roodvlees (< ca. 3 mnd)	222	406	0	0	140	140	0	768
116 Rosékalveren (ca. 3 mnd tot ca. 8 mnd)	0	1122	0	0	655	655	355	2132
117 Rosékalveren (ca. 14 dgn tot 8 mnd)	78	880	0	0	482	482	211	1651
120 Weide- en zoogkoeien	0	56	1792	1339	0	3131	0	3187
122 Vleesstieren (>3 mnd tot slacht)	0	970	0	0	1652	1652	68	2690
550 Fokschapen (ten minste eenmaal gelammerd incl. lammeren <ca. 4 mnd en rammen)	0	56	328	65	0	393	0	449
551 Vleeschapen (<ca. 4 mnd, niet geboren op bedrijf)	0	9	47	4	0	51	0	60
552 Opfokkoeien, weideschapen, vleeschapen (>ca. 4 mnd)	0	11	266	22	0	288	0	299
600 Melkgeiten (ten minste eenmaal gelammerd incl. pasgeboren lammeren en geslachtsrijpe bokken)	0	419	0	149	279	428	0	847
601 Opfokgeiten en vleesgeiten (<ca. 4 mnd)	54	65	0	38	70	108	0	227
602 Opfokgeiten en vleesgeiten (>ca.4 mnd)	0	162	0	94	173	267	0	429
941 Pony's	0	247	671	673	0	1344	0	1591
943 Paarden	0	437	1019	906	0	1925	125	2487

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.

Een ander aandachtspunt voor een zorgvuldige toepassing van Tabel 2.1.3 betreft de wijze van verdeling van de voercategorieën over de diercategorieën. Uitgangspunt is dat de per diercategorie vermelde totale kVEM-opname wordt opgenomen. Als echter op een bedrijf een bepaalde voercategorie of misschien wel meer voercategorieën niet of minder zijn vervoederd, dan moeten de kVEM-opnames uit andere voercategorieën komen, die per diercategorie zijn vermeld. Dat gaat als volgt, steeds in een bepaalde volgorde, zoals hieronder is vermeld:

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

2.1.2.15 Overzicht rekenregels N en P opname

N/VEM en P/VEM vers gras:

N/VEM weidegras = $1,12 \times \text{N/VEM ingekuild gras}$

P/VEM weidegras = $0,97 \times \text{P/VEM ingekuild gras}$

N/VEM zomerstalvoeding = $1,06 \times \text{N/VEM ingekuild gras}$

P/VEM zomerstalvoeding = $0,98 \times \text{P/VEM ingekuild gras}$

Berekening hoeveelheid opname uit weidegras

VEM-waarde weidegras = 960 VEM/kg DS

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

Bij weiden:

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras =

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

hiervoor geldt: aantal weide-uren/dag ≤ 20

Bij zomerstalvoeding:

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras =

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras bij weiden $\times 0,87 =$

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

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 vastlegging in melk en de aantallen dieren (Tabellen 2.1.4 en 2.1.5).

Tabel 2.1.4 Uitgangspunten voor vastlegging van N en P in melkveestapel.

Gewichten van categorieën melkveestapel			Afkorting
Gewicht volwassen melkkoe*	=	GEW	GEW
Gewicht kalf (kg)**	=	GEW x 44/650	GEWkalf
Gewicht pink (kg)**	=	GEW x 320/650	GEWpink
Gewicht vaars (kg)**	=	GEW x 540/650	GEWvaars
Vastlegging in melkkoeien			
<i>Melkproductie</i>			
Stikstof (N) gehalte in de melk (g/kg)	=	eiwit% in melk x 10/6,38	
Fosfor (P) gehalte in de melk (g/kg)	=	0,97	
<i>Dracht</i>			
Aantal geboren kalveren per koe per kalenderjaar	=	0,70	aantalkalf
Stikstof (N) gehalte kalf (g/kg)	=	29,4	Ngehkalf
Fosfor (P) gehalte kalf (g/kg)	=	8,0	Pgehkalf
De gehalten voor het kalf betreffen de samenstelling bij de geboorte			
<i>In groei van (melkgevende) vaarzen (vervanging)</i>			
Aandeel vervanging per melkkoe	=	0,28	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
Gehalten van vaarzen betreffen de samenstelling bij de eerste keer afkalven			
Vastlegging in jongvee			
<i>Jongvee jonger dan een jaar</i>			
Stikstof (N) gehalte kalf (g/kg)	=	29,4	Ngehkalf
Fosfor (P) gehalte kalf (g/kg)	=	8,0	Pgehkalf
Stikstof (N) gehalte pink (g/kg)	=	24,1	Ngehpink
Fosfor (P) gehalte pink (g/kg)	=	7,4	Pgehpink
Gehalten van pink betreffen de samenstelling op een leeftijd van 12 maanden			
<i>Jongvee ouder dan een jaar</i>			
Aantal geboren kalveren uit jongvee per kalenderjaar	=	0,79	aantalkalf1
Stikstof (N) gehalte kalf (g/kg)	=	29,4	Ngehkalf
Fosfor (P) gehalte kalf (g/kg)	=	8,0	Pgehkalf
Stikstof (N) gehalte pink (g/kg)	=	24,1	Ngehpink
Fosfor (P) gehalte pink (g/kg)	=	7,4	Pgehpink
Stikstof (N) gehalte vaars (g/kg)	=	23,1	Ngehvaars
Fosfor (P) gehalte vaars (g/kg)	=	7,4	Pgehvaars

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

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

Tabel 2.1.5 Berekening vastlegging van N en P (in kg per jaar)*.

Vastlegging in melkkoeien		
<i>Tijdens melkproductie</i>		
Nmelk	=	(totaal geleverde melk x (eiwitpercentage x 10/6,38)) / 1.000
Pmelk	=	(totaal geleverde melk x 0,97) / 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
Pjv<1	=	(Ppink – Pkalf1) x gem. aantal stuks jongvee < 1jr
<i>Ouder dan 1 jaar</i>		
Nkalf2	=	(GEWkalf x aantalkalf1** x Ngehkalf***) / 1.000
Pkalf2	=	(GEWkalf x aantalkalf1** x Pgehkalf***) / 1.000
Nvaars1	=	(GEWvaars x Ngehvaars***) / 1.000
Pvaars1	=	(GEWvaars x Pgehvaars***) / 1.000
Njv>1	=	(Nkalf2 + (Nvaars1 – Npink) x 12/14) x gem. aantal stuks jongvee > 1jr.
Pjv>1	=	(Pkalf2 + (Pvaars1 – Ppink) x 12/14) x gem. aantal stuks jongvee > 1jr

* In Tabel 2.1.4 staan de uitgangspunten voor de formules.

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

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

2.1.2.16 Gasvormige N-verliezen

Een deel van de stikstofexcretie van de melkveestapel verdwijnt uit stal en opslag door vervluchtiging. Bij de berekening van de hoeveelheid te plaatsen mest moet met deze gasvormige stikstofverliezen rekening worden gehouden omdat mest-N gebruiksnormen gebaseerd zijn op hoeveelheid ná aftrek van deze gasvormige verliezen uit stal en opslag. Deze gasvormige N-verliezen worden berekend op basis van de BEA-module binnen de KringloopWijzer (paragraaf 2.2).

2.1.3 Mestproductie door overige graasdieren

De hoeveelheden geproduceerde mest-N en mest-P₂O₅ door de overige graasdieren zijn in de KringloopWijzer gebaseerd op forfaits (Tabel 2.1.6), waarbij voor de mest-N onderscheid wordt gemaakt naar gangbare en biologische melkveehouderijssystemen. Deze forfaits gaan uit van netto-excreties waarvan de gasvormige N-verliezen al zijn afgetrokken. Ook voor deze excreties geldt dat zij in de KringloopWijzer eerst worden omgezet naar bruto-excreties om het N-bodemoverschot te berekenen onder aftrek van de met de BEA-module berekende gasvormige N-verliezen.

Tabel 2.1.6 Netto-excretie in de vorm van mest-N en mest-P₂O₅ per gemiddeld aanwezig dier voor 'overige graasdieren' (bron: RVO).

Diercategorie	Drijfmest N-excretie	Vaste mest N-excretie	Biologisch N-excretie	P ₂ O ₅ -excretie
Fokstieren > 1 jaar (cat. 104)	72.2	72.2	51	25.9
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	75.4	75.3	66.2	26.9
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	10.5	10.5	6.6	3.4
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	26.3	26.3	26.3	9.4
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	21.5	21.5	21.5	7.6
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	28.2	25.6	27.2	9.7
Fokschapen (cat. 550)	9.9	9.9	10.3	3.3
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	0.9	0.9	0.9	0.3
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	7.2	7.2	9.3	2.2
Melkgeiten (cat. 600)	10.2	10.2	5.8	4.3
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	0.9	0.9	0.9	0.4
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	7.4	7.4	3.1	3.1
Pony's (cat. 941)	29.3	29.3	29.3	11.7
Paarden (cat. 943)	53.7	53.7	53.7	22.4

2.1.4 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 deze vorm van dierlijke mest. 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 stalbalans(en) die in andere kaders beschikbaar zijn. Daarbij wordt uitgegaan van netto-productie van mest-N, dat wil zeggen ná aftrek van gasvormige N-verliezen uit stal en opslag. De hoeveelheden geproduceerde mest-N door 'staldieren' gaan uit van netto-excreties waarvan de gasvormige verliezen al zijn afgetrokken. Ook voor deze excreties geldt dat zij in de KringloopWijzer eerst worden omgezet naar bruto-excreties om het N-bodemoverschot te berekenen onder aftrek van de met de BEA-module berekende gasvormige N-verliezen. Het milieubelastende deel van de emissies (ammoniak-N, lachgas-N, methaan) door 'staldieren' wordt toegevoegd aan de emissie van de rest van het bedrijf. Dat geldt voor de methaan-emissies zowel voor de methaan uit de stallen en mestopslagen als voor de methaan die bij de spijsvertering vrijkomt. Genoemde emissies worden bepaald op basis van coëfficiënten en gehouden dieraantallen (Mosquera & Hol, 2012; Anonymus, 2015b).

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

- Totale netto stalbalansen stikstof en fosfaat (Bemestingsplan)
- Gemiddeld aantal aanwezige dieren (gad)
- Soort mest (drijfmest of vaste mest)
- Huisvestingsstelsel (RAV-stal)
- De totale hoeveelheden stikstof en fosfaat uit de netto stalbalans worden verdeeld over de verschillende diergroepen via een gewogen gemiddelde aan normatieve stikstof- en fosfaatproducties berekend met de mestproducties en mestgehalten uit Tabel 2.1.7:
 - 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 2.1.7:
 - 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 2.1.7 Normatieve netto mestproducties en mestgehalten voor verschillende soorten staldieren en huisvestingsystemen.

Diersoort	Rav-code stal	Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad)	Mestproductie vaste mest (kg/gad)	Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton)	Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton)	Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton)
Leghennen	E 2.5.6	43.7	14.56	16.82	50.75	6.0	18.8
	E 2.7	43.7	15.6	11.23	31.69	6.0	24.2
	E 2.8	43.7	15.6	15.25	42.96	6.0	24.2
	E 2.9.1	43.7	15.6	14.95	42.14	6.0	24.2
	E 2.9.2	43.7	15.6	14.46	40.76	6.0	24.2
	E 2.9.3	43.7	15.6	14.46	40.76	6.0	24.2
	E 2.10	43.7	15.6	16.78	47.25	6.0	24.2
	E 2.11.1	43.7	18.72	15.64	36.72	6.0	24.2
	E 2.11.2	43.7	18.72	16.33	38.32	6.0	24.2
	E 2.11.3	43.7	18.72	16.92	39.70	6.0	24.2
	E 2.11.4	43.7	18.72	16.68	39.15	6.0	24.2
	E 2.12.1	43.7	15.6	16.07	45.27	6.0	24.2
	E 2.12.2	43.7	15.6	15.33	43.18	6.0	24.2
	E 2.13	43.7	15.6	15.54	43.79	6.0	24.2
	E 2.14	43.7	15.6	15.54	43.79	6.0	24.2
	E 2.15	43.7	15.6	15.54	43.79	6.0	24.2
	E 2.100	43.7	15.6	11.23	31.69	6.0	24.2
Vleeskuikens	E 5.1	19.2	11.4	25.47	43.11	6.0	16.6
	E 5.2	19.2	11.4	25.00	42.32	6.0	16.6
	E 5.3	19.2	11.4	25.47	43.11	6.0	16.6
	E 5.4	19.2	11.4	25.31	42.85	6.0	16.6
	E 5.5	19.2	11.4	23.38	39.59	6.0	16.6
	E 5.6	19.2	11.4	23.79	40.29	6.0	16.6
	E 5.7	19.2	11.4	24.47	41.44	6.0	16.6
	E 5.8	19.2	11.4	24.68	41.79	6.0	16.6
	E 5.9.1.2.2	19.2	11.4	24.00	40.65	6.0	16.6
	E 5.9.1.2.4	19.2	11.4	24.16	40.91	6.0	16.6
	E 5.10	19.2	11.4	23.90	40.47	6.0	16.6
	E 5.11	19.2	11.4	24.63	41.70	6.0	16.6
	E 5.12	19.2	11.4	24.47	41.44	6.0	16.6
	E 5.13	19.2	11.4	24.47	41.44	6.0	16.6
	E 5.14	19.2	11.4	23.90	40.47	6.0	16.6
	E 5.100	19.2	11.4	21.54	36.50	6.0	16.6
Kraamzeugen	D 1.2.1	4003	2356	5.88	9.87	2.5	13.6
	D 1.2.2	4003	2356	5.79	9.71	2.5	13.6
	D 1.2.3	4003	2356	5.72	9.59	2.5	13.6
	D 1.2.4	4003	2356	5.93	9.94	2.5	13.6
	D 1.2.5	4003	2356	5.90	9.90	2.5	13.6
	D 1.2.6	4003	2356	5.72	9.59	2.5	13.6
	D 1.2.7	4003	2356	5.49	9.20	2.5	13.6
	D 1.2.8	4003	2356	5.93	9.94	2.5	13.6
	D 1.2.9	4003	2356	6.07	10.18	2.5	13.6
	D 1.2.10	4003	2356	6.07	10.18	2.5	13.6
	D 1.2.11	4003	2356	6.07	10.18	2.5	13.6
	D 1.2.12	4003	2356	6.09	10.22	2.5	13.6
	D 1.2.13	4003	2356	5.97	10.02	2.5	13.6
	D 1.2.14	4003	2356	5.97	10.02	2.5	13.6

Diersoort	Rav-code stal	Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad)	Mestproductie vaste mest (kg/gad)	Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton)	Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton)	Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton)
	D 1.2.15	4003	2356	6.55	11.00	2.5	13.6
	D 1.2.16	4003	2356	5.97	10.02	2.5	13.6
	D 1.2.17.3	4003	2356	6.36	10.67	2.5	13.6
	D 1.2.17.4	4003	2356	6.36	10.67	2.5	13.6
	D 1.2.18	4003	2356	6.26	10.51	2.5	13.6
	D 1.2.19	4003	2356	6.45	10.84	2.5	13.6
	D 4.1	4003	2356	5.28	8.85	2.5	13.6
	D 1.2.100	4003	2356	4.73	7.90	2.5	13.6
Overige zeugen	D 1.3.1	2400	1413	6.17	10.34	2.5	13.6
	D 1.3.2	2400	1413	6.38	10.70	2.5	13.6
	D 1.3.3	2400	1413	6.13	10.28	2.5	13.6
	D 1.3.4	2400	1413	6.38	10.70	2.5	13.6
	D 1.3.5	2400	1413	6.24	10.46	2.5	13.6
	D 1.3.6	2400	1413	6.56	11.00	2.5	13.6
	D 1.3.7	2400	1413	6.56	11.00	2.5	13.6
	D 1.3.8	2400	1413	6.24	10.46	2.5	13.6
	D 1.3.9	2400	1413	6.20	10.40	2.5	13.6
	D 1.3.10	2400	1413	6.10	10.22	2.5	13.6
	D 1.3.11	2400	1413	6.94	11.65	2.5	13.6
	D 1.3.12.3	2400	1413	6.79	11.40	2.5	13.6
	D 1.3.12.4	2400	1413	6.79	11.40	2.5	13.6
	D 1.3.13	2400	1413	6.79	11.40	2.5	13.6
	D 1.3.14	2400	1413	6.87	11.53	2.5	13.6
	D 4.1	2400	1413	5.95	9.98	2.5	13.6
	D 1.3.100	2400	1413	5.53	9.26	2.5	13.6
Gesp. biggen	D 1.1.1	535	343	6.78	10.44	3.9	13.6
	D 1.1.2	535	343	6.69	10.31	3.9	13.6
	D 1.1.3	535	343	6.86	10.58	3.9	13.6
	D 1.1.4	535	343	6.67	10.29	3.9	13.6
	D 1.1.5	535	343	6.46	9.94	3.9	13.6
	D 1.1.6	535	343	6.81	10.50	3.9	13.6
	D 1.1.7	535	343	6.69	10.31	3.9	13.6
	D 1.1.8	535	343	6.73	10.37	3.9	13.6
	D 1.1.9	535	343	6.76	10.42	3.9	13.6
	D 1.1.10	535	343	6.76	10.42	3.9	13.6
	D 1.1.11	535	343	6.83	10.52	3.9	13.6
	D 1.1.12	535	343	6.83	10.52	3.9	13.6
	D 1.1.13	535	343	6.78	10.44	3.9	13.6
	D 1.1.14	535	343	7.06	10.89	3.9	13.6
	D 1.1.15.3	535	343	6.95	10.71	3.9	13.6
	D 1.1.15.4	535	343	6.95	10.71	3.9	13.6
	D 1.1.16	535	343	6.95	10.71	3.9	13.6
	D 1.1.17	535	343	7.00	10.79	3.9	13.6
	D 4.1	535	343	6.29	9.68	3.9	13.6
	D 1.1.100	535	343	5.95	9.15	3.9	13.6
Vleesvarkens	D 3.1	1337	974	6.12	8.26	3.9	13.6
	D 3.2.1	1337	974	6.12	8.26	3.9	13.6
	D 3.2.2	1337	974	7.96	10.79	3.9	13.6
	D 3.2.3	1337	974	7.90	10.70	3.9	13.6
	D 3.2.4	1337	974	8.34	11.31	3.9	13.6
	D 3.2.5	1337	974	8.15	11.05	3.9	13.6
	D 3.2.6	1337	974	8.03	10.88	3.9	13.6
	D 3.2.7.1	1337	974	8.34	11.31	3.9	13.6
	D 3.2.7.2	1337	974	8.03	10.88	3.9	13.6

Diersoort	Rav-code stal	Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad)	Mestproductie vaste mest (kg/gad)	Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton)	Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton)	Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton)
	D 3.2.8	1337	974	8.41	11.40	3.9	13.6
	D 3.2.9	1337	974	8.41	11.40	3.9	13.6
	D 3.2.10	1337	974	8.09	10.97	3.9	13.6
	D 3.2.11	1337	974	7.90	10.70	3.9	13.6
	D 3.2.12	1337	974	8.22	11.14	3.9	13.6
	D 3.2.13	1337	974	7.90	10.70	3.9	13.6
	D 3.2.14	1337	974	8.88	12.06	3.9	13.6
	D 3.2.15.3	1337	974	8.69	11.79	3.9	13.6
	D 3.2.15.4	1337	974	8.69	11.79	3.9	13.6
	D 3.2.16	1337	974	8.28	11.23	3.9	13.6
	D 3.2.17	1337	974	8.69	11.79	3.9	13.6
	D 3.2.18	1337	974	8.79	11.92	3.9	13.6
	D 4.1	1337	974	7.63	10.33	3.9	13.6
	D 3.100	1337	974	7.07	9.57	3.9	13.6
Witvlees- kalveren	A 4.1	2743	2469	4.98	5.46	1.4	4.3
	A 4.2	2743	2469	4.73	5.19	1.4	4.3
	A 4.3	2743	2469	4.73	5.19	1.4	4.3
	A 4.4	2743	2469	5.03	5.52	1.4	4.3
	A 4.5.1	2743	2469	4.92	5.40	1.4	4.3
	A 4.5.2	2743	2469	4.73	5.19	1.4	4.3
	A 4.5.3	2743	2469	4.92	5.40	1.4	4.3
	A 4.5.4	2743	2469	4.92	5.40	1.4	4.3
	A 4.5.5	2743	2469	4.92	5.40	1.4	4.3
	A 4.5.6	2743	2469	4.98	5.46	1.4	4.3
	A 4.6	2743	2469	4.92	5.40	1.4	4.3
	A 4.7	2743	2469	4.28	4.69	1.4	4.3
	A 4.100	2743	2469	3.96	4.33	1.4	4.3

2.1.5 Mestscheiding

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

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

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

De verhouding N/P in de eigen mest op het bedrijf (graasdierenmest) wordt bepaald op basis van de N/P verhouding in de netto excretie volgens de BEX, dat wil zeggen na aftrek van de gasvormige verliezen. De hoeveelheid en samenstelling van de (eigen) mest op het bedrijf (volume en gehalten aan DS, Norg, Nmin, P) wordt vervolgens afgeleid op basis van de TAN-excretie (BEA), gecorrigeerd voor de hoeveelheid afgevoerde mest in termen van N en P, gecombineerd met forfaitaire volumeproductie per mestsoort (drijfmest en vaste mest (<http://www.rvo.nl/onderwerpen/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 2.1.4).

In de praktijk blijkt het lastig om het scheidingsrendement (kengetal 1) goed in te vullen op basis van de informatie die aanwezig is. Bij mestscheiding zijn dat vaak analyseresultaten van de dikke fractie (afleverbonnen). Daarom is er een alternatief voor invoer van mestscheiding door het opvragen van gegevens over de dikke fractie. Dit zijn:

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

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

2.1.6 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 verknoppingen met andere aannames kan een eventuele wijziging van de veronderstelde VEM-dekking alleen plaatsvinden als dat samengaat met consistentie-checks op andere constanten. Voorbeelden van dergelijke constanten staan in onderstaande lijst:

Lijst constante invoer parameters in BEX

1. Gemiddelde VEM-dekking veestapel (102%).
2. Percentage droogstaande dieren (op jaarbasis) in de veestapel teruggerekend naar kalenderjaar is t 315 dagen lactatie en 50 dagen droogstand (CRV, 2015; -, 2016; -, 2017)).
3. Levend gewicht volwassen koe (Jersey, Kruising Jersey en Overig respectievelijk 400, 525, 650 kg).
4. VEM-behoefte jongvee jonger en ouder dan 1 jaar (zie paragraaf 2.1.2.10).
5. Extra behoefte aan energie (VEM) voor beweging en groei (zie Tabel 2.1.2).
6. Gewicht, N en P gehalte in dieren (foetus + adnexa, kalf, pink, vaars, koe ; zie Tabel 2.1.4). Met deze aangenomen gewichten en gehalten wordt de vastlegging van N en P in de veestapel berekend.
7. Percentage vervanging melkveestapel (28%) 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 ($=0,79$) 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.
11. VEM-waarde weidegras = 960 VEM/kg DS.

Opmerkingen

- Voor kuilen die bestaan uit verschillende voeders (mengkuilen) is geen goede vaststelling van de gemiddelde samenstelling (VEM, N en P gehalte) mogelijk. Bedrijven met dergelijke kuilen kunnen niet deelnemen aan de BEX. Er worden drie uitzonderingen gemaakt. Deze gelden als:
 - Het gemengde ruwvoerkuilen betreft van het eigen bedrijf of als één van de producten aangekochte snijmaïs is, mits van de afzonderlijke kuilen en de aangekochte snijmaïs de voederwaardeanalyse en hoeveelheid bepaald zijn. Ook moeten inkuilverliezen door overkuilen worden ingerekend.
 - 90% van de DS in de kuil uit eenzelfde ruwvoeder bestaat en het overige uit niet terug te vinden aangekocht (vochtrijke) ruwvoeders bestaat.
 - 80% van de DS in de kuil uit eenzelfde ruwvoeder bestaat en het overige uit een wel terug te vinden aangekocht (vochtrijke) ruwvoeder bestaat.
- Voor weidegras van beheergrasland worden dezelfde regels voor de omrekening (paragraaf 2.1.2.15) aangehouden als voor productiegrasland.
- 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.

2.2 BEA

2.2.1 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. Bij de verrekeringen inclusief laatstgenoemde posten, wordt gesproken over 'BEA plus' in plaats van 'BEA basis'.

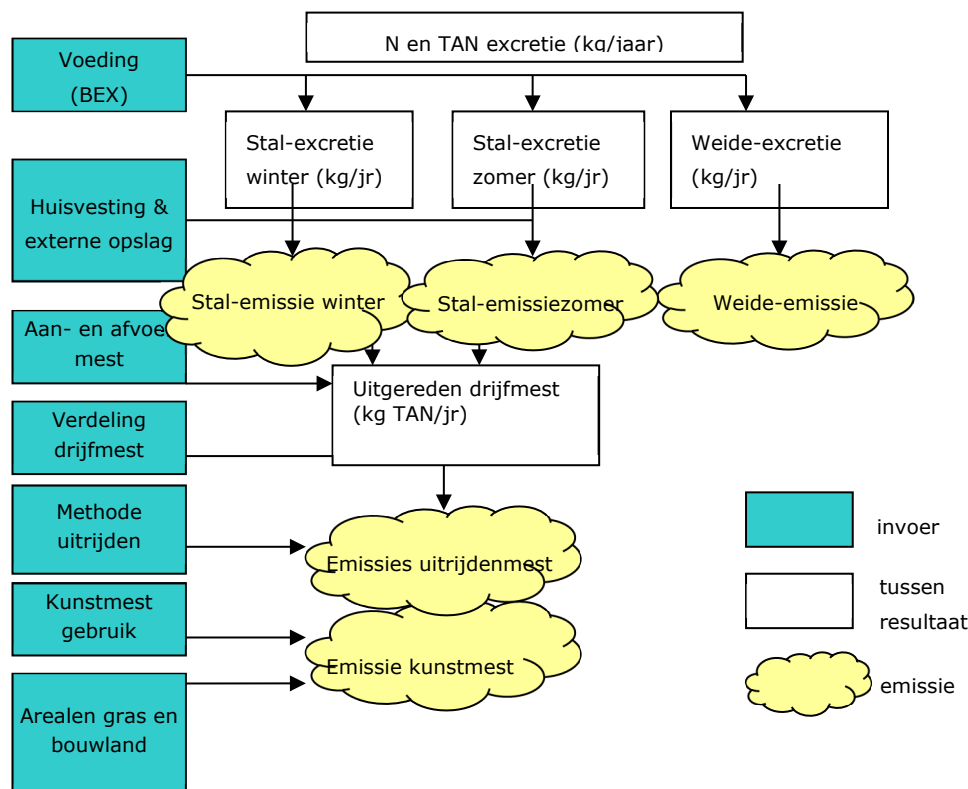
Voor de berekening van de NH_3 emissie wordt in de BEA aangesloten bij het Nationaal Emissie Model voor Ammoniak (NEMA, Van Bruggen *et al.*, 2017; -, 2018). Deze methodiek inventariseert, de weg die de N in mest aflegt, te weten achtereenvolgens: uitscheiding door de veestapel, huisvesting (stalvloer en mestopslag onder de stal), opslag buiten de stal en mestaanwending. Hierbij speelt het aandeel ammoniakale stikstof in de totale hoeveelheid stikstof (% TAN) een belangrijke rol. Bij iedere stap wordt via emissiefactoren (EF) berekend hoeveel TAN als ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$) en overige gasvormige N-verbindingen vervluchtigt. De EF's zijn gebaseerd op de resultaten van wetenschappelijk onderzoek en beschreven door Van Bruggen *et al.* (2017) en sluiten waar mogelijk aan bij bestaande Nederlandse wet- en regelgeving. Zo zijn de EF voor de stal (vloer en opslag) gebaseerd op de NH_3 emissie metingen die ten grondslag liggen aan de Regeling ammoniak en Veehouderij (RAV, http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/geldigheidsdatum_09-12-2013). Daarmee sluit ook de BEA in principe aan bij de RAV. Daarbij verschillen wel de wijze waarop de verliezen worden berekend en uitgedrukt. De RAV gaat uit van de relatie tussen de emissie van ammoniak en de concentratie van ammonium in mest en urine. NEMA en BEA gaan echter uit van de relatie tussen emissie van ammoniak en de hoeveelheid uitgescheiden TAN. De RAV drukt de emissie uit in kg ammoniak per dierplaats per jaar, terwijl BEA de emissie uitdrukt in kg ammoniak per bedrijf.

Voor de berekening van de uitgescheiden N en TAN (de bron van ammoniakemissie) door het melkvee maakt de BEA gebruik van de BEX. Er zijn echter extra rekenregels in de BEA en die hebben betrekking op de omrekening van N-excretie (=output BEX) naar TAN-excretie. Het betreft een relatief kleine aanvulling op de BEX en die aanvulling wordt in paragraaf 2.2.2 beschreven.

2.2.2 Berekeningswijze

2.2.2.1 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 2.2.2.2 en 2.2.2.3). 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 2.2.1 schematisch weergegeven.



Figuur 2.2.1 Schematische weergave van de berekening van de ammoniakemissies (kg NH_3 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.

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 aantallen gemiddeld bezette dierplaatsen per diercategorie.
- Het aard van de dierlijke mest (aandeel drijfmest).
- Gegevens die direct ontleend kunnen worden aan de stalbalans(en).

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

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

Emissiefactoren (EF en mineralisatiecoëfficiënt, afkomstig uit NEMA

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

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

2.2.2.2 N-excretie en TAN productie door veestapel

2.2.2.2.1 Melkveestapel inclusief jongvee

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

Om na te gaan wat de gasvormige stikstofverliezen uit de mest (feces en urine) van het melkvee is, moeten eerst de verschillende voercategorieën die zijn 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 2.1.2.10).

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 2.1.3). De toebedeling 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 2.1.2.12);
- Krachtvoerders: het aandeel van de VEM-behoefte afkomstig uit krachtvoer bedraagt voor de kalveren op stal 25% en in de weide 10%, en voor de pinken op stal 5% en 0% in de weide;
- Ruwvoerders: kalveren krijgen van de VEM-behoefte uit ruwvoer op stal 75% uit graskuil en 25% uit snijmaïskuil en pinken 90% uit graskuil en 10% uit snijmaïskuil. De VEM-behoefte op stal van zowel kalveren als pinken is daarbij gelijk aan de totale VEM-behoefte minus de VEM-opname uit kunstmelkpoeder, krachtvoerders en vers gras.

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

- Eerst wordt toebedeeld aan kalveren en vervolgens aan pinken;
- De hoeveelheden kunstmelkpoeder en vers gras staan vast; die staan in de administratie respectievelijk zijn berekend. De laatste kan echter hoger worden, zoals uit de volgende punten

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.

blijkt. Indien er extra vers gras wordt toegewezen aan de kalveren of de pinken, dan gaat dat ten koste van de berekende hoeveelheid vers gras aan de melkkoeien;

- Krachtvoerders: bij geen of onvoldoende krachtvoerders wordt de benodigde VEM-behoefte uit krachtvoerders aangevuld uit (in deze volgorde): overige producten, snijmaïskuil, grasproducten, vers gras;
- Snijmaïskuil: bij geen of onvoldoende snijmaïskuil wordt de benodigde VEM-behoefte uit snijmaïskuil aangevuld uit (in deze volgorde): grasproducten, overige producten, krachtvoerders, vers gras;
- Grasproducten (graskuil): bij geen of onvoldoende grasproducten wordt de benodigde VEM-behoefte uit grasproducten aangevuld uit (in deze volgorde): snijmaïskuil, overige producten, krachtvoerders, vers gras.

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

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

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

De informatie over soort en hoeveelheid van de gebruikte voedermiddelen en de bruto N-excretie van de drie diergroepen (melkkoeien, pinken, kalveren) vormt de basis voor de uiteindelijke BEX (paragraaf 2.1). De BEX berekent de bruto N-excretie als:

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

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

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

$$\text{N-excretie_feces (kg)} = \text{N-opname (kg)} \times [1 - \text{VC_re (g vre/g re)} \times 0.92]$$

$$\text{N-excretie_urine (kg)} = [\text{N-opname (kg)} \times \text{VC_re (g vre/g re)} \times 0.92] - \text{N-vastlegging (kg)}$$

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

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

De factor 0.92 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.

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

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

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

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

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

Berekening verteerbaarheid ruw eiwit

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

1. Categorie 'graskuil+grashooi'

$$VRE \text{ kunstmatig gedroogd gras (balen)} = 0,63 \times RE$$

$$VRE \text{ kunstmatig gedroogd gras (brok)} = 0,64 \times RE$$

$$VRE \text{ grashooi} = 0,868 \times RE + 0,040 \times RAS - 40 \text{ (Van Bruggen et al., 2015)}$$

$$VRE \text{ graskuil} = 0,970 \times RE + 0,044 \times RAS - 44 \text{ (Van Bruggen et al., 2015)}$$

2. Categorie 'maïskuil'

$$VRE = 0,969 \times RE + 0,04 \times RAS - 40 \text{ (Van Bruggen et al., 2015)}$$

3. Categorie 'vers gras'

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

$$VC_{re} \text{ vers gras} = 71,14 + 0,0588 \times RE_{\text{vers gras}}$$

4. Categorie 'mengvoerders'

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

$$VC_{re} = 54,66 + 0,084 \times RE_{\text{mengvoer}}$$

5. Categorie 'overige'

Niet voor alle producten zijn schattingsformules beschikbaar. Wanneer een schattingsformule ontbreekt wordt een vaste VC_{re} gebruikt (Bijlage 4).

2.2.2.2.2 Overige graasdieren

De TAN-productie voor de 'overige graasdieren' wordt berekend door de netto mest-N productie (Tabel 2.1.6) te verdelen in een deel dat binnenshuis wordt uitgescheiden en een deel dat in de wei wordt uitgescheiden. Deze hoeveelheden worden vervolgens omgerekend naar op basis van de verhouding netto/bruto (Tabel 2.2.1) omgerekend naar bruto mest-N producties. Tenslotte wordt met behulp van de TAN aandelen van de binnenshuis en in weide uitgescheiden mest (Tabel 2.2.1) de hoeveelheden geproduceerde TAN berekend volgens:

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

Tabel 2.2.1 Verhoudingsgetal om de netto-excretie van de door 'overige graasdieren' geproduceerde mest-N) om te rekenen naar bruto-excretie en deze hoeveelheden vervolgens om te rekenen naar de hoeveelheid ammoniakale N (TAN).

categorie	Verhouding netto/bruto excretie van drijfmest	Verhouding netto/bruto excretie van vaste mest	TAN-% van mest in stal	TAN-% van mest in weide
Fokstieren > 1 jaar (cat. 104)	0.894	0.894	62	62
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	0.973	0.972	61	61
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	0.851	0.851	60	60
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	0.851	0.851	60	60
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	0.857	0.857	53	53
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	0.882	0.801	57	57
Fokschapen (cat. 550)	0.915	0.915	57	72
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	0.918	0.918	57	72
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	0.915	0.915	57	72
Melkgeiten (cat. 600)	0.838	0.838	61	61
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	0.841	0.841	61	61
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	0.838	0.838	61	61
Pony's (cat. 941)	0.913	0.913	74	78
Paarden (cat. 943)	0.916	0.916	73	75

2.2.2.2.3 Staldieren

De ammoniakemissie vanuit stal en opslag door staldieren wordt niet berekend als het product van de bruto N-excretie, het TAN-percentages daarin en de emissiefactor, maar als ammoniakverlies per dierplaats (Tabel 2.2.8).

2.2.2.3 TAN-excretie in stal en weide door veestapel

2.2.2.3.1 Melkveestapel

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

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

2.2.2.3.2 Overige graasdieren

De verdeling van de mest-N en, in verband daarmee, de TAN-excretie (Tabel 2.2.1) over de stal en weide gebeurt op basis van de dagen die de dieren doorbrengen in de weide. De dagen in de weide worden geschat aan de hand van de VEM-opname uit vers gras bij de overige graasdieren. Hierbij wordt er van uit gegaan dat de dieren de gehele dag weiden.

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

2.2.2.4 Ammoniakverlies en overige gasvormige N-verliezen vanuit de huisvesting

2.2.2.4.1 Melkveestapel

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

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

Van de hoeveelheid geproduceerde TAN gaat een deel verloren door vervluchtiging als ammoniak en een deel door vervluchtiging in overige gasvormige N-verliezen. Deze laatste betreffen stikstofoxiden (N_2O en NO) of elementaire stikstof (N_2). De EF geeft aan welk deel van de TAN verloren gaat en de grootte van dat deel is afhankelijk van de stal- of weideperiode, het type mest (vaste mest of drijfmest) en het type stal. De NEMA (Van Bruggen *et al.*, 2017) maakt bij het staltype onderscheid tussen stallen met roostervloer en emissiearme stallen. De KringloopWijzer berekent de emissie voor een standaardstal (Tabellen 2.2.2 en 2.2.3) en via de gekozen RAV-stal wordt de eventuele emissiereductie ingerekend (zie verderop in deze paragraaf).

Tabel 2.2.2 De gasvormige emissie in een standaardstal voor melkkoeien van N via NH_3 en overige N volgens NEMA (Van Bruggen *et al.*, 2017).

Seizoen	Mestsoort	EF $\text{NH}_3\text{-N}$ (als % van TAN)		EF overige N (als % van N-totaal)	
		Melkkoe	Jongvee	Melkkoe	Jongvee
Stalperiode	Drijfmest	14,3	14,3	2,4	2,4
	Vaste mest	14,3	14,3	3,5	3,5
Weideperiode	Drijfmest	14,3-40,9 (zie Tabel 2.2.3)		2,4	2,4
	Vaste mest	14,3-40,9 (zie Tabel 2.2.3)		3,5	3,5

Tabel 2.2.3 De emissie uit stal door melkvee tijdens de zomerperiode van N via NH₃ afhankelijk van aantal uren weidegang.

Uren weidegang per dag	Emissiefactor (kg NH ₃ per 100 kg uitgescheiden ammonium-N)
0	14.3
1	14.5
2	14.8
3	15
4	15.3
5	15.7
6	16
7	16.5
8	16.9
9	17.5
10	18.1
11	18.8
12	19.6
13	20.6
14	21.7
15	23.2
16	24.9
17	27.2
18	30.3
19	35.5
20	40.9

De EF in Tabel 2.2.2 en 2.2.3 kunnen voor praktijkbedrijven gebruikt worden, maar de beide staltypen zijn slechts voor een deel van de praktijk van toepassing. In de Regeling Ammoniak Veehouderij (RAV) worden 30 staltypen voor de categorie melkvee onderscheiden (Tabel 2.2.5), elk met hun specifieke emissiefactoren. De RAV-emissies worden uitgedrukt in kg NH₃ per dierplaats per jaar en zijn daarom niet zonder meer toepasbaar in BEA (zie paragraaf 2.2.1) waar emissiefactoren worden uitgedrukt als een fractie van de geproduceerde ammoniakale N. Dit betekent dat er voor de BEA-berekeningen van de stalemissie van de RAV-staltypen een emissiefactor per staltype nodig is. Deze emissiefactoren zijn niet beschikbaar en worden daarom in de BEA gegenereerd door de emissie van ieder RAV staltype te relateren aan de emissie van de standaard RAV stal 'A 1.100- overige huisvestingssystemen'. Daarbij wordt aangenomen dat de emissie volgens RAV-stal A1.100 overeenkomt met de emissie zoals berekend volgens de NEMA methodiek van de 'niet emissiearme stal'. Voor de andere RAV-staltypen wordt vervolgens de berekende stalemissie vermenigvuldigd met een correctiefactor voor staltype (zie Tabel 2.2.5), die overeen komt met de verhouding tussen de RAV-emissie per dierplaats van het betreffende staltype en de RAV-emissie per dierplaats van staltype 'A 1.100- overige huisvestingssystemen'. Tabel 2.2.4 geeft hiervan een voorbeeld.

Tabel 2.2.4 Voorbeeld vergelijking RAV stal A1.5 ten opzichte van het referentie RAV stal A 1.100.

RAV-Stal	Emissiefactor (kg NH ₃ per dierplaats per jaar)	Correctiefactor t.o.v. stal A1.100
A 1.100 (standaard)	13	
A 1.5	11,8	11,8/13 = 0.91

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

Tabel 2.2.5 Correctiefactoren voor de berekende emissie van $\text{NH}_3\text{-N}$ in afhankelijkheid van het aanwezige type melkveestal (bron staltypen: Kenniscentrum Infomil).

Code	Categorie	NH_3 ¹⁾	Factor ²⁾
A 1	Diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar		
A 1.100	Standaard stal	13	1
A 1.1	Grupstal met drijfmest	5.7	0.44
A 1.2	Loopstal - roostervloer, spoelsysteem of hellende vloer, giergoot, spoelsysteem	10.2	0.78
A 1.3	Loopstal - hellende vloer, giergoot	10.2	0.78
A 1.4	Loopstal - hellende vloer, spoelsysteem	9.2	0.71
A 1.5	Loopstal - sleufvloer, mestschuif	11.8	0.91
A 1.6	Ligboxenstal - dichte hellende vloer, profiel, mestschuif	11	0.85
A 1.7	Ligboxenstal - dichte hellende vloer, rubber toplaag, mestschuif	11	0.85
A 1.8	Ligboxenstal - sleufvloer, noppen, mestschuif	11.8	0.91
A 1.9	Ligboxenstal - roostervloer, bolle rubber toplaag, afdichtlappen in roosterspleten	6	0.46
A 1.10	Ligboxenstal - roostervloer, bolle rubber toplaag	7	0.54
A 1.11	Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, vingerschuif	11.8	0.91
A 1.12	Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, mestschuif	12.2	0.94
A 1.13	Ligboxenstal - roostervloer, cassettes in roosterspleten	7	0.54
A 1.14	Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, mestschuif, dakisolatie	7	0.54
A 1.15	Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, vingerschuif	10.3	0.79
A 1.16	Ligboxenstal - V-vloer van gietasfalt, gierafvoerbuis	11.7	0.9
A 1.17	Mechanisch geventileerde stal, chemisch luchtwassysteem	5.1	0.39
A 1.18	Ligboxenstal - V-vloer, profiel, gierafvoerbuis	8	0.62
A 1.19	Ligboxenstal - roostervloer, hellende groeven, afdichtkleppen in roosterspleten	11	0.85
A 1.20	Ligboxenstal - vloer, perforaties en hellende profilering, mestschuif	10.1	0.78
A 1.21	Ligboxenstal - vloer, hellende langsgroeven, V-vormige dwarsgroeven, mestschuif	7	0.54
A 1.22	Ligboxenstal - sleufvloer, roostervloer, rubber toplaag en afdichtflappen in wachtruimte en doorlopen	11	0.85
A 1.23	Ligboxenstal - vloerplaten, profiel, hellende langssleuven, dwarsgroeven, mestschuif	6	0.46
A 1.24	Ligboxenstal - vloer, hellende langssleuven, perforaties, mestschuif	9.1	0.7
A 1.25	Ligboxenstal - vlakke vloer, rubber matten, hellend profiel	10.3	0.79
A 1.26	Ligboxenstal - V-vloer, rubber matten, profiel, giergoot, mestschuif	8	0.62
A 1.27	Ligboxenstal - roostervloer, afdichtkleppen, hellende groeven, mestschuif, vernevelsysteem	10.3	0.79
A 1.28	Ligboxenstal - roostervloer, rubber matten, composiet nokken, afdichtkleppen in roosterspleten, mestschuif	7.7	0.59
A 1.29	Ligboxenstal - geprofileerde hellende vloer, holtes, mestschuif	9.9	0.76
A 1.30	Ligboxenstal - bolle rubberen matten, ca 7% afschot, betonnen roosters	9.4	0.72
A 1.100	Overige stalsystemen	13	1
A 1.100 bio-potstal	Biologisch - potstal met vaste mest	13	1
A 1.100 bio-grupstal	Biologisch - grupstal met vaste mest	13	1
A 1.100 bio-overig	Biologisch - overige stalsystemen melkkoeien	13	1

¹⁾ Emissie in kg NH_3 per dierplaats per jaar volgens de RAV (Regeling ammoniak en veehouderij).

²⁾ Correctiefactor voor staltype voor de berekende emissie van $\text{NH}_3\text{-N}$ ten opzichte van staltype A1.100.

De emissie van $\text{NH}_3\text{-N}$ uit huisvesting (kg N) wordt daarmee gelijk aan:

$$\text{NH}_3\text{-N}_{\text{huisvesting}} = \text{RAV}_{\text{correctie}} \times$$

$$((\text{TAN-productie in stal}_{\text{winter}} \times \text{EF NH}_3\text{-N standaardstal}_{\text{winter}}) +$$

$$(\text{TAN-productie in stal}_{\text{zomer}} \times \text{EF NH}_3\text{-N standaardstal}_{\text{zomer}}))$$

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:

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

2.2.2.4.2 Overige graasdieren

Door combinatie van de berekende TAN-producties door 'overige graasdieren' (paragraaf 2.2.2.2.2) tijdens opstallen en de emissiefactoren voor ammoniak-N gedurende opstallen (Tabel 2.2.6) kan de ammoniakemissie uit de huisvesting berekend worden ($\text{NH}_3\text{-N}_{\text{stal}}$). De genoemde tabel geeft ook de emissiefactoren voor de overige gasvormige N-verliezen ($N\text{-overig}_{\text{stal}}$). Beide verliesposten zijn nodig om te berekenen hoeveel N per saldo naar een externe mestopslag of direct naar de percelen gaat. De rekenregels luiden:

$$\text{NH}_3\text{-N}_{\text{stal}} = \text{TAN-productie totaal} * (365 - \text{aantal dagen in weide})/365 * EF\ \text{NH}_3$$

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

Tabel 2.2.6 Emissiefactoren (EF) voor ammoniak-N en overige gasvormige verliezen per categorie 'overige graasdieren' per afzonderlijke mestsoort (DM = drijfmest, VM = vaste mest).

categorie	Mestsoort	EF $\text{NH}_3\text{-N}$ 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	14,37	2,4
	VM	14,37	3,5
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	DM	12,7	2,4
	VM	12,7	3,5
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	DM	20,5	2,4
	VM	20,5	3,5
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	DM	22,9	2,4
	VM	22,9	3,5
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	DM	12,7	2,4
	VM	12,7	3,5
Fokschape (cat. 550)	DM	27,8	2,4
	VM	27,8	3,5
Vleeschape, < 4 mnd (cat. 551)	DM	27,8	2,4
	VM	27,8	3,5
Overige schape, > 4 mnd (cat. 552)	DM	27,8	2,4
	VM	27,8	3,5
Melkgeiten (cat. 600)	DM	17,1	2,4
	VM	17,1	3,5
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	DM	17,1	2,4
	VM	17,1	3,5
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	DM	17,1	2,4
	VM	17,1	3,5
Pony's (cat. 941)	DM	29,1	2,4
	VM	29,1	3,5
Paarden (cat. 943)	DM	19,5	2,4
	VM	19,5	3,5

2.2.2.4.3 Staldieren

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

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

waarbij:

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

stalbezetting = normatieve stalbezettingsgraad (Tabel 2.2.7)

dpl = dierplaats

ammoniak = emissie per dpl (Tabel 2.2.8)

Tabel 2.2.7 Normatieve stalbezettingen voor staldieren.

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

Tabel 2.2.8 Ammoniak emissies per dierplaats voor verschillende soorten staldieren en huisvestingsystemen.

Diersoort	Rav-code stal	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
Leghennen	E 2.5.6	Koloniehuisvesting - beluchting via mestband	0.030
	E 2.7	Grondhuisvesting - ca 1/3 strooiselvloer + 2/3 roostervloer	0.315
	E 2.8	Grondhuisvesting - beluchting via Perfosysteem	0.110
	E 2.9.1	Grondhuisvesting - beluchting onder de beun	0.125
	E 2.9.2	Grondhuisvesting - beluchting via buis aan weerszijden legnest	0.150
	E 2.9.3	Grondhuisvesting - beluchting via verticale ventilatiekokers	0.150
	E 2.10	Huisvesting - chemische luchtwasser, 90% NH ₃ -reductie	0.032
	E 2.11.1	Volierehuisvesting - 50% rooster en 1x per week afdraaien	0.090
	E 2.11.2	Volierehuisvesting - 50% rooster en 2 x per week afdraaien	0.055
	E 2.11.3	Volierehuisvesting - 30-45% rooster en beluchting via mestband	0.025
	E 2.11.4	Volierehuisvesting - 55-60% rooster en beluchting via mestband	0.037
	E 2.12.1	Scharrelhuisvesting - 2 verdiepingen	0.068
	E 2.12.2	Scharrelhuisvesting - frequente mest/strooiselverwijdering	0.106
	E 2.13	Huisvesting - biologische luchtwasser, 70% NH ₃ -reductie	0.095
	E 2.14	Huisvesting - biofilter, 70% NH ₃ -reductie	0.095
	E 2.15	Huisvesting - chemische luchtwasser, 70% NH ₃ -reductie	0.095
	E 2.100	Overige huisvestingssystemen	0.315
Vleeskuikens	E 5.1	Zwevende vloer	0.005
	E 5.2	Geperforeerde vloer	0.014
	E 5.3	Etagesysteem roostervloer	0.005
	E 5.4	Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie	0.008
	E 5.5	Vloerverwarming en koeling	0.045
	E 5.6	Mixluchtventilatie	0.037
	E 5.7	Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	0.024
	E 5.8	Etagesysteem - mestband	0.020
	E 5.9.1.2.2	Aparte vervolghuisvesting - mixluchtventilatie	0.033
	E 5.9.1.2.4	Aparte vervolghuisvesting - warmwaterheaters en ventilatoren	0.030
	E 5.10	Verwarming obv warmteheaters en ventilatoren	0.035
	E 5.11	Luchtmengsysteem icm warmtewisselaar	0.021
	E 5.12	Biofilter - 70% NH ₃ -reductie	0.024
	E 5.13	Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	0.024

Diersoort	Rav-code stal	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
Kraamzeugen	E 5.14	Warmteheaters - luchtmengsysteem	0.035
	E 5.100	Overige huisvestingssystemen	0.080
	D 1.2.1	Spoelgotensysteem	3.300
	D 1.2.2	Kunststof schijnvloer	3.700
	D 1.2.3	Gecoate vloer met tandheugelschuif	4.000
	D 1.2.4	Mestschuif	3.100
	D 1.2.5	Mestgoot	3.200
	D 1.2.6	Mestkanaal en waterkanaal	4.000
	D 1.2.7	Hellende plaat	5.000
	D 1.2.8	Mestopvang in aangezuurde vloeistof	3.100
	D 1.2.9	Schuiven in mestgoot	2.500
	D 1.2.10	Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	2.500
	D 1.2.11	Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	2.500
	D 1.2.12	Koeldeksysteem	2.400
	D 1.2.13	Mestpan	2.900
	D 1.2.14	Mestpan met waterkanaal en mestkanaal	2.900
	D 1.2.15	Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie	0.420
	D 1.2.16	Waterkanaal	2.900
	D 1.2.17.3	Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	1.250
	D 1.2.17.4	Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	1.250
	D 1.2.18	Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie	1.660
	D 1.2.19	Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie	0.830
	D 4.1	Drijvende ballen in de mest	5.890
	D 1.2.100	Overige huisvestingssystemen	8.300
Overige zeugen gen	D 1.3.1	Metalen driekanrooster	2.400
	D 1.3.2	Mestgoot combinatierooster	1.800
	D 1.3.3	Spoelgoten	2.500
	D 1.3.4	Mestopvang in aangezuurde vloeistof	1.800
	D 1.3.5	Mestschuif	2.200
	D 1.3.6	Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	1.300
	D 1.3.7	Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	1.300
	D 1.3.8	Koeldeksysteem	2.200
	D 1.3.9	Voerligbox of zeugenvoerstation	2.300
	D 1.3.10	Rondloopstal	2.600
	D 1.3.11	Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie	0.210
	D 1.3.12.3	Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.630
	D 1.3.12.4	Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.630
	D 1.3.13	Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie	0.630
	D 1.3.14	Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie	0.420
	D 4.1	Drijvende ballen in de mest	3.000
	D 1.3.100	Overige huisvestingssystemen	4.200
Gesp. Biggen	D 1.1.1	Gecoate vloer met tandheugelschuif	0.200
	D 1.1.2	Spoelgotensysteem	0.250
	D 1.1.3	Mestopvang in water	0.150
	D 1.1.4	Water- en mestkanaal	0.260
	D 1.1.5	Halfrooster, max 60% rooster	0.390
	D 1.1.6	Mestopvang in aangezuurde vloeistof, vol rooster	0.180
	D 1.1.7	Mestopvang in aangezuurde vloeistof, deel rooster	0.250
	D 1.1.8	Hellende mestband	0.230
	D 1.1.9	Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	0.210
	D 1.1.10	Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	0.210
	D 1.1.11	Koeldeksysteem, deel rooster	0.170
	D 1.1.11	Koeldeksysteem, vol rooster	0.170
	D 1.1.12	Schuine putwand	0.170
	D 1.1.13	Vol rooster, water- en mestkanalen	0.200
	D 1.1.14	Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie	0.030
	D 1.1.15.3	Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.100
	D 1.1.15.4	Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.100
	D 1.1.16	Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie	0.100
	D 1.1.17	Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie	0.070

Diersoort	Rav-code stal	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
Vleesvarkens	D 4.1	Drijvende ballen in de mest	0.490
	D 1.1.100	Overige huisvestingssystemen	0.690
	D 3.1	Volledig rooster	4.500
	D 3.2.1	Deel rooster	4.500
	D 3.2.2	Mestopvang en spoelen	1.600
	D 3.2.3	Koeldekstelsysteem, 170%	1.700
	D 3.2.4	Mestopvang in formaldehyde	1.000
	D 3.2.5	Mestopvang in water	1.300
	D 3.2.6	Koeldekstelsysteem, 200%	1.500
	D 3.2.7.1	Mestkelder, metalen driekantrooster	1.000
	D 3.2.7.2	Mestkelder, overige rooster	1.500
	D 3.2.8	Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	0.900
	D 3.2.9	Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	0.900
	D 3.2.10	Bollevloerhok	1.400
	D 3.2.11	Gescheiden mestkanalen	1.700
	D 3.2.12	Spoelgoten, metalen driekantroosters	1.200
	D 3.2.13	Spoelgoten met roosters	1.700
	D 3.2.14	Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie	0.150
	D 3.2.15.3	Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.450
	D 3.2.15.4	Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.450
	D 3.2.16	V-vormige mestband	1.100
	D 3.2.17	Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie	0.450
	D 3.2.18	Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie	0.300
	D 4.1	Drijvende ballen in de mest	2.130
	D 3.100	Overige huisvestingssystemen	3.000
Witveeskalveren	A 4.1	Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie	0.35
	A 4.2	Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	1.1
	A 4.3	Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie	1.1
	A 4.4	Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie	0.18
	A 4.5.1	Combiwasser - 85% NH ₃ -reductie	0.53
	A 4.5.2	Combiwasser - 70% NH ₃ -reductie	1.1
	A 4.5.3	Combiwasser (waterwasser, chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.53
	A 4.5.4	Combiwasser (watergordijn, biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.53
	A 4.5.5	Combiwasser (waterwasser, biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0.53
	A 4.5.6	Combiwasser (biologisch en chemisch) - 90% NH ₃ -reductie	0.35
	A 4.6	Biologische luchtwasser - 85% NH ₃ -reductie	0.53
	A 4.7	Hellende roostervloer i.c.m. hellende schijnvloer onder de roostervloer	2.5
	A 4.100	Overige huisvestingssystemen	3.5

Tabel 2.2.9 Bruto mest-N excretie van 'staldieren' en emissiefactor van overige gasvormige verliezen (anders dan NH₃-N) bij drijfmest- dan wel vaste mest systemen, met: Emissie van N-overig (kg N) = Bruto N-excretie * EF N-overig.

Diergroep	Bruto N-excretie (kg N per dierplaats)	EF N-overig drijfmest (% van N)	EF N-overig vaste mest (% van N)
Kraamzeugen	27.25	2.4	3.5
Guste en dragende zeugen	17.25	2.4	3.5
Gespeende biggen	3.9	2.4	3.5
Vleesvarkens	12.3	2.4	3.5
Leghennen	0.77	1.2	0.7
Vleeskuikens	0.5	1.2	0.7
Witveeskalveren	14.3	2.4	3.5

2.2.2.5 Ammoniakverlies vanuit externe opslag

Een gedeelte van de mest gaat naar de externe mestopslag. In de KringloopWijzer wordt aangenomen dat 23% van de op stal geproduceerde drijfmest en 100% van de op stal geproduceerde vaste mest (gemiddelde van de waarden zoals vermeld in Van Bruggen *et al.* (2017) naar zo'n externe mestopslag gaan. In die externe mest opslag treden ook nog enige NH₃ verliezen op. Deze worden gecijferd op 1% van de opgeslagen mest bij drijfmest en op 2% bij vaste mest.

2.2.2.6 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.*, 2017). Het ammoniakverlies uit TAN-excretie tijdens beweiding wordt berekend als:

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

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

2.2.2.7 Ammoniakverlies bij mestaanwending

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\% TAN\text{-mest volgens forfaitaire aandelen zoals vermeld in Tabel 2.2.10}$$

Tabel 2.2.10 Normatieve TAN-aandeel (%) in mest voor staldieren.

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

Vervolgens wordt de totale TAN-aanwending uit melkveemest (melkkoeien inclusie bijbehorende jongevee), uit mest van de overige graasdieren en uit 'staldier'-mest verdeeld over het uitrijden op bouwland en het uitrijden op grasland. Dit gebeurt volgens opgave van het bedrijf in BEA waarbij de kg N mestaanwending op grasland en bouwland zijn opgegeven. Tenslotte wordt ook de wijze van aanwending (zie Tabel 2.2.11) opgegeven, waarmee de EF bij aanwending wordt vastgesteld. In de BEA-module van de KringloopWijzer moet worden aangegeven welk percentage van de mest met een bepaalde methode is aangewend. Daarbij worden zowel op grasland als op bouwland drie aanwendingsmethodes onderscheiden.

Tabel 2.2.11 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., 2017).

Grondgebruik	Methode van toediening	Mestsoort			
		Vaste mest & dikke fractie	Drijfmest, dunne fractie, digestaat	Mineralenconcentraat en spuiwater	Compost
Grasland	Bovengronds	74	74	74	69
	Sleepvoet	-	26	10	
	Sleufkouter ¹	-	23	10	
	Zodebemester	-	19	8	
Bouwland	Bovengronds	-	69	69	69
	In twee werkgangen onderwerken	46	-	-	
	In een werkgang onderwerken	-	22	22	
	Sleepvoet	-	36	12	
	Injectie	-	2	3	

¹⁾ Voor de emissiefactor van een sleufkouter wordt het gemiddelde aangehouden van de emissiefactor voor sleepvoeten en zodenbemester.

Uit de combinatie van de aangewende kg TAN en de EF uit Tabel 2.2.11 wordt de ammoniakemissie berekend:

$$NH_3\text{-}N \text{ mestaanwending (kg)} = TAN\text{-}aanwending_{1...n} \times EF_{aanwending_{1...n}}$$

Waarbij 1...n = aanwendingsmethoden uit Tabel 2.2.11

2.2.2.8 Ammoniakverlies bij kunstmesttoediening

Ook uit kunstmest kan ammoniak vervluchtigen. Daarom wordt in BEA opgegeven hoeveel kg N kunstmest is aangewend. Bij het schatten van de emissie wordt geen onderscheid gemaakt in grondsoorten of grondgebruik. Wel wordt gedifferentieerd naar de soort kunstmest-N (Tabel 2.2.12).

Tabel 2.2.12 Emissiefactoren voor kunstmest (EF_{NH₃-N_{kunstmest}}, kg N per 100 kg N-totaal toegediend (Van Bruggen et al., 2017; 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	3,0*
Ureum, gekorrelde, zonder urease-remmer	Grasland en bouwland	14,3
Ureum, gekorrelde, met urease-remmer	Grasland en bouwland	5,1**
Vloeibaar ureum zonder urease-remmer of zuur	Grasland en bouwland	8,1
Vloeibaar ureum met urease-remmer of zuur	Grasland en bouwland	2,9***
Vloeibaar ureum toegediend via injectie	Grasland en bouwland	1,5

* omwille van volledige aansluiting bij de NEMA-werkwijze, zal de emissiefactor verlaagd worden naar 2,5% in de volgende versie van de KringloopWijzer en het overeenkomstige Rekenregeldrapport.

** omwille van volledige aansluiting bij de NEMA-werkwijze, zal de emissiefactor verhoogd worden naar 5,9% in de volgende versie van de KringloopWijzer en het overeenkomstige Rekenregeldrapport.

*** omwille van volledige aansluiting bij de NEMA-werkwijze, zal de emissiefactor verhoogd worden naar 3,1% in de volgende versie van de KringloopWijzer en het overeenkomstige Rekenregeldrapport.

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

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

waarbij $1...n$ = kunstmestsoort uit Tabel 2.2.12

2.2.2.9 Ammoniakverlies uit gewassen

In Figuur 1.3 zijn de op eigen land geproduceerde gewassen opgenomen als de 'oogst- en maaibare hoeveelheid voer gegroeid' (dat wil zeggen: akkerbouwmatige ruwvoedergewassen zoals maïs (snijmaïs, MKS, CCM), kuilgras, vers gras ten behoeve van stalvoeding, steeds exclusief wortels, stoppels en vanggewassen maar inclusief de oogst- en maaiverliezen), en de 'gegroeide hoeveelheid weidegras' (inclusief het deel dat eventueel door ganzen gevreten wordt en de beweidingsverliezen). Op bedrijven met een neventak akkerbouw komen daar nog bij de af te voeren niet-ruwvoergewassen. In onderdeel BEN (paragraaf 2.3.2.1) wordt de berekening van deze posten beschreven onder $Af1_{\text{maïs}}$, $Af3_{\text{maïs}}$, $Af1_{\text{maigras}}$, $Af3_{\text{maigras}}$, $Af1_{\text{weidegras}}$, $Af3_{\text{weidegras}}$, $Af1_{\text{overigruwvoer}}$, $Af3_{\text{overigruwvoer}}$, $Af1_{\text{marktakkerbouw}}$ en $Af3_{\text{marktakkerbouw}}$ (kg N per ha). $Af1$ termen slaan steeds op de netto afvoer (via dam of bek) ingeval van ruwvoerders (maïs, 'maigras', 'weidegras', 'overig ruwvoer' en 'ganzenvraat') en de afvoer van hoofdproducten van marktbaar akkerbouwgewassen ('marktakkerbouw'). $Af3$ termen slaan op de oogst-, maa- en beweidingsverliezen van ruwvoerders (maïs, 'maigras', 'weidegras' en 'overigruwvoer') en de (eventueel af te voeren) bijproducten van marktbaar akkerbouwgewassen ('marktakkerbouw'), zoals stro. Ammoniakverliezen (kg N) uit al deze gewasvormen worden gecijferd op 3% (Vertregt & Rutgers, 1987) van:

$$\begin{aligned} & (GO \times (Af1_{\text{maigras}} + Af3_{\text{maigras}} + Af1_{\text{weidegras}} + Af3_{\text{weidegras}}) + \\ & SO \times (Af1_{\text{maïs}} + Af3_{\text{maïs}}) + \\ & ORO \times (Af1_{\text{overigruwvoer}} + Af3_{\text{overigruwvoer}}) + \\ & AMO \times (Af1_{\text{marktakkerbouw}} + Af3_{\text{marktakkerbouw}}), \end{aligned}$$

met GO, SO, ORO en AMO zijnde, respectievelijk, de oppervlakten (ha) grasland, maïsland, overige ruwvoerders en marktbaar akkerbouwgewassen.

Voor wat betreft $Af1_{\text{marktakkerbouw}}$ en $Af3_{\text{marktakkerbouw}}$ worden de areaal-gewogen gemiddelde N-afvoeren gebruikt. Ingeval het bijproduct van laatstgenoemde gewassen ($Af3_{\text{marktakkerbouw}}$) op het land achterblijft, wordt voor de N-opbrengst van het bijproduct een verstekwaarde aangehouden. Ongeacht of bijproducten worden afgevoerd, wordt aangenomen dat hoofd- en bijproducten ammoniak al voor de oogst verliezen.

2.2.3 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 2.2.3) is bij 20 uur onbeperkt weiden de EF zeer hoog (40,9%) in vergelijking met 9 uur beperkt weiden (17,5%) en summer feeding (14,3%).
- Er wordt aangenomen dat de emissie volgens RAV-stal A1.100 gelijk is aan de emissie zoals berekend volgens de NEMA methodiek van de 'niet emissiearme stal' binnen BEA. Deze aanname is correct als het gaat om de onderlinge vergelijking met dan wel afleiding van de EF voor de andere RAV staltypes. Deze aanname is echter discutabel voor een kwantitatieve vergelijking (op basis van kg ammoniak) van de emissieberekening volgens BEA dan wel RAV. Er zijn namelijk indicaties dat de RAV emissiefactor voor rundvee te laag is (Van Bruggen *et al.*, 2017). Velthof *et al.* (2009) gaven aan dat berekeningen van Smits *et al.* (2007) aangeven dat de RAV-emissiefactor voor melkvee tot ca. 20% hoger kan liggen.
- Bij mestscheiding op het bedrijf zal voor de dunne fractie de EF van drijfmest worden gebruikt en voor de dikke fractie die van vaste mest. Van de aangevoerde hoeveelheid 'kunstmestvervangers' (dunne fractie van gescheiden mest, digestaat, mineralenconcentraat, spuiwater) wordt

-
- verondersteld dat deze mestsoorten na aankoop zo snel mogelijk worden toegediend op het land. Zodoende zal voor deze mestsoorten geen emissie uit stal en opslag worden ingerekend.
- Bij het toedienen van mineralenconcentraat en spuiwater worden andere emissiefactoren gehanteerd (Tabel 2.2.11) dan bij het toedienen van drijfmest. Bij het toedienen van mengsels van mineralenconcentraat (of spuiwater) en drijfmest wordt in de KringloopWijzer gerekend met de emissiefactoren van de afzonderlijke mestsoorten.
 - De hoeveelheid aangewende N wordt door het melkveebedrijf in BEA opgegeven door aan te geven hoeveel N naar het bouwland gaat. De overig aanwezige N gaat naar grasland. Hier zitten potentiële fouten:
 1. De N naar bouwland wordt in de praktijk meestal berekend als kubieke meters mest maal *forfaitair* N gehalte,
 2. De berekende N in mest en opslag heeft als basis de N-excretie van de veestapel voor het lopende kalenderjaar. Echter, er kunnen voorraadmutaties zijn geweest (niet in beeld) en er kan meer N in opslag zitten dan berekend, bijvoorbeeld als gevolg van N-verlies uit voer.
 - NEMA geeft emissiepercentages voor de stal en voor de opslag. Deze worden in NEMA opgeteld tot de emissie uit 'stal en opslag'. Dat doet BEA ook. De BEA-berekening is beperkt verbeterd door aan te nemen dat gemiddeld 23% 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 (resp. het droge stofgehalte in mest), bewuste verdunning van mest met water, aanzuren, toevoegmiddelen, grondsoort, weersomstandigheden (neerslag, temperatuur, wind) gewastype en -hoogte, mestgift, volume van mest, verdeling van mest over een jaar. Daarnaast kunnen ook de be- en verwerking van mest (vergisten, scheiden) nog een rol spelen bij de uiteindelijke ammoniakverliezen.
 - BEA berekent de ammoniakverliezen uit stal en opslag als een fractie van de geproduceerde mest, ongeacht of deze mest eventueel en, zo ja, op welk moment na productie, wordt afgevoerd. In overeenstemming daarmee worden geen ammoniakverliezen uit stal en opslag toegekend aan mest die wordt aangevoerd, ook al verblijft die mest enige tijd op het bedrijf alvorens te worden aangewend. De ammoniakverliezen na toediening van deze mest wordt uiteraard wel verrekend. Daarbij wordt aangenomen dat de aangevoerde mest eenzelfde TAN-aandeel heeft als de mest die op het bedrijf zelf geproduceerd wordt. 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.

2.3 BEN: bedrijfsspecifieke N stromen

2.3.1 Inleiding

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

2.3.2 Berekeningswijzen

2.3.2.1 N-concentratie in water

Om N-concentraties in water te schatten dient het zogenaamde N-bodemoverschot berekend te worden. Dit N-bodemoverschot wordt omgerekend naar een N-concentratie op basis van relaties zoals die tussen beide gevonden wordt bij deelnemers aan het LMM, het Landelijke Meetnet effecten Mestbeleid, van RIVM en WEcR-Wageningen UR (http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid).

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

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

Uit het LMM blijkt dat UF en NO afhankelijk zijn van het grondgebruik (grasland, bouwland) en van de grondsoort (Tabel 2.3.1). Voorts geeft de desbetreffende tabel aan dat er tussen jaren aanmerkelijke verschillen bestaan in de waarden van de uitspoelfractie en het neerslagoverschot.

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

Tabel 2.3.1 Uitspoelfractie UF en neerslagoverschot NO (Fraters et al., 2012).

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

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

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

Tabel 2.3.2 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	Gewas & wel/niet wisselbouw
Aanvoer	Aan0	Nmin voorjaar, in jaar x	X		
	Aan1	Weidemest		X	
	Aan2	'stalmest', incl. voerresten ruwvoer			X
	Aan3	kunstmest			X
	Aan4	klaver		X	
	Aan5	depositie	X		
	Aan6	beweidings-, maai- en oogstverliezen		X	
	Aan7	gewasresten		X	
	Aan8	Vanggewassen en groenbemesters		X	
	Aan9	veenmineralisatie		X	
	Aan10	uit scheuren grasland			X
	Aan11	Excretie van ganzen	X	X	
	Aan	SUBTOTAAL			
Afvoer	Af0	Nmin voorjaar, jaar x+1	X		
	Af1	geoogst van eigen land, inclusief vraat door ganzen	X	X	(X)**
	Af2	ammoniak verliezen bij beweiding, (kunst)mesttoediening en uit staand gewas*		X	
	Af3	beweidings-, maai- en oogstverliezen		X	
	Af4	gewasresten		X	
	Af5	Vanggewassen en groenbemesters		X	
	Af6	opbouw kunstweide			X
	Af	SUBTOTAAL			
Bodem-overschot	Aan-Af	TOTAAL			X

* N-verlies bij veroudering of tijdens voordrogen.

** Ten behoeve van een zo nauwkeurig mogelijke schatting van N-overschotten in wisselbouw dan wel in continueelt, zou ook de hoeveelheid afgevoerde N verbijzonderd moeten worden voor wisselbouw- dan wel continueeltsituaties.

Aanvoerposten

Het N-bodemoverschot wordt berekend op basis van de termen zoals aangegeven in Tabel 2.3.2. 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). Op dit moment worden aan gebruikers van de KringloopWijzer nog geen vragen gesteld over verschillen in aanvoerposten tussen het deel van het grasland en het bouwland dat in wisselbouw wordt geteeld en het deel dat in continueelt wordt geteeld. Tabel 2.3.2. doet dit al wel. De gedachten daarachter is dat de door BEN geschatte N-concentraties, indien gewenst, in de toekomst getoetst moeten kunnen worden aan waarnemingen van het deelnemende bedrijf en deze waarnemingen beïnvloed kunnen zijn door de keuze voor wisselbouw dan wel continueelt. Het betreft de aanvoertermen Aan2, Aan3 en Aan10 en de afvoerterm Af6. Een dergelijk onderscheid, gericht op toetsen, heeft alleen zin als naast een onderscheid in aanvoerposten, ook onderscheid wordt gemaakt in de afgevoerde hoeveelheid N (Af1). De opbrengsten (en N en P afvoer) van gewassen in wisselbouw kunnen immers verschillen van die in continueelt. Bijgevolg kunnen bodemoverschotten behalve vanwege aanvoerverschillen ook vanwege afvoerverschillen anders zijn voor een teelt in wisselbouw dan voor diezelfde teelt in continueelt.

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

De term Aan1 (weidemest) wordt uitgedrukt als kg totaal N per ha totaal grasland, in eerste instantie nog zonder correctie voor de NH₃-N verliezen die bij beweiding optreden. De termen Aan2 ('stalmest', dat wil zeggen binnenshuis uitgescheiden en opgeslagen mest, meestal drijfmest) 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. Aan2 wordt afgeleid uit de gegevens over de bruto N-excretie in het kader van BEX (paragraaf 2.1), voor zover die binnenshuis plaatsvindt, na verrekening van alle gasvormige verliezen uit stal en opslag volgens BEA (paragraaf 2.2), vermeerderd met de netto-mestproductie van een eventuele tak 'staldieren' onder verrekening van aan- en afgevoerde mest, vermeerderd met voerresten maar nog niet gecorrigeerd voor de NH₃-N verliezen die bij toediening van 'stalmest' optreden. Bovendien vindt een correctie plaats voor voorraadswijzigingen: als aan het eind van het jaar minder mest in opslag is dan aan het begin, wordt het verschil (kg N/ha) aan Aan2 toegevoegd, als meer mest in opslag is dan aan het begin, wordt het verschil op de totaal aan 'stalmest' uit te rijden mest-N in mindering gebracht: :

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

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

Voyerrest-N = 0.05 x (N-opname in de vorm van geconserveerd gras en snijmaïs/ (1- 0.05)) + 0.03 x (N-opname in de vorm van overig zelf geteeld ruwvoer en natte bijproducten/ (1-0.03)) + 0.02 x (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 (paragraaf 2.1).

KringloopWijzer-deelnemers geven vervolgens aan wat de 'stalmest' gift (kg N/ha) op grasland (Aan2_{grasland}), op maïsland (Aan2_{maïs}), op het land met overige ruwvoerders (Aan2_{overigruwvoer}) en op het bouwland met marktbaar akkerbouwgewassen (Aan2_{marktakkerbouw}) is, en wel zodanig dat:

Uit te rijden mest-N (kg) = ((GO x Aan2_{grasland}) + (SO x Aan2_{maïs}) + (ORO x Aan2_{overigruwvoer}) + (AMO x Aan2_{marktakkerbouw})), met

GO = totale oppervlakte grasland (ha), SO = totale oppervlakte maïsland, ORO = totale oppervlakte overige ruwvoerders en AMO = totale oppervlakte marktbaar akkerbouwgewassen. In plaats van specifieke opgaven van de bovengenoemde vier bestemmingen van mestvrachten ('oppervlakten x giften per ha') kan vanzelfsprekend vanuit de op het bedrijf uit te rijden hoeveelheid 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.

De huidige versie van de KringloopWijzer maakt voor de berekening van het N-bodemoverschot geen onderscheid tussen het deel van het grasland en het bouwland in continueelt en het deel in wisselbouw. Als daarvoor in toekomstige versie wel gekozen wordt, zijn aanvullende gegevens nodig:

- Het verschil in 'stalmest' gift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en wisselbouw (ESG, positief als gift bij wisselbouw > gift bij continueelt),
- Het verschil in 'stalmest' gift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en wisselbouw (ESB, positief als gift op continueelt > gift bij wisselbouw),
- Het verschil in kunstmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en wisselbouw (EKG, positief als gift bij wisselbouw > gift bij continueelt),

- Het verschil in kunstmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en wisselbouw (EKB, positief als gift op continueelt > gift bij wisselbouw),
- Totale bedrijfsoppervlakte (TO, ha), de totale oppervlakte grasland (GO, ha), de oppervlakte grasland in wisselbouw (WGO, ha) en de oppervlakte bouwland in wisselbouw (WBO, ha), kunnen de totale oppervlakte bouwland (BO, ha) en de 'stalmest'- en kunstmestgift worden uitgerekend op continu grasland, continu bouwland, grasland in wisselbouw en bouwland in wisselbouw volgens:

$$\text{Aan2 op gras in wisselbouw} = ((GO \times \text{Aan2}_{\text{grasland}}) + ((GO - WGO) \times \text{ESG}))/GO$$

$$\text{Aan2 op gras in continueelt} = \text{Aan2 op gras in wisselbouw} - \text{ESG}$$

$$\text{Aan2 op bouwland in wisselbouw} = ((BO \times \text{Aan2}_{\text{bouwland}}) - ((BO - WBO) \times \text{ESB}))/BO$$

$$\text{Aan2 op bouwland in continueelt} = \text{Aan2 op bouwland in wisselbouw} + \text{ESB},$$

waarbij $BO = TO - GO$ en

$$\text{Aan2}_{\text{bouwland}} = ((SO \times \text{Aan2}_{\text{maïs}}) + (ORO \times \text{Aan2}_{\text{overigruwvoer}}) + (AMO \times \text{Aan2}_{\text{marktakkerbouw}})) / (SO + ORO + AMO),$$

Verder geldt:

$$\text{Aan3 op gras in wisselbouw} = ((GO \times \text{Aan3}_{\text{grasland}}) + ((GO - WGO) \times \text{EKG}))/GO$$

$$\text{Aan3 op gras in continueelt} = \text{Aan3 op gras in wisselbouw} - \text{EKG}$$

$$\text{Aan3 op bouwland in wisselbouw} = ((BO \times \text{Aan3}_{\text{bouwland}}) - ((BO - WBO) \times \text{EKB}))/BO$$

$$\text{Aan3 op bouwland in continueelt} = \text{Aan3 op bouwland in wisselbouw} + \text{EKB}$$

waarbij $BO = TO - GO$ en

$$\text{Aan3}_{\text{bouwland}} = ((SO \times \text{Aan3}_{\text{maïs}}) + (ORO \times \text{Aan3}_{\text{overigruwvoer}}) + (AMO \times \text{Aan3}_{\text{marktakkerbouw}})) / (SO + ORO + AMO)$$

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 mestgift, de kunstmestgift en de oppervlakte van die drie bestemmingen nodig heeft. In werkelijkheid bestaat er in de huidige versie van de KringloopWijzer echter de mogelijkheid om de genoemde gegevens te verstrekken voor drie soorten maïsteelt (snijmaïs, MKS, CCM), drie soorten overige ruwvoergewassen (GPS van graan, luzerne, veldbonen, GPS) en ruim tien soorten marktbaar akkerbouwgewassen (zie Tabel 2.3.3). Op basis hiervan wordt een areaal-gewogen gemiddelde berekend.

De term Aan4 (N-binding door vlinderbloemigen, kg N per ha) wordt voor wat betreft de bijdrage van klaver in grasland geschat als het product van de geschatte hoeveelheid gegroeide drogestof (voor aftrek van veldverliezen) in de vorm van klaver (als % klaveraandeel in geoogste hoeveelheid gras plus klaver) en een veronderstelde binding van 45 kg N per ton drogestof in de vorm van klaver (Elgersma & Hassink, 1997; Schils, 2002). De hoeveelheid gegroeide drogestof in de vorm van grasklaver wordt gedefinieerd als het product van de kg DS per kg N in het gewas en de som van dat wat netto geoogst wordt en dat wat als veldverlies achtergebleven is: $\text{ton DS/ kg N} \times (\text{Af1}_{\text{maïgras}} + \text{Af1}_{\text{weide}} + \text{Af3}_{\text{maïgras}} + \text{Af3}_{\text{weide}})$. 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: $\text{klaveraandeel/klaverbezetting} = 0,82$ (Schils *et al.*, 2001).

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

De term Aan5 (N depositie) bedraagt gemiddeld circa 30 kg N per ha per jaar (Anonymus, 2009) maar varieert van minder dan 20 (delen van noord en noordwest Nederland) tot meer dan 50 (delen van

oost en zuid Nederland) kg N per ha per jaar. Regionale specificering vindt plaats op basis van gebiedspecifieke gegevens over N-depositie (Anonymus, 2013).

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

Elders in deze paragraaf wordt toegelicht hoe bovenstaande N-opbrengsten worden afgeleid. Formeel is het bovenstaande uitgangspunt dat Aan6 gelijk is aan de oogst-, maai- en beweidingsverliezen niet correct omdat in het kader van BEA plus (paragraaf 2.2.2.9) 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 maïsland (snijmaïs, MKS en CCM) ($Aan7_{\text{maïsland}}$) wordt de waarde van deze jaarlijkse aanvoerpost, voor zover het wortels en stoppels betreft, op 15 kg N/ha gesteld (Schröder *et al.*, 2016). Overigens staat tegenover deze aanvoerpost, ongeacht de waarde, bij continue teelt van maïs een even grote afvoerpost ($Af4$). Bij de nalevering vanuit beweidings-, maai- en oogstverliezen (Aan6) en gewasresten (Aan7) wordt bij grasland en maïsland (snijmaïs, MKS en CCM) aangenomen dat deze N-aanvoerposten ten goede komen aan de gewassen van waaruit ze afkomstig zijn. Dat dat in een wisselbouwsituatie niet in iedere fase van de rotatie het geval is, wordt vooralsnog genegeerd.

Als het restplant-materiaal van MKS of CCM niet wordt afgevoerd van het veld, bestaat de gewasrest uit meer dan alleen wortels en stoppels. Daarvoor worden (verstek)waarden aangenomen zoals vermeld in Tabel 2.3.3. De gewasresten van de niet-maïs ruwvoedergewassen en marktbaar akkerbouwgewassen (waarvan, zoals aangegeven, wordt aangenomen dat ze geen oogstverliezen kennen en alleen gewasresten in de vorm van wortels en stoppels en eventueel achtergelaten bijproducten, worden gecijferd zoals aangegeven in Tabel 2.3.3. Ook bij deze 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 2.3.3 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. hoofdobbrengst geschatte) wortel- en stoppelresten (kg N per ha). (Schröder et al., 2015).

Gewas	Hoofdproduct:			Bijproduct:			Gewasrest		
	DS	N	P ₂ O ₅	DS	N	P ₂ O ₅	Bij-product	Wortels en stoppels*	
								Min, Max	Factor
GPS-granen	550	8.9	3.8	-	-	-	-	10, 30	0.25
Luzerne	160	5.8	1.4	-	-	-	-	10, 225	0.55
Rode klaver	160	5.8	1.4	-	-	-	-	10, 225	0.55
Bieten	260	1.8	0.9	160	3.4	0.7	34.5	10, 30	1.06
Maïs	750	13.5	5.2	400	2.8	0.7	18.8	15, 15	n.v.t.
Granen, grove korrel	750	13.5	5.2	400	2.8	0.7	18.8	10, 70	0.62
Granen, kleine korrel	840	17.8	7.9	840	5.6	1.9	4	10, 30	0.25
Graszaad	830	21	10.1	830	7.2	3.7	3	10, 40	1.27
Peulvruchten	840	34.6	9.4	840	21	4.6	3	10, 30	0.17
Aardappelen	200	3.3	1.1	-	-	-	-	10, 60	0.36
Pootgoed	200	3	1.1	-	-	-	-	10, 100	1.6
Uien en bloembollen	100	2.2	0.7	-	-	-	-	10, 20	0.17
Bladgroenten	75	2.5	0.7	-	-	-	-	10, 50	0.81
Niet-bladgroenten	85	2.6	1.1	85	3	0.9	10	10, 30	0.22
Overig	1000	5	1.0	-	-	-	-	10, 20	0.3
Onbemest vanggewas							40		
Niet-vlinderbloemige groenbemester							50		
Vlinderbloemige groenbemester							60		

* Volgens: N in wortels en stoppels = MIN(Max, (MAX(Min, (factor x N in hoofdproduct)))).

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

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

De term Aan10 heeft betrekking op de aanvoer van N op bouwland uit gescheurd grasland. Dat betekent dat Aan10 = 0 bij grasland in continueelt, grasland in wisselbouw en bouwland in continueelt. Bij bouwland in wisselbouw wordt Aan10 gelijk gesteld aan het product van de duur van voorafgaande graslandfase en een jaarlijkse zodeopbouw van 75 kg N per ha (Velthof & Oenema, 2001) met een maximum van 300 kg N per ha, gedeeld door de duur van de bouwlandfase:

$$\text{Aan10 bij wisselbouw van bouwland} = (\text{MIN}(300, (75 \times \text{duur graslandfase})) / (\text{duur bouwlandfase}))$$

De term Aan11 heeft betrekking op de aanvoer van stikstof en fosfaat door excretie van grazende ganzen wordt geschat als de totale excretie van de ganzen (N_{eg}T, P_{eg}T) vermenigvuldigd met het deel hiervan dat op de begraaide 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 (paragraaf 2.2). De term Af3 (beweidings-, maai- en oogstverliezen) is een kruispost die gelijk is aan term Aan6. Het is een kruispost in de zin dat de waarde van Aan6 gebaseerd is op de berekende waarde van Af3. De redenering hierbij is dat de aanvoerpost alleen in stand gehouden kan worden door een vergelijkbare (jaarlijkse) investering in de bodemvoorraad, vergelijkbaar met de kruisposten Aan0 en Af0. Vanuit dezelfde gedachtegang is de term Af4 (gewasresten) gelijk is aan Aan7. De term Af5 (vanggewassen) is, zoals hierboven uitgewerkt, gesteld op 40-60 kg N per ha en is alleen aan de orde bij bouwland.

De term Af6 (opbouw kunstweide) heeft betrekking op de vorming van een nieuwe zode onder grasland in wisselbouw (een zogenaamde kunstweide) dat na een bouwlandperiode wordt ingezaaid. Deze term bedraagt 75 kg N per ha per jaar voor de gehele duur van de graslandfase met een maximum van 300 kg N per ha. Dat betekent dat als de graslandfase langer duurt dan 4 jaar, aangenomen wordt dat daarna jaarlijks evenveel N uit wortels en stoppels wordt afgebroken als jaarlijks aan wortels en stoppels worden toegevoegd.

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:

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

met beweidingsverliezen in procenten, volgens Tabel 1.1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 voorraadvijzigingen 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) verrekenet 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) verrekenet 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:

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

Op vergelijkbare wijze geldt voor het overige ruwvoer:

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

$$NOP_{\text{overigruwvoer_eigenland}} = (NOP_{\text{overigruwvoer}} - NOP_{\text{overigruwvoer_aangekocht}})$$

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

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

Het conserveringsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekenet 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) verrekenet dat ook bij aangekocht ruwvoer vervoederingsverliezen optreden.

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

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

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

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

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

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

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

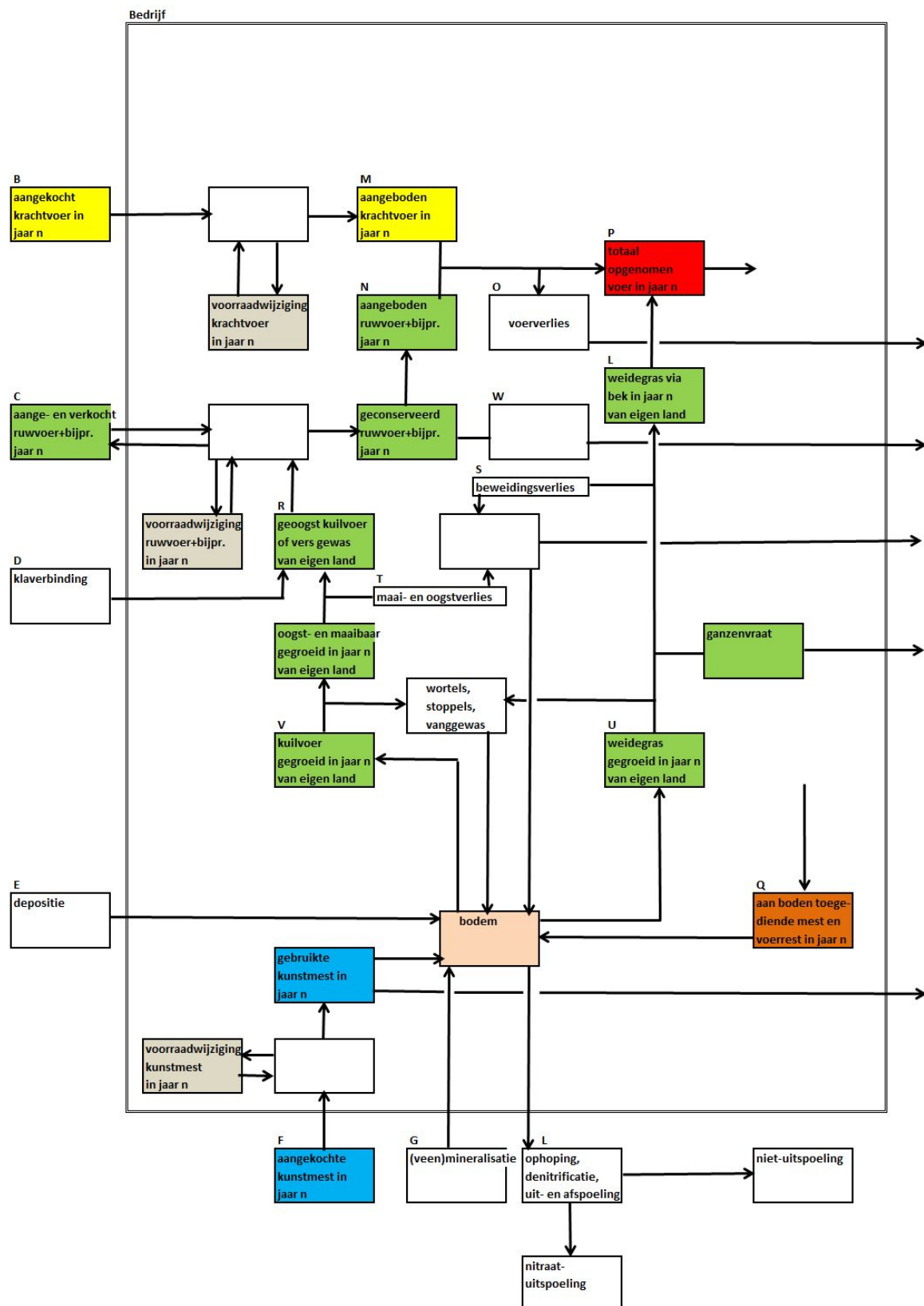
$$Af1_{\text{overruwvoer}} + Af3_{\text{overruwvoer}} = Af1_{\text{overruwvoer}} \times (100/(100 - \text{oogstverlies})) \text{ met oogstverlies (\%) als vermeld in Tabel 1.1.}$$

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 ($Af1_{\text{marktakkerbouw}}$, kg N/ha) berekend worden. Dit gebeurt door het opvragen van het aantal hectares van de in Tabel 2.3.3 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 2.3.3. Voor akkerbouwgewassen die niet in de tabel voorkomen, wordt aangenomen dat deze een verstekafvoer van 150 kg N/ha hebben. Dit cijfer is gebaseerd op de gemiddelde forfaitaire afvoer van een bouwplan dat bestaat uit 25% wintertarwe, 25% consumptieaardappelen, 25% suikerbieten en vijf maal 5% van de gewassen zomergerst, zomertarwe, graszaad, korrelmaïs en zaaiuien, elk met veronderstelde gemiddelde opbrengsten zoals vermeld door het CBS voor de periode 2009-2013 waarbij alleen de hoofdproducten geacht worden te zijn afgevoerd. Aldus:

$$Af1_{\text{marktakkerbouw}} \text{ (kg N/ha)} = (\sum_1^n BOn \times ((YHn \times CNHn) + (YBn \times CNBn))) / AMO,$$

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 2.3.1 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 2.3.1 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.

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:

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

2.3.2.2 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 (circa 80%) in de totale N₂O emissie die afkomstig is van een melkveebedrijf (blijkens ongepubliceerde resultaten van Nederlandse bedrijven in het project 'Dairyman'). De overige bronnen van N₂O emissie van het bedrijf, te weten die uit mestopslagen, worden in paragraaf 2.3.2.3 behandeld.

De onderhavige paragraaf vangt aan met een beschrijving van de wijze waarop de zogenaamde indirecte bodememissies berekend kunnen worden, vooruitlopend op een beslissing of de KringloopWijzer deze emissies moet meenemen. Indirecte bodememissies hebben namelijk 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.

Voor het berekenen van N₂O emissies uit de bodem worden de algemeen geaccepteerde 'Tier 1' rekenregels van het IPCC (2006) gebruikt. Waar mogelijk zijn de emissiefactoren van het eenvoudige 'Tier 1' schema van het IPCC vervangen door Nederlandse emissiefactoren die gespecificeerd zijn voor landgebruik en grondsoort door Velthof & Mosquera (2011) op basis van de meest recente proeven in Nederland (zie Tabel 2.3.4). Daarnaast zijn de berekeningen ook afgestemd op de specifieke bedrijfssituatie zoals aangegeven door de KringloopWijzer deelnemer (bedrijfsspecifieke N-stromen).

De berekende N₂O emissies hebben betrekking op de door de mens veroorzaakte emissie ('human-derived'). Samen met de zogenaamde achtergrondemissie ('background emission') vormen zij de totale N₂O bodememissies van een bedrijf.

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. Zoals hiervoor aangegeven zijn de zogenaamde indirecte N₂O emissies het gevolg van vervluchtiging ('vol', volatilization) en uit- en afspoeling ('lea', leaching) van N en worden zij berekend volgens vergelijkingen Eq 2.3.1 en 2.3.2 (zie Tabel 2.3.4 voor de verklaring van de termen/codes en de waarden voor de emissiefactoren):

$$N_2O_{\text{em}}(\text{vol}) = EF(\text{vol}) * N_{\text{loss}}(\text{vol}) \quad (\text{Eq 2.3.1})$$

met $N_{\text{loss}}(\text{vol})$ = totale NH₃-N verlies volgens BEA (inclusief ammoniakverliezen uit staande gewassen en zwaden) in kg NH₃-N, dus Af2 x BO.

$$N_2O_{\text{em}}(\text{lea}) = EF(\text{lea}) * N_{\text{loss}}(\text{lea}) \quad (\text{Eq 2.3.2})$$

met $N_{\text{loss}}(\text{lea})$ = N-bodemoverschot x UF (volgens BEN).

Aangezien de bodemomstandigheden buiten het bedrijf (relatief) onbekend zijn, worden in de vergelijkingen Eq 2.3.1 en Eq 2.3.2 emissiefactoren gebruikt die het IPCC heeft opgesteld (Tier 1) in combinatie met het bedrijfsspecifieke (totale) verlies aan N via vervluchtiging en uitspoeling. De betreffende N-stromen worden in BEA en BEN bepaald.

Voor de berekening van de directe N₂O bodememissies uit het bedrijf worden de volgende N-stromen onderscheiden: kunstmest ('cf', chemical fertilizer, vergelijking Eq 2.3.3), organische mest ('of', organic fertilizer, vergelijking Eq 2.3.4), N-uitscheiding in de wei ('an', urine and dung excreted by animals, vergelijking Eq 2.3.5), netto N-input in de bodem afkomstig van N-fixatie door vlinderbloemigen ('cl', N fixation by 'clovers', vergelijking Eq 2.3.6), N-input door gewasresten ('cr', crop residues, vergelijking Eq 2.3.7), netto afname van organische bodem-N op minerale gronden ('om', organic matter depletion on mineral soils, vergelijking Eq 2.3.8) en netto afname van organische bodem-N door ontwatering van veengronden ('pt', organic matter depletion on peat soils, vergelijking Eq 2.3.9). Voor wat betreft de term 'N-uitscheiding in de wei' geldt dat deze bestaat uit weidemest uitgescheiden door het vee (Aan1) vermeerderd met de N die daaraan is toegevoegd in de vorm van ganzenmest (Aan11). Iedere stroom (behalve in vergelijking Eq 2.3.9) dient apart gekwantificeerd te worden voor het grasland- en het bouwlanddeel van het bedrijfsareaal en voor de fractie van het bedrijf dat uit minerale grond dan wel uit veengrond bestaat omdat de emissiefactoren verschillend zijn (in totaal maximaal 4 categorieën, zie Tabel 2.3.4). 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. Voor elke N-stroom, elk landgebruikstype en, daarbinnen, continueelten dan wel teelten in wisselbouw, wordt een N₂O emissie berekend (zie ook Tabel 2.3.4):

De N-stromen die samenhangen met de bemesting (vergelijkingen Eq 2.3.3 en 2.3.4) en met de totale N-excretie in de wei (mest en urine; vergelijking Eq 2.3.5), zijn geënt op informatie die eerder gebruikt is voor de berekening van de N-concentratie in water in het kader van BEN.

$$N_2Oem(cf) = EF(cf) * Ninp(cf) \quad (Eq\ 2.3.3)$$

met:

$$Ninp(cf) \text{ op gras} = Aan3_{\text{grasland}} \times GO$$

$$Ninp(cf) \text{ op bouwland} = Aan3_{\text{bouwland}} \times BO,$$

met $Aan3_{\text{bouwland}}$ = areaalgewogen gemiddelde van $Aan3_{\text{maïsland}}$, $Aan3_{\text{overgruwvoer}}$ en $Aan3_{\text{marktakkerbouw}}$ en

$EF(cf)$ volgens Tabel 2.3.4.

$$N_2Oem(of) = EF(of) * Ninp(of) \quad (Eq\ 2.3.4)$$

met:

$$Ninp(of) \text{ op gras} = Aan2_{\text{grasland}} \times GO$$

$$Ninp(of) \text{ op bouwland} = Aan2_{\text{bouwland}} \times BO,$$

met $Aan2_{\text{bouwland}}$ = areaalgewogen gemiddelde van $Aan2_{\text{maïsland}}$, $Aan2_{\text{overgruwvoer}}$ en $Aan2_{\text{marktakkerbouw}}$ en

$EF(of)$ volgens Tabel 2.3.4.

$$N_2Oem(an) = EF(an) * Ninp(an) \quad (Eq\ 2.3.5)$$

met:

$$Ninp(an) = (Aan1 + Aan11) \times GO, \text{ en}$$

EF(an) volgens Tabel 2.3.4.

Bij de N-stroom die samenhangt met N-fixatie door vlinderbloemigen (vergelijking Eq 2.3.6) gaat het niet om de totale N-fixatie, maar om het deel dat via gewasresten van de vlinderbloemige in de bodem terechtkomt. IPCC neemt namelijk aan dat bij het proces van fixatie geen N₂O geproduceerd wordt, waardoor er geen directe N₂O emissie plaatsvindt van het deel dat geoogst wordt. In BEN wordt een schatting gemaakt van de totale N-fixatie op het bedrijf op basis van de oppervlakte grasland en het aandeel witte klaver daarin en de oppervlakte luzerne en veldbonen. De N-inhoud van de gewasrest van witte klaver wordt geschat als $Aan4_{klaver} \times 0,33$. De N-inhoud van de gewasresten van luzerne en veldboon worden geschat als $Af4_{luzerne}$ en $Af4_{veldboon}$ volgens Tabel 2.3.3. Voor de N₂O-emissie dient wel onderscheid gemaakt te worden tussen minerale grond en veengrond (Tabel 2.3.4). De berekening verloopt als volgt:

$$N_2Oem(cl) = EF(cl) * Ninp(cl) \quad (Eq\ 2.3.6)$$

met:

$Ninp(cl) = (Aan4 \times GO \times 0,33) + (Af4_{luzerne} \times LO) + (Af4_{veldboon} \times VO)$ waarbij GO, LO en VO betrekking hebben op, respectievelijk, de oppervlakten (ha) grasland, luzerne en veldboon,

en EF(cl) volgens Tabel 2.3.4 met gewogen waarden op basis van aandelen minerale grond en veengrond.

In de IPCC 'Tier 1' rekenmethodologie vormt de N die in de bodem terecht komt via gewasresten op het veld ook een bron voor N₂O emissie (vergelijking Eq 2.3.7). 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 nateelten geteeld na bouwland-hoofddeelten (i.c. vanggewassen na maïs en groenbemesters). Voor de N₂O emissie die gekoppeld is aan gewasresten in de vorm van de wortel- en stoppelresten van grasland hanteert IPCC (2006) een andere berekeningsmethodiek. IPCC (2006) stelt namelijk dat *'The nitrogen residue from perennial forage crops is only accounted for during periodic pasture renewal, i.e. not necessarily on an annual basis as is the case with annual crops'*. Dit betekent dat het gemiddelde aantal hectares grasland dat jaarlijks vernieuwd wordt, beschikbaar dient te zijn. Het gaat daarbij zowel om grasland dat opnieuw wordt ingezaaid op gescheurd grasland als om grasland dat wordt ingezaaid op bouwland. Voor gras in wisselbouw wordt uitgegaan dat er 75 kg N per ha per jaar wordt vastgelegd (met een maximum van 300 kg N per ha) dat vrijkomt tijdens de akkerbouwfase. Deze hoeveelheid is inclusief toename van bodem N tijdens de grasland fase. Voor gras dat opnieuw ingezaaid wordt op gescheurd grasland wordt de hoeveelheid N in de graszode (alleen de N in het gras, d.w.z. de wortels en stoppels, tijdens graslandvernieuwing) geschat op gemiddeld 190 kg N per ha (Van Dijk *et al.*, 1996; Conijn & Taube, 2004; Conijn 2004).

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

$$N_2Oem(cr) = EF(cr) * Ninp(cr) \quad (Eq\ 2.3.7)$$

met:

$$Ninp(cr) = GO \times Aan6_{grasland} + SO \times Af3_{maïslan} + ORO \times Af3_{overigruwvoer}$$

$$+ BO \times Af4_{bouwland} + SO \times Af5_{maïslan} + (BO-SO) \times Af5_{niet-maïslan}$$

$$+ (fractie\ van\ (GO-WGO)/GO\ die\ gemiddeld\ jaarlijks\ wordt\ geherinzaaid\ op\ gescheurd\ grasland \times 190)$$

$$+ WGO_{<5} \times 75$$

Met:

GO, BO, SO, ORO, WGO, WGO<4 = oppervlakten van, respectievelijk, alle grasland, alle bouwland, maïsland (snijmaïs, CCM, MKS), overige akkerbouwmatige ruwvoerders, grasland in wisselbouw en grasland in wisselbouw met een maximale leeftijd van 4 jaar, en

$Aan6_{\text{grasland}} = Af3_{\text{maaisgras}} + Af3_{\text{weide}}$, en

$Af4_{\text{bouwland}}$ = areaalgewogen gemiddelde van de gewasspecifieke gewasresten volgens Tabel 2.3.3, en

$Af5_{\text{niet-maïsland}}$ = areaalgewogen gemiddelde N-inhoud van groenbemesters op bouwland exclusief maïsland in de vorm van braak ($Af5 = 0$), niet-vlinderbloemige groenbemester ($Af5 = 50$) en vlinderbloemige groenbemester ($Af5 = 60$), en

EF(cr) volgens Tabel 2.3.4 met gewogen waarden op basis van aandelen minerale grond en veengrond.

De laatste twee bronnen van directe N_2O emissie vanuit de bodem hangen samen met een daling in de voorraad organisch gebonden N in de bodem (vergelijking Eq 2.3.8). Bij minerale bodems kunnen de volgende situaties voorkomen: (a) in continu grasland (met/zonder graslandvernieuwing) en in continu bouwland kan een geleidelijke daling per jaar plaatsvinden en (b) tijdens de bouwlandfase na het scheuren van grasland in wisselbouwsystemen zal een daling plaatsvinden. Dalingen zoals bedoeld onder a) worden in BEN vooralsnog niet gekwantificeerd. Dalingen zoals bedoeld onder b) zijn al geschat met behulp van vergelijking Eq 2.3.7 door de jaarlijkse ophoping in gras en bodem van 75 kg N per ha grasland in wisselbouw. Deze N komt weer vrij met de totale extra mineralisatie (kg N per ha per cyclus) die optreedt tijdens de bouwlandfase door afbraak van de graszode en de bodemorganische stof (zie paragraaf 2.3.2.1).

In Nederland zorgt ontwatering van veengronden ten behoeve van melkveebedrijven voor een geleidelijke daling van de bodem en extra afbraak van de aanwezige bodemorganische stof. Voor de kwantificering van de extra N-input worden Nederlandse gegevens gebruikt (zie Tabel 2.3.4) waaronder een jaarlijkse veenmineralisatie van 235 kg N/ha. De N_2O emissie die verbonden is aan de veenmineralisatie, wordt als volgt geschat:

$$N_2O_{em}(pt) = EF(pt) * N_{inp}(pt) \quad (\text{Eq 2.3.8})$$

met:

$$N_{inp}(pt) = TO \times \text{fractie veengrond in totale bedrijfsoppervlakte} \times 235,$$

en $EF(pt) = 0,02$ (zie Tabel 2.3.4).

Voor het berekenen van de totale N_2O bedrijfsemissie worden de verschillende emissies van vergelijkingen Eq 2.3.1 tot en met Eq 2.3.8 gesommeerd (in kg N_2O -N per jaar) en worden tenslotte de bodememissies onder onbemeste omstandigheden opgeteld. Het IPCC (2006) meldt hierover: *'Natural N_2O emissions on managed land are assumed to be equal to emissions on unmanaged land. These latter emissions are very low. Therefore, nearly all emissions on managed land are considered anthropogenic. Estimates using the IPCC methodology are of the same magnitude as total measured emissions from managed land. The so-called 'background' emissions estimated by Bouwman (1996) (i.e., approx. 1 kg N_2O -N/ha/yr under zero fertiliser N addition) are not 'natural' emissions but are mostly due to contributions of N from crop residue. These emissions are anthropogenic and accounted for in the IPCC methodology'*.

Voor de bouwland heeft het IPCC de jaarlijkse input van gewasresten meegenomen (vergelijking Eq 2.3.7) waarmee de emissie uit voornoemd onbemest bouwland is inbegrepen, maar voor grasland is dit nog niet gedaan. Als gevolg daarvan zijn de emissies van onbemest grasland nog niet meegenomen. Er worden twee situaties onderscheiden:

- a. De emissie van onbemest grasland ($N_2O_{em}(\text{backgr_grassl_m})$) op minerale gronden wordt geschat op gemiddeld 1 kg N_2O -N per ha per jaar (Velthof *et al.*, 1996) en wordt vermenigvuldigd met het aantal hectares grasland op het bedrijf:

$$N_2O_{em}(\text{backgr_grassl_m}) = GO \times (1 - \text{fractie veengrond binnen TO}) \times 1 \quad (\text{Eq 2.3.9})$$

- b. De emissie van onbemest grasland op veengronden ($N_2O_{em}(\text{backgr_grassl_p})$) wordt geschat op gemiddeld 5,3 kg N_2O -N per ha per jaar (Velthof *et al.*, 1996). Echter, er is al rekening gehouden met $235 \times 0,02 = 4,7$ kg N_2O -N emissie per ha veengrond als gevolg van extra mineralisatie op ontwaterde veengronden (zie vergelijking Eq 2.3.8 en Tabel 2.3.4). Correctie hiervoor levert:

$$N_2O_{em}(\text{backgr_grassl_p}) = GO \times (\text{fractie veengrond binnen GO}) \times (5,3 - 4,7) \quad (\text{Eq 2.3.10})$$

Deze 'extra' N_2O emissies worden toegevoegd aan de emissies van vergelijkingen Eq 2.3.1 tot en met Eq 2.3.8. Door vermenigvuldiging met 44/28 wordt de totale N_2O bedrijfsemissie verkregen in kg N_2O per jaar.

Tabel 2.3.4 De bodem-gerelateerde N inputs en N_2O emissiefactoren. Waarden behorend bij Cf en Of zijn gebaseerd op Velthof & Mosquera (2011), waarden behorend bij An zijn afkomstig van Velthof *et al.* (1996), andere waarden zijn verondersteld gelijk te zijn aan die bij Cf en Of of zijn afkomstig van andere literatuur bronnen.

Inputs (kg N j ⁻¹) ^{a)}	Code	Omschrijving	Emissiefactoren (EF) ^{b)} (g N_2O -N (g N input) ⁻¹)	
			IPCC (2006)	Waarden in BEN ^{k)}
Vervluchtiging ('off-farm')	Vol	Totaal bedrijfsverlies door vervluchtiging	0,01	0,01 (van IPCC)
Uitspoeling ('off-farm')	Lea	Totaal bedrijfsverlies door uitspoeling	0,0075	0,0075 (van IPCC)
Kunstmest	Cf	Toegediende kunstmest-N	0,01	Grasland : 0,008 – 0,03 ^{c)} Akkerland: 0,008 – 0,03 ^{c,d)}
Organische mest	Of	Toegediende organische bemesting ^{e)}	0,01	Grasland : 0,003 – 0,01 ^{c)} Akkerland: 0,013 – 0,02 ^{c)}
Uitscheiding in het veld	An	Excretie in het veld (mest plus urine)	0,02	Grasland : 0,024 – 0,061 ^{c)}
Netto biologisch-gefixeerde N	Cl	Gefixeerde N in de gewasresten van vlinderbloemigen	0,01	Mengcultuur ^{f)} : 0,003 – 0,01 ^{c,g)} Monocultuur: 0,013 – 0,02 ^{c,g)}
Gewas-/grasresten	Cr	Totale input via gewas-/grasresten	0,01	Grasland : 0,003 – 0,01 ^{c,g)} Akkerland: 0,013 – 0,02 ^{c,g)}
Input via bodem-organische stof-afname	Om	Netto afname van bodemorganische N op minerale gronden	0,01	Gras-gras ^{h)} : 0,003 ^{g)} Perm., akker : 0,013 ^{g)} Gras-akker : 0,008 ⁱ⁾
Extra mineralisatie in veengronden	Pt	Afname van bodemorganische N op veengronden	8 kg N_2O -N ha ⁻¹ j ⁻¹	4,7 kg N_2O -N ha ⁻¹ j ⁻¹ j)

a) Inputs worden per landgebruikstype (grasland of akker) en indien mogelijk per grondsoort bepaald.

b) EF's zijn gebaseerd op totale inputs inclusief eventuele ammoniakvervluchtiging in het veld.

c) Eerste waarde geldt voor minerale gronden, tweede waarde voor organische gronden.

d) Waarde is verondersteld gelijk te zijn aan die van grasland.

e) Waarde geldt voor emissie-arme toediening (met betrekking tot ammoniakvervluchtiging).

f) Mengcultuur geldt voor gras-klover mengsels, monocultuur geldt voor akkerbouwmatige teelt van vlinderbloemigen.

g) Waarden zijn verondersteld gelijk te zijn aan die van organische mesttoediening op grasland of akkerland.

h) Gras-gras heeft betrekking op permanent grasland of herinzaai van grasland; perm. akker geldt voor permanente akkerbouw en gras-akker voor akkerbouw na grasland (wisselbouw).

i) Waarden zijn geschat door het gemiddelde te nemen van de waarden bij organische mesttoediening op grasland en akkerland.

j) Waarde is gebaseerd op een netto afname van 235 kg N ha⁻¹ j⁻¹ door oxidatie van bodemorganische stof en een emissiefactor van 0,02 (bron: NL protocol voor rapportage van N_2O emissies (NIR, 2014), gebaseerd op Kuikman *et al.* (2005).

k) De waarden vallen binnen het onzekerheidsgebied zoals gepubliceerd door het IPCC: 0,007 – 0,06 voor excretie in het veld, 0,003 – 0,03 voor andere inputs en 2 – 24 voor N_2O -N emissie van gecultiveerde organische gronden in de gematigde klimaatzone.

2.3.2.3 Emissie van N₂O uit mestopslagen

2.3.2.3.1 Melkvee

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

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

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

De berekeningswijze in het kader van BEN is grotendeels gebaseerd op de nationale monitoringprotocollen. Deze protocollen beschrijven de methoden en werkprocessen voor het vaststellen van de emissies, inclusief activiteitendata en emissiefactoren. Deze zijn gepubliceerd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Dit protocol valt onder IPCC categorie 4B11 en 4B12: N₂O mestmanagement (www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/monitoring-protocollen). Dit protocol beperkt zich tot de N₂O-emissie uit mest die in de stal wordt geproduceerd, vervolgens tijdelijk wordt opgeslagen en/of be-/verwerkt en vervolgens afgevoerd. De lachgasemissie als gevolg van de productie van mest in de weide is behandeld in de voorgaande paragraaf 2.3.2.2.

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:

$$N_2O_{(Dmm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{excretie_T} * MS_{(T,S)}) \right] * EF_{(S)} \right] * \frac{44}{28}$$

N₂O_(Dmm) : N₂O-emissie van mestmanagementsystemen in kg.

N_{excretie(T)} : Totale N-excretie per diercategorie T in kg (met T = melkvee, jongvee of (totaal)overige graasdieren). Deze N-excretie wordt afgeleid uit BEX (paragraaf 2.1), maar niet verminderd met de gasvormige N-verliezen uit stal en opslag en ook niet gecorrigeerd voor aan- en afgevoerde 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 N uitgescheiden mest.

44/28 : omrekenfactor van kg N₂O-N naar kg N₂O

S : mestmanagementsystemen: systeem voor dunne mest en systeem voor vaste mest.

De hoeveelheid N in mest betreft de bruto hoeveelheid N in mest, d.w.z. niet verminderd met de gasvormige N-verliezen uit stal en opslag. Deze methodiek komt overeen met de IPCC methode (IPCC, 2006). Dat betekent dat de totale hoeveelheid geproduceerde mest-N wordt vermenigvuldigd met de emissiefactor zonder aftrek van ammoniak en overige gasvormige N-verliezen.

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.*, 2017). Naast NH₃ schat het model ook de emissies van N₂O, NO en N₂ uit stallen en opslagen (Tabellen 2.2.2 en 2.2.3).

Voor de emissiefactoren wordt gebruikt gemaakt van de default waarden van IPCC (2006) (Tabel 2.3.5).

Tabel 2.3.5 Emissiefactoren (EF_s) per mestmanagementsysteem in kg N₂O-N / kg N uitgescheiden mest.

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

Bron: IPCC, 2006.

2.3.2.3.2 Overige graasdieren

Voor de 'overige graasdieren' wordt de forfaitaire netto mest-N productie (Tabel 2.1.7) 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 2.2.1). Vervolgens wordt met behulp van de N₂O-N emissiefactoren (Tabel 2.3.6) berekend hoeveel N₂O-N gevormd wordt.

Tabel 2.3.6 Emissiefactoren (EF_s) per diercategorie in kg N₂O-N / kg N uitgescheiden mest.

Diercategorie	Emissiefactoren in kg N ₂ O-N / kg N uitgescheiden mest in de stal	
	Dunne mest	Vaste mest
Fokstieren > 1 jaar (cat. 104)	0,002	0,005
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	0,002	0,005
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	0,002	0,005
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	0,002	0,005
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	0,002	0,005
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	0,002	0,005
Fokschapen (cat. 550)	0,002	0,005
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	0,002	0,005
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	0,002	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)	0,002	0,005
Paarden (cat. 943)	0,002	0,005

2.3.2.3.3 '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 2.3.7)

Tabel 2.3.7 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	36.6	2.4	3.5	0.2	0.5
Guste en dragende zeugen	17.85	2.4	3.5	0.2	0.5
Gespeende biggen	3.4	2.4	3.5	0.2	0.5
Vleesvarkens	10.9	2.4	3.5	0.2	0.5
Leghennen	0.726	1.2	0.7	0.1	0.1
Vleeskuikens	0.498	1.2	0.7	0.1	0.1
Witvleeskalveren	10.58	2.4	3.5	0.2	0.5

2.3.2.4 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, ingekuuld gras, maïs (snijmaïs, MKS en CCM) en aanvullend ruwvoer waaronder natte bijproducten (Tabel 1.1).

De resterende gasvormige N-verliezen uit stal en opslag worden becijferd als het verschil tussen 'overige gasvormige N-verliezen volgens Tabellen 2.2.6 (overige graasdieren) en Tabel 2.2.9 (staldieren) (daar ter berekening van de niet-ammoniak verliezen) en de lachgasverliezen volgens Tabel 2.3.6 (overige graasdieren) en Tabel 2.3.7 (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). Voor wat betreft 'staldieren' wordt aangenomen dat er uit stal en opslag net als bij rundvee, naast ammoniak (Tabel 2.2.8) ook lachgas en overige gasvormige N-verliezen (Tabel 2.3.7) plaatsvinden.

2.3.3 Kanttekeningen bij BEN

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

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

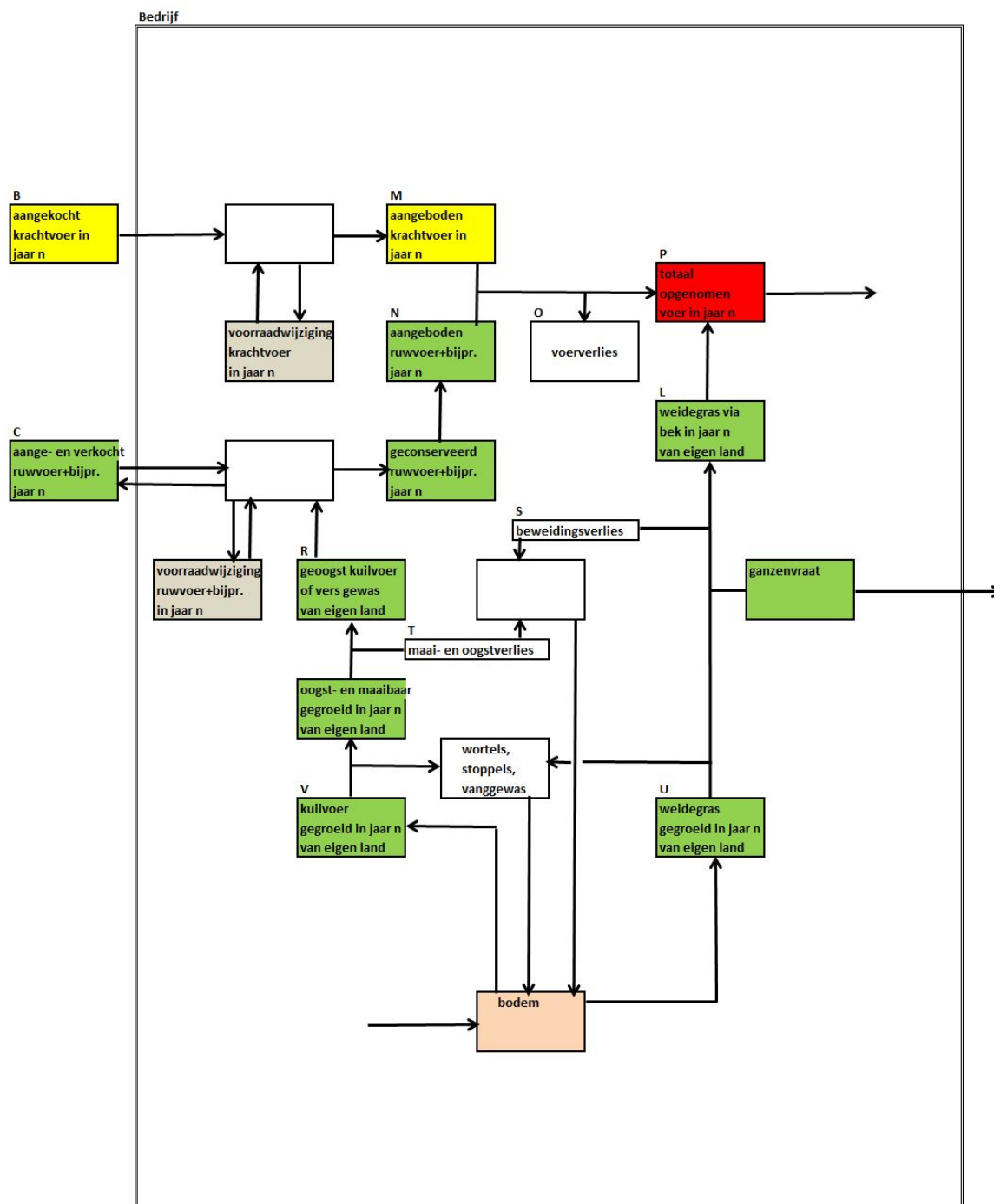
wordt tussen wisselbouw en continue teelt en de afvoertermen beweidings-, maai- en oogstverliezen nog niet exact aan de correcte volgteelten als aanvoerterm worden toegewezen,

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

2.4 BEP: bedrijfsspecifieke P-stromen

2.4.1 Inleiding

BEP heeft tot doel te becijferen hoeveel P (P_2O_5) door weidende dieren ('via de bek') en, eventueel, meevretende ganzen opgenomen wordt en door machines ('over de dam') in de vorm van ruwvoedergewassen (vers gras, kuilgras en maïs (snijmaïs, MKS en CCM), luzerne, veldbonen, GPS) of marktbaar akkerbouwgewassen naar het erf gebracht wordt. 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 2.4.1 Nutriëntenstromen betrokken bij de berekening van de hoeveelheid door machines en dieren geogste P van eigen land op een melkveebedrijf zonder neventak akkerbouw.

2.4.2 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 2.4.1 verduidelijkt een en ander.

$$P \text{ opname uit eigen voer} = \text{totale P opname} - P \text{ opname uit aangekocht voer}, \quad (\text{Eq 2.4.1})$$

met: P opname uit eigen voer = P in ruwvoer geoogst via bek of dam -

$$P \text{ voerrest}_{\text{eigenvoer}}, \quad (\text{Eq 2.4.2})$$

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

en:

P opname uit aangekocht voer =

$$P \text{ in aangekocht voer} - P \text{ voorraadvorming} - P \text{ voerrest}_{\text{aangekochtvoer}} \quad (\text{Eq 2.4.3})$$

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:

$$\begin{aligned} \text{Voerrest-P} = & 0.05 \times (P\text{-opname in de vorm van geconserveerd gras en snijmaïs} / \\ & (1 - 0.05)) + 0.03 \times (P\text{-opname in de vorm van overig zelf geteeld ruwvoer en natte} \\ & \text{bijproducten} / (1 - 0.03)) + 0.02 \times (P\text{-opname in de vorm van krachtvoerders, mengvoer en} \\ & \text{melkproducten} / (1 - 0.02)) \end{aligned} \quad (\text{Eq 2.4.4})$$

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 in ruwvoer geoogst via bek of dam + P in aangekocht voer gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen =

$$P \text{ in mest (inclusief voerrest)} + P \text{ in melk en vlees van melkvee} \quad (\text{Eq 2.4.5})$$

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:

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

factor_aankoop_mutatie = 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-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)

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

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

$P \text{ in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt} + P \text{ in aangekocht voer voor de melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen} = P \text{ in melk en vlees van melkvee} \leftrightarrow$

$P \text{ in aangekocht voer voor de melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen} = P \text{ in melk en vlees van melkvee} - P \text{ in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt.}$ (Eq 2.4.6)

Substitutie van vergelijking Eq 2.4.6 in Eq 2.4.5 geeft:

$P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} + (P \text{ in melk en vlees van melkvee}) - P \text{ in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt} =$

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

$P \text{ in mest van melkvee (inclusief voerrest)} + P \text{ in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam}$ (Eq 2.4.7)

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 beheergrasland afzonderlijk) en maïs (aanleg grasproducten, opname weidegras, aanleg maïskuilen (snijmaïs, MKS en CCM), aanleg overige ruwvoerkuilen (luzerne, veldbonen, GPS); zie BEX) wordt een afgeleide P-opbrengst van het grasland (productiegrasland en beheergrasland afzonderlijk), het maïsland en overige ruwvoerders bepaald. Voor de hoeveelheid P van grasland (P_{grasland}) geldt:

$P_{\text{grasland}} \text{ geoogst via bek of dam} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} / (P_{\text{maigras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuilen}}) * (P_{\text{maigras}} + P_{\text{weide}})$ (Eq 2.4.8)

met:

P_{maigras} = de hoeveelheid P in aangelegde eigen graskuil of vers vervoederd,

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

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

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

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

$P_{\text{maïsland}} \text{ geoogst via dam} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} / (P_{\text{maigras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuilen}}) * (P_{\text{maïskuil}})$ (Eq 2.4.9)

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

$P_{\text{overig kuilen}} \text{ geoogst via dam} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} / (P_{\text{maigras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuilen}}) * (P_{\text{overig kuilen}})$ (Eq 2.4.10)

Om op melkveebedrijven met een akkerbouwtaak en/of een 'staldier'-taak 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'-taak en dient de P-afvoer met marktbaar akkerbouwgewassen in rekeningen gebracht te worden. Dat laatste gebeurt door het opvragen van het aantal hectares van de in Tabel 2.3.3 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 2.3.3. 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% wintertrave, 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:

$$P_{2O_5}\text{-afvoer van de akkerbouwtaak (kg P}_{2}O_5) = \sum_1^n (BOn \times ((YHn \times CPHn) + (YBn \times CPBn))),$$

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

2.4.3 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.

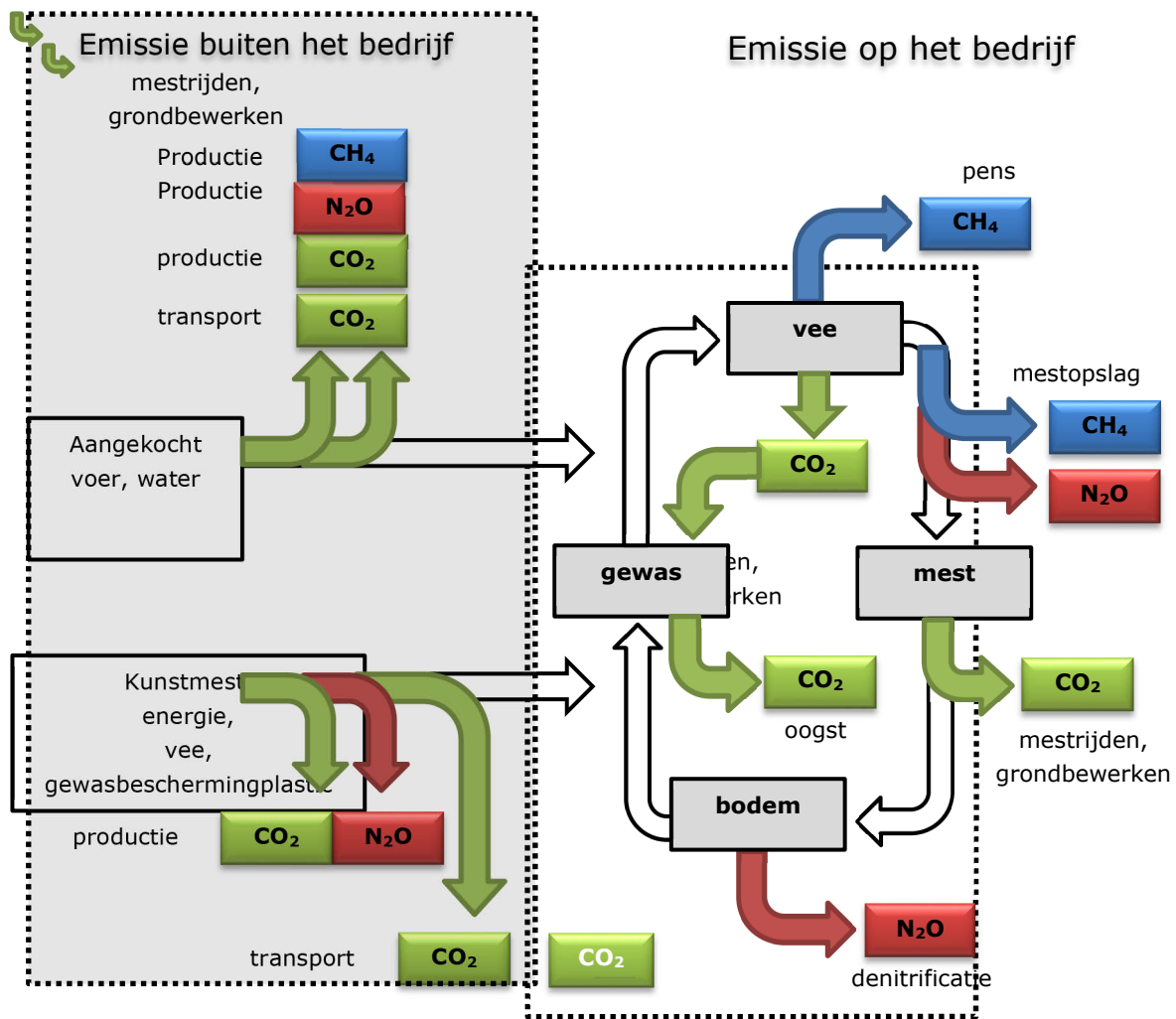
De gehanteerde cijfers voor veldverliezen (beweidingsverlies, maaiverlies, oogstverlies), conserveringsverliezen en vervoederingsverliezen zijn afkomstig uit onderzoek in het verleden. Het valt sterk te overwegen om deze cijfers te updaten. De nauwkeurigheid van de schatting van de P-oogst volgens BEP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

De betrouwbaarheid van de BEP wordt minder naarmate neventakken groter zijn. De P-aanvoer met 'staldier'-mest en de P-afvoer in de vorm van marktbaar akkerbouwgewassen wordt namelijk gebaseerd op gemiddelde forfaitaire mestproductie en gehalten. De werkelijke waarden zullen hiervan afwijken.

2.5 BEC: bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO₂ equivalenten

2.5.1 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 BEC module becijfert niet alleen de koolstof (C) die betrokken is bij de productie van broeikasgassen CH₄ en CO₂, maar gaat ook na of de C-toevoegingen aan de bodem via gewasresten en mest in evenwicht zijn met de C-consumptie door het bodemleven: het saldo van de zogenaamde organische stof balans. Gewassen nemen C op uit de lucht in de vorm van CO₂ en zetten dit om in koolhydraten. Op landbouwbedrijven met vee zetten dieren de C in koolhydraten in ruw- en krachtvoer vervolgens om in melk- en vlees-C (suikers, vetten, eiwitten), in mest-C, in CO₂ en in methaan (CH₄). Tijdens de bewaring van 'stalmest' wordt een deel van de mest-C verder omgezet in CO₂ en CH₄. Het resterende deel van de C in 'stalmest' wordt samen met weidemest-C, en de C in gewasresten, in vanggewassen, in weide-, maai- en oogstverliezen, en in voerverliezen, aan de bodem toegevoegd. Het bodemleven gebruikt deze C als voedsel en produceert daarbij CO₂. Als de toevoegingen van C aan de bodem groter zijn dan de C-consumptie door het bodemleven, stijgt het organische stof gehalte van de bodem, en als de C-consumptie de toevoeging overstijgt, daalt het organische stof gehalte. De verbindingen waaruit deze 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 bodem voor ongeveer 58% uit C bestaat (Anonymus, 2014), 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 580 kg C (2127 CO₂), 48 kg N, en 6 kg P (14 kg P₂O₅).



Figuur 2.5.1 Vereenvoudigd schema van emissies van broeikasgassen op het melkveebedrijf.

In 2018 zijn door de Europese Commissie belangrijke spelregels vastgesteld voor het berekenen van de emissie van broeikasgassen van 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 ook voor de volgende onderdelen de emissies berekend moeten worden:

- de productie van aangekocht voer;
- de productie van alle inputs op het bedrijf, zoals brandstoffen, kunstmest en machines;
- machinegebruik door loonwerkers;
- de landgebruiksverandering die gepaard gaat met de teelt van gewassen 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 CO_2 -equivalenten. Deze worden hierna toegelicht;
- Het meenemen van emissies van landgebruiksverandering (Land Use Change) bij de productie van gewassen. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 2.5.4;
- De verdeling van de emissies over melk en levend gewicht op het melkveebedrijf. Dit wordt hierna verder toegelicht;

- De berekening van de emissies van methaan, lachgas en kooldioxide sluiten aan op IPCC regels voor met name methaan en lachgas maar laten ruimte voor het gebruiken van nationale emissiefactoren. De emissie berekeningen worden in de verschillende onderdelen van dit rapport beschreven;
- De rapportage van de emissies. De PEFCR onderscheidt de volgende categorieën: a) emissies van fossiele bronnen; b) emissies van biogene bronnen en c) landgebruik en landgebruiksverandering. Overigens maakt de KringloopWijzer deze onderverdeling nog niet.

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

2.5.2 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 34 kg CO₂, 1 kg CH₄ afkomstig van fossiele brandstof komt overeen met 36,75 kg CO₂ en 1 kg N₂O komt overeen met 298 kg CO₂ (PEFCR, 2018a).

2.5.3 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 melkvee. De emissies die duidelijk apart berekend en/of gemeten kunnen worden, worden gescheiden naar melkvee (inclusief jongvee) en overige dieren. 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 en gewicht van de afgevoerde levende dieren. Hiervoor wordt een formule gebruikt:

Allocatiefactor melk = $1 - 6.04 \cdot \text{Productie_Levend gewicht} / \text{Productie_FPCM}$, met:

Productie_Levend gewicht = netto afvoer van kg dieren (alleen levende dieren) en
 Productie_FPCM = productie van kg meetmelk [$\text{kg melk} \cdot (0.2534 + 0.1226 \cdot \text{Vet\%} + 0.0776 \cdot \text{Eiwit\%})$],
 en
 Allocatiefactor vlees = $1 - \text{Allocatiefactor melk}$

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

CO₂-emissie melk = $\text{kg CO}_2\text{-equivalenten-emissie melkvee} / 1000 \cdot \text{Allocatiefactor melk} / \text{Productie FPCM}$

2.5.4 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 (Blonk, 2019) is ingebouwd in een rekenprogramma dat onderdeel is van FeedPrint/Agrifootprint (Vellinga *et al.*, 2013).

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.

2.5.5 Waar komen welke emissies tot stand?

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

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

N₂O, tenslotte, ontstaat bij alle processen waar N wordt gebruikt. Op de betreffende rekenregels wordt uitgebreid ingegaan in paragraaf 2.3.

De KringloopWijzer kent twee manieren om met het energieverbruik te kunnen rekenen:

- Registratie: uit meters en afrekeningen, opsplitsen naar melkvee en neventakken, en
- Normberekening op basis van aanvullend ingewonnen informatie.

In de volgende paragrafen wordt de normberekening uitvoerig beschreven.

De staldieren zijn in de bedrijfsberekening 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.

2.5.6 Berekeningswijzen

2.5.6.1 Emissie bij pensfermentatie uit dieren (methaan)

Tiers

De KringloopWijzer beperkt zich voor wat betreft 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.

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

In de Tier 3 methode wordt met behulp van een dynamisch mechanistisch simulatiemodel geschat wat de emissiefactor van elk van de verschillende voedermiddelen (of een totaal rantsoen) is op basis van de chemische samenstelling en de verteringskenmerken van het specifieke voermiddel. Deze factor (in g CH₄ per kg DS voer) wordt vervolgens toegepast om de methaanemissie te berekenen.

De berekening verloopt als volgt. Voor drie denkbare niveaus van het aandeel snijmaïs in de totale drogestofvoorziening uit ruwvoer van melkvee, wordt de methaan-emissie (g CH₄ per kg drogestof) voor het gehele rantsoen berekend. De emissie voor de afzonderlijke voercomponenten bestaat voor veel voeders uit een vast getal per kg drogestof, maar dit getal wordt voor geconserveerd gras, voor snijmaïs en voor mengvoer gedifferentieerd op basis van het aandeel ruw eiwit (Re, g per kg) (Bijlage 4). Vervolgens dient de totale emissie, CH₄_EFvoer genaamd, via interpolatie geschat te worden in het hiervoor berekende traject tussen 0% snijmaïs in rantsoen, via 40% snijmaïs in rantsoen en 80% snijmaïs in rantsoen.

Daarna dient een correctie aangebracht te worden voor het niveau waarop het melkvee gevoed wordt, volgens:

$$\text{CH}_4_EF\text{corOpname} = 0,21 \times (\text{DS opname per dag per melkkoe} - 18,5).$$

Dit leidt tot de zogenaamde CH₄_EFbasis:

$$\text{CH}_4_EF\text{basis} = \text{CH}_4_voer - \text{CH}_4_EF\text{corOpname}.$$

Tenslotte vindt er nog een correctie plaats voor de aanwezigheid van jonge kalveren. De fractie jonge kalveren (FJK) wordt daarbij gedefinieerd als:

$$\text{FJK} = \text{GVE kalveren van 0-3 maanden} / \text{GVE totaal (d.w.z. de alle koeien, pinken en kalveren tezamen)}$$

De CH₄-emissie van de totale melkveestapel (CH₄_EFrantsoen) wordt tenslotte berekend als:

$$\text{CH}_4_EF\text{rantsoen} = \text{CH}_4_EF\text{basis} \times ((1-\text{FJK}) + (0,33 \times \text{FJK}))$$

Voor graskuil en snijmaïs zijn de CH₄ waarden afgeleid uit kuilen van de K&K-bedrijven.

Graskuil (g CH₄ / kg DS):

$$\text{EF0\%} = 36,38 - 0,0136 \times \text{Vem} - 0,0038 \times \text{Re} - 0,0341 \times \text{Ras}$$

$$\text{EF40\%} = 36,38 - 0,0136 \times \text{Vem} - 0,0038 \times \text{Re} - 0,0341 \times \text{Ras}$$

$$\text{EF80\%} = 37,88 - 0,0136 \times \text{Vem} - 0,0038 \times \text{Re} - 0,0341 \times \text{Ras}$$

Minimum : Vem=600, Re=75, Ras=50, EF=18

Maximum : Vem=1025, Re=250, Ras=300, EF=24

Maïskuil (g CH₄/kg DS):

$$\text{EF0\%} = -28,41 + 0,0474 \times \text{Vem}$$

$$\text{EF40\%} = -29,31 + 0,0474 \times \text{Vem}$$

$$\text{EF80\%} = -30,61 + 0,0474 \times \text{Vem}$$

Minimum : Vem=900, EF=16

Maximum : Vem=1050, EF=23

Mengvoeders (g CH₄/kg DS):

$$\text{EF0\%} = 26,75 - 0,0414 \times \text{Re} + 0,000061 \times \text{Re}^2 \text{ (re in g/kg DS)}$$

$$\text{EF40\%} = 26,35 - 0,0407 \times \text{Re} + 0,000059 \times \text{Re}^2 \text{ (re in g/kg DS)}$$

$$\text{EF80\%} = 27,36 - 0,0433 \times \text{Re} + 0,000067 \times \text{Re}^2 \text{ (re in g/kg DS)}$$

Minimum : Re=100

Maximum : Re=350

Voor andere dieren dan melkkoeien en bijbehorend jongvee wordt Tier 2 gebruikt. De Tier2 berekening voor de methaanemissie neemt aan dat een vast percentage van de opgenomen bruto energie verloren gaat in de vorm van CH₄. In de IPCC rekenregels is deze methaan conversie factor Y_M

voor Noord West Europa vastgesteld op 6,5% voor melkveerantsoenen. Dit percentage wordt hier aangehouden.

De berekening verloopt als volgt (Bijlage 5).

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

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

$$\text{CH}_4 \text{ emissie (in kg CH}_4\text{)} = \frac{\text{BEopname} \cdot Y_m}{55,65} \cdot 100$$

* Let op: indien opname krachtvoeder wordt weergegeven per kg product, dan eerst omrekenen naar kg DS (vuistregel: kg DS = kg product x 0.88).

Gebruikte afkortingen

BE = Bruto energie, in MJ

DS = Droge stof opname van veestapel, in kg

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

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

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

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

Forfaits overige graasdieren

Op basis van de DS opname (kg/jaar) en de IPCC methaan conversie factor Y_m van 6,5% van de bruto energie voor de verschillende categorieën rundvee en schapen zijn voor de op het melkveebedrijf aanwezige 'overige graasdieren' forfaits uitgerekend (in kg CH₄ per dier per jaar). Voor paarden en pony's zijn alleen IPCC Tier 1 emissies beschikbaar (IPCC, 2006) (Tabel 2.5.1). Voor de staldieren wordt Tabel 2.5.2 aangehouden.

Tabel 2.5.1 Methaanemissies van overige graasdieren.

Categorie	Kg DS/jr	YM	CH ₄ (kg/jr)	CH ₄ (kg CO ₂ -eq/jr)
Fokstieren, > 1 jaar (cat. 104)	3049	6.5%	65.7	2234
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	3433	6.5%	74	2516
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	659	6.5%	14.2	483
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	2050	6.5%	44.2	1503
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	1561	6.5%	33.6	1142
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	2656	6.5%	57.2	1945
Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550)	469	6.5%	10.1	343
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	62	6.5%	1.3	44
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	312	6.5%	6.7	228
Melkgeiten (cat. 600)	851	6.5%	18.3	622
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	207	6.5%	4.5	153
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	436	6.5%	9.4	320
Pony's (cat. 941)	1696	-	10.3	350
Paarden (cat. 943)	2615	-	15.8	537

2.5.6.2 Emissie van methaan uit mest

2.5.6.2.1 Uitgangspunten

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

- Rundvee
- Overige graasdieren

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

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

CH₄-emissies uit dierlijke mest ontstaan door fermentatieprocessen die optreden in een anaërobe 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 aëroob 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 en pony's 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 anaërobe condities met als gevolg de emissie van CH₄. Deze emissie kan worden verminderd door anaërobe condities te voorkomen, bijvoorbeeld door beluchten of regelmatig omzetten. De hierbij

optredende aërobe 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 aërobe condities is de CH₄-emissie uit weidemest veelal relatief laag. Naast de mate waarin sprake is van anaërobe 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.

2.5.6.2.2 Berekeningswijze

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

$$CH_{4Mest} = \sum_S [EF_{(T)} * N_{(T)}]$$

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:

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} * 365) * \left[B_{0(T)} * 0.67 * \sum_S \frac{MCF_S}{100} * MS_{(T,S)} \right]$$

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

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

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

0.67 : dichtheid methaan (kg / m³)

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

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

B₀

De maximale CH₄-vorming wordt bepaald door de afbreekbaarheid van de organische bestanddelen in de mest. B₀ wordt uitgedrukt in m³. CH₄/kg VS en de (default)waarden zijn afgeleid uit NIR (2014) (Tabel 2.5.2).

MCF_(S)

De MCF geeft de mate aan waarin de hoeveelheid afbreekbare stof onder bepaalde condities ook daadwerkelijk wordt omgezet in CH₄. Als default geeft IPCC waarden voor MCF per diercategorie afhankelijk van de gemiddelde temperatuur in een regio (Tabel 2.5.2).

$VS_{(T)}$

Feces (VS) is de vaste (organische) fractie in dierlijke mest en bevat biologisch en niet-biologisch afbreekbare onderdelen. De hoeveelheid VS in de excretie is afhankelijk van het rantsoen. De berekening is als volgt:

$$VS = \sum (Nexcretie_T * \text{Factor}), \text{ met:}$$

VS : de productie van feces ('vluchtige vaste stof') per diercategorie in kg drogestof per dier per dag

Nexcretie_(T) : totale N-excretie per diercategorie in kg per dag (melkvee, jongvee en (totaal) overige graasdieren). Deze N-excretie wordt afgeleid uit BEX (paragraaf 2.1), maar niet verminderd met de gasvormige N-verliezen uit stal en opslag.

Factor : omrekeningsfactor van N naar VS

Tabel 2.5.2 Parameterwaarden voor de bepaling van de methaanemissiefactoren van mestmanagementsystemen. Voor uitleg van de parameters, zie bovenstaande tekst.

Diercategorie	B ₀	Factor		MCF		
		Dunne mest	Vaste mest	Dunne mest	Vaste mest	Weidemest
Melkkoeien	0,25	15,6	25,8	17	1,5	1
Jongvee	0,18	15,6	25,8	17	1,5	1
Overige graasdieren*	0,20	15,6	25,8		1	
'Staldieren'	0,34	6,1	15,2	39	1,5	

Bron: NIR, 2014.

* IPCC onderscheidt meerdere diercategorieën., welke in parameter B₀ verschillen (b.v. geiten 0,18; schapen 0,19; paarden 0,3) In de Kringloopwijzer zijn deze voorlopig onder één categorie gebracht met een B₀ waarde van 0,2.

2.5.6.2.3 Mestvergisting

In de KringloopWijzer kan opgegeven worden hoeveel drijfmest er extern en/of op het bedrijf vergist wordt. Indien deze mest korter dan 30 dagen in de opslag heeft gezeten voordat deze de vergister ingaat, wordt voor deze hoeveelheid mest met een MCF (zie Tabel 2.5.2) gerekend van 3 in plaats van 17.

2.5.6.3 CO₂ emissie als gevolg van voerproductie en voerverbruik

2.5.6.3.1 Welke posten worden meegenomen?

Voor de teelt van gewassen moeten alle emissies worden meegenomen die horen bij de productie van en de aanwending de inputs en hulpstoffen. Voor kunstmest gaat het dan om zowel het energiegebruik en lachgasvorming bij de productie, als de lachgasemissie bij de aanwending. Ook kalkmeststoffen en gewasbeschermingsmiddelen worden bij de inputs gerekend. Bij de emissies moet ook het gebruik, de productie en het onderhoud van machines worden meegerekend. Het gaat dan om brandstofgebruik op het bedrijf zelf en energie en grondstoffen voor productie en onderhoud. Bij de verwerking van gewassen gaat het om het gebruik van energie en hulpstoffen. Als daarbij meer producten ontstaan, wordt op basis van economische allocatie de emissie toegewezen aan de verschillende co-producten. Met deze allocatie op basis van economische waarde houdt de KringloopWijzer overigens nog geen rekening in het geval van akkerbouwgewassen. De verdeling van emissies over bijvoorbeeld stro en korrel bij granen vindt vooralsnog plaats op basis van de kilogram-verdeling.

Bij de productie van mengvoer gaat het om de emissies uit alle voorgaande stappen voorafgaand aan de aankomst van de grondstoffen in de fabriek. Daar komt dan nog bij de energie die nodig is voor het malen, mengen en pellets maken.

Tussen alle stappen teelt-verwerking-mengvoerproductie-boerderij vindt transport plaats. Alle emissies behorende bij transport worden ook meegenomen.

In de melkveehouderij worden veel verschillende soorten voer gebruikt.

- Ten eerste is er het ruwvoer dat op het eigen bedrijf wordt geteeld. Dat kan gaan om gras, snijmaïs, maar ook andere gewassen, zoals voergranen of veldbonen. Gras en luzerne worden meerdere keren per jaar geoogst. De andere gewassen worden één keer per seizoen geoogst.
- Aangekocht ruwvoer
- Aangekochte bijproducten uit de verwerkende industrie
- Aangekocht mengvoer.

Omdat de berekening van de broeikasgasemissies een ketenbenadering is, moeten van alle groepen de emissies worden berekend. De PEFCR Feed geeft een overkoepelend schema van alle emissieberekeningen.

2.5.6.3.2 *Teelt van eigen voer*

Voor de productie van het eigen ruwvoer worden eigen gegevens gebruikt over inputs, die in KringloopWijzer worden opgevraagd. Dat betreft de productie en toediening van dierlijke mest en kunstmest. De emissie van lachgas is beschreven in paragraaf 2.3.2.2 (bodem) en 2.3.2.3 (mest). De emissies behorend bij de productie van kunstmest zijn ontleend aan Agrifootprint. Het machinegebruik voor de teelt van gewassen is gestandaardiseerd. Een gedetailleerde beschrijving hiervan geeft paragraaf 2.5.6.7.

2.5.6.3.3 *Aangekocht voer*

Voor de aangekochte voedermiddelen (natte en droge bijproducten, ruwvoer, mengvoer) worden standaardwaarden voor emissies per kg product ontleend aan FeedPrint/Agrifootprint (FeedPrint, 2018). Alle emissies van deze producten zijn in die database berekend op basis van gemiddelde waarden voor gewasopbrengsten, inputs, verwerking en transport.

Voor het voeren van alle producten worden apart emissies berekend, afhankelijk van het type product.

2.5.6.4 **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 Guidelines (2006); Fifth Assessment Report, 2014):

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

$\text{NURE_URE} = 60/28$: (Ureum = $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, dus 60/28)

$\text{EF_CO}_2\text{Nure} = 200$ (g CO_2 /kg ureum)

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

$\text{EF_CO}_2\text{Dolo} = 120$ (g CO_2 /kg Dolomiet)

$\text{EF_CO}_2\text{Lime} = 130$ (g CO_2 /kg Kalksteen)

Voorlopig neemt de KringloopWijzer aan dat 90 kg/ha zuivere kalk wordt toegediend die voor 64% uit Dolomietkalk bestaat. Vanaf 2019 zullen gift en samenstelling wordt afgeleid uit de opgegeven invoer.

In Bijlage 6 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.

2.5.6.5 **Gebruik van aangevoerde meststoffen**

Het verbruik van kunstmest moet vermenigvuldigd worden met de EF-waarde van de verschillende kunstmestsoorten volgens Tabel 2.5.3.

Tabel 2.5.3 Emissie van CO₂ bij de productie van verschillende kunstmestsoorten, emissiefactor (EF) in g CO₂-eq/kg, exclusief de emissies voor transport naar het bedrijf.

kunstmestsoort	emissie-coefficient	eenheid	Bron
ammonium	3099	g CO ₂ -eq/kg zuivere N	Feedprint, 2018
nitraat	3625	g CO ₂ -eq/kg zuivere N	Feedprint, 2018
ureum	1332	g CO ₂ -eq/kg zuivere N	Feedprint, 2018
stikstofcombinaties	6685	g CO ₂ -eq/kg zuivere N	Feedprint, 2018
fosfaat	1218	g CO ₂ -eq/kg zuivere P ₂ O ₅	Feedprint, 2018
kali	563	g CO ₂ -eq/kg zuivere K ₂ O	Feedprint, 2018
kalk, kalksteen	32	g CO ₂ -eq/kg kalksteen	Feedprint, 2018
kalk, dolomiet	44	g CO ₂ -eq/kg dolomiet	Feedprint, 2018

Voor organische mest worden alleen transportemissies ingerekend.

2.5.6.6 Gebruik van aangevoerde gewasbeschermingsmiddelen

Het verbruik aan gewasbeschermingsmiddelen in kg actieve stof (AS) wordt standaard ingerekend volgens Tabel 2.5.4.

Tabel 2.5.4 Standaardverbruik van gewasbeschermingsmiddelen (kg as/ha), bron: www.agrimatie.nl.

Soort	landgebruik	verbruik
Nematicide	grasland	0.04
Nematicide	bouwland	0
Herbicide	grasland	0.26
Herbicide	bouwland	1.09
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, zoals aangegeven in Tabel 2.5.5.

Tabel 2.5.5 Emissie van CO₂ bij de productie van verschillende gewasbeschermingsmiddelen, emissiefactor (EF) in g CO₂-eq/kg as.

gewasbeschermingsmiddel	emissie-coefficient	Eenheid	Bron
nematocide	11790	g CO ₂ -eq/kg as	Ecoinvent, 2018
herbicide	12627	g CO ₂ -eq/kg as	Ecoinvent, 2018
fungicide	6317	g CO ₂ -eq/kg as	Ecoinvent, 2018
overige	9867	g CO ₂ -eq/kg as	Feedprint, 2018

Bovenstaande emissies zijn exclusief transport naar het bedrijf

2.5.6.7 Machinegebruik bij de teelt van gewassen

2.5.6.7.1 Inleiding

Het energiegebruik voor productie en onderhoud is gebaseerd op Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007). Hieronder wordt een overzicht gegeven van alle bewerkingen voor de verschillende producten.

2.5.6.7.2 Grasland activiteiten

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

Tabel 2.5.6 geeft aan welke activiteiten zich per type grasland voordoen en hoe vaak ze optreden.

Tabel 2.5.6 Frequentie van de activiteiten per snede grasland voor weiden, zomerstalvoeren, oogsten voor graskuil, oogsten voor hooi en oogsten voor grasdrogen (FeedPrint, 2018).

	Snede weiden	Snede oogst vers gras (zomerstalvoeren)	Snede oogst graskuil	Snede oogst hooi	Snede oogst grasdrogen
kunstmest	1	1	1	1	1
bloten	0.5				
maaien		1	1	1	1
grasladen		1	1		1
schudden			2	3	
wiersen			1	1	
aanrijden			1		
grootpakpers				1	

De navolgende tabellen geven aan welke algemene activiteiten (Tabel 2.5.7) en welke aan zaaien gerelateerde activiteiten (Tabel 2.5.8) zich bij grasland voordoen.

Tabel 2.5.7 Frequentie van algemene activiteiten per ha grasland.

	grasland, landwerk
bekalken	0.25
slepen	0.5
rollen	0.5

Tabel 2.5.8 Frequentie van activiteiten per ha grasland voor herinzaai, doorzaai of voor wisselteelt met een akkerbouwgewas.

	per ha herinzaai	per ha doorzaai	per ha 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 snedes 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 het gebruik van machine worden dan berekend als de som van:

- de producten van de aantallen sneden en de emissies als gevolg van machinegebruik per snede per afzonderlijk type landgebruik,
- de producten van het aantal hectares en de frequenties per hectare voor kalk strooien, rollen en slepen,
- 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 de betreffende emissies.

Tabel 2.5.9 *Energieverbruik per eenheid bewerking van grasland, voor de soorten diesel, elektriciteit, gas, kerosine en kolen.*

Activiteit	eenheid	diesel, direct (kg)	Elektrisch, indirect (MJ)	Gas, Indirect (MJ)	Kerosine (indirect (MJ)	Kolen, indirect (MJ)
Ploegen	Ha	23.0916	12.4589	8.2835	13.3528	1.4143
Eggen	Ha	9.408	9.7013	6.0594	11.8508	1.0345
Inzaaien	Ha	4.326	7.4309	5.0199	7.6687	0.8571
Toedienen drijfmest	m3	0.6615	0.4067	0.3681	0.0724	0.0628
Toedienen vaste mest	ton	1.2852	3.217	2.8543	0.7859	0.4873
Kunstmest strooien	Ha	2.4024	1.0654	0.7576	0.9585	0.1293
Bekalken	Ha	2.4024	1.0654	0.7576	0.9585	0.1293
Spuiten	Ha	2.4864	2.7944	1.8454	3.0413	0.3151
Onkruid bestrijden	Ha	2.4864	2.7944	1.8454	3.0413	0.3151
Bloten	Ha	4.2	1.3244	0.9282	1.2421	0.1585
Maaien	Ha	4.788	2.3552	1.6605	2.1723	0.2835
Zelfdrijvende oogstmachine	Ha	25.62	131.6678	88.56	137.3242	15.12
Schudden	Ha	3.192	0.9882	0.6913	0.9314	0.118
Wiersen	Ha	2.94	4.0348	2.5969	4.643	0.4434
Opraapwagen	Ha	5.292	6.9664	5.3727	4.7093	0.9173
Kleine pakken persen	Ha	5.712	34.7868	27.5024	21.0089	4.6955
Grootpakpersen	Ha	11.256	26.7177	17.1467	30.9298	2.9275
Aanrijden	Ha	2.52	1.4664	1.0937	1.1299	0.1867
Rollen	Ha	4.2	2.8704	1.8982	3.1144	0.3241
Slepen	Ha	4.2	2.8704	1.8982	3.1144	0.3241

2.5.6.7.3 *Bouwland activiteiten*

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 de totale emissies gegeven, zoals deze voor FeedPrint/Agrifootprint zijn berekend. De emissies per kg product worden vervolgens berekend door de emissies van alle inputs en het machinegebruik te delen door de opbrengst op het eigen bedrijf.

Tabel 2.5.10 Energieverbruik per ha akkerbouwgewas in de KringloopWijzer, van de soorten diesel, elektriciteit, gas, kerosine en kolen.

Gewas	diesel, direct (kg)	Elektriciteit, direct (kWh)	Elektriciteit, indirect (MJ)	Gas, indirect (MJ)	Kerosine, indirect (MJ)	Kolen, indirect (MJ)
Snijmaïs	95.85	0	124.188	82.366	133.849	14.062
GPS-granen	95.85	0	124.188	82.366	133.849	14.062
Luzerne	128.05	0	187.006	124.939	198.172	21.331
Rode klaver	128.03	0	186.993	124.93	198.157	21.33
Bieten	192.86	0.2681	524.78	338.8	600.037	57.844
Maïs (CCM, MKS)	123.79	1.0247	197.388	130.138	215.634	22.219
Granen, grove korrel	114.77	0	176.938	116.669	193.245	19.919
Granen, kleine korrel	112.15	0	155.709	102.815	169.526	17.554
Graszaad	114.77	0	176.938	116.669	193.245	19.919
Peulvruchten	86.19	0	118.342	78.515	127.454	13.405
Aardappelen	196.04	1.7771	410.799	268.39	457.892	45.823
Pootgoed	196.04	1.7771	410.799	268.39	457.892	45.823
Uien en bloembollen	196.04	1.7771	410.799	268.39	457.892	45.823
Groenten, blad	128.05	0	187.006	124.939	198.172	21.331
Groenten, niet-blad	128.05	0	187.006	124.939	198.172	21.331
Overig akkerbouw	128.05	0	187.006	124.939	198.172	21.331

2.5.6.7.4 Omzetten van gras- en bouwlandactiviteiten in CO₂

Om de CO₂ te berekenen moeten de totale hoeveelheden diesel en elektriciteit vermenigvuldigd worden met een EF-waarde. Deze EF-waarden staan vermeld in Tabel 2.5.11. Hieraan voorafgaande moet het gebruik van diesel in kilogrammen worden omgezet in MJ's per kg (42.7 MJ/kg) en het gebruik van elektriciteit in kWh worden omgezet in MJ's per kWh (3.6 MJ/kWh).

Tabel 2.5.11 Emissiecoëfficiënten (g CO₂-eq per MJ) voor verschillende energiedragers, exclusief de transport naar het bedrijf.

Product	EF (g CO ₂ -eq per MJ)
Diesel verbranding	84.01
Diesel productie	8.77
Elektriciteit indirect	201.9
Normaal gas indirect	68.25
Kerosine indirect	92.78
Kolen indirect	134.63

$$\text{CO}_2 \text{ direct} = \text{kg diesel} * \text{MJ_per kg Diesel} * (\text{EF_Dieselverbranding} + \text{EF_Dieselproductie}) + \text{kWh elek} * \text{MJ_per kWh Elec} * \text{EF_ElektriciteitDirect}$$

$$\text{EF_ElektriciteitDirect} = \text{zie Tabel 2.5.16}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ indirect} = & \text{MJ electriciteit} * \text{EF_Elektriciteit indirect} + \\ & \text{MJ aardgas} * \text{EF_Aardgas} + \\ & \text{MJ kerosine} * \text{EF_Kerosine} + \\ & \text{MJ bruinkool} * \text{EF_bruinkool} \end{aligned}$$

2.5.6.7.5 Kunstmatig voerdrogen

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 (gedroogd van 200 g/ds naar 920 g/ds), snijmaïs (gedroogd van 310 g/ds naar 910 g/ds), luzerne en klaver (gedroogd van 300 g/ds naar 910 g/ds).

Voor het drogen en balen of brok maken, worden CO₂-emissies ingerekend volgens Tabel 2.5.12.

Tabel 2.5.12 Emissie van CO₂ bij het drogen van verschillende producten, emissiefactor (EF) in g CO₂-eq/ton ingaand product, exclusief transport naar drogerij en terug naar het bedrijf.

Drogen van	emissie-coëfficiënt	eenheid	Bron
Grasbaal	404	kg CO ₂ -eq/ton ingaand	Feedprint, 2018
Grasbrok	470	kg CO ₂ -eq/ton ingaand	Feedprint, 2018
Snijmaïs	366	kg CO ₂ -eq/ton ingaand	Feedprint, 2018
overige ruwvoer	332	kg CO ₂ -eq/ton ingaand	Feedprint, 2018

2.5.6.7.6 Machinegebruik bij het voeren

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

Tabel 2.5.13 Energieverbruik voor voeren per ton product van de verschillende voedermiddelen, van de soorten diesel, elektriciteit, gas, kerosine en kolen. De producten die bij de verschillende voedermiddelen horen staan vermeld in Bijlage 4.

	diesel, direct (kg)	Elektriciteit, indirect (MJ)	Gas, indirect (MJ)	Kerosine, indirect (MJ)	Kolen, indirect (MJ)
Ruwvoer ¹ (ton product)	2.5377	2.0496	1.3976	2.0665	0.2386
overig ruwvoer ¹ (ton product)	3.9206	4.2212	2.8162	4.488	0.4808
bijproducten ¹ (ton product)	2.3789	8.2959	5.222	9.9837	0.8916
vers gras ¹ (ton product)	0.3514	0.2626	0.1816	0.2553	0.031

¹De producten die bij de verschillende voedermiddelen horen staan in Bijlage 4.

Voor de omzetting van dit energieverbruik naar CO₂ wordt verwezen naar Tabel 2.5.11.

2.5.6.8 Aangekocht voer

Omdat de KringloopWijzer zich primair richt op de benutting en verliezen van N, P en C binnen de grenzen van het bedrijf, zou de CO₂-emissie die volgt uit de productie van voer (kunstmest, veldwerk, transport, opslag en bewerking) buiten beeld blijven zodra dit voer niet binnen het bedrijf maar elders geteeld wordt. Het aandeel van deze vorm van indirecte emissies wordt becijferd met getallen uit Bijlage 2.

Uitzondering hierop is het mengvoer, hiervoor zijn 3 getallen beschikbaar voor 3 RE-gehalte in mengvoer. Er wordt geïnterpoleerd tussen deze 3 waarden obv het RE-gehalte per voerpartij:

- 140 g RE/kg = 809 kg CO₂-eq/ton (standaard mengvoer)
- 200 g RE/kg = 1378 kg CO₂-eq/ton (standaard mengvoer)
- 300 g RE/kg = 2182 kg CO₂-eq/ton (standaard mengvoer)

De CO₂-emissie in Bijlage 4 zijn inclusief transport naar bedrijf en inclusief landgebruiksverandering.

2.5.6.9 Overige energie

2.5.6.9.1 Inleiding

Om melk, vlees en gewassen te kunnen produceren wordt ook op nog andere wijzen energie verbruikt. De KringloopWijzer 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, en
- Verbruik van stookolie voor verwarming water en algemeen verbruik.

2.5.6.9.2 Verbruik elektriciteit, gas, propaan, stookolie

Bij de normberekening worden de volgende rekenregels (KWIN, 2018/2019) gebruikt:

Koeling melk (elektriciteit): Afhankelijk van wel of geen voorkoeler en warmteterugwinningsinstallatie.

Geen voorkoeler en geen warmterugwinning: verbruik = $13.0 * \text{melkleverantie} / 1000$ (KWh)

Geen voorkoeler en wel warmterugwinning: verbruik = $14.0 * \text{melkleverantie} / 1000$ (KWh)

Wel voorkoeler en geen warmterugwinning: verbruik = $8.0 * \text{melkleverantie} / 1000$ (KWh)

Wel voorkoeler en wel warmterugwinning: verbruik = $10.0 * \text{melkleverantie} / 1000$ (KWh)

Melken (elektriciteit):

Geen melkrobot: Verbruik = $800 * \text{aantal melkstellen}$ (KWh)

Melkrobot eenbox: Verbruik = $800 * \text{aantal boxen}$ (KWh)

Melkrobot multibox: Verbruik = $1600 * \text{aantal boxen}$ (KWh)

Overige, waaronder verlichting (elektriciteit):

Verbruik = $1924 + 16.3 * \text{aantal koeien}$ (KWh)

Verwarming water (elektriciteit, gas, propaan of stookolie):

Eerst verbruik warm water berekenen in liters per dag:

Melkrobot eenbox en hittereiniging: warmwater = 220 liter

Melkrobot eenbox en circulatiereiniging: warmwater = 228 liter

Melkrobot multibox en hittereiniging: warmwater = 325 liter

Melkrobot multibox en circulatiereiniging: warmwater = 220 liter

Traditionele melkstal:

a : $(20 + \text{aantal melkstellen} * 5) * 0.8$

b : $(20 + \text{aantal melkstellen} * 5) * \text{aantal keren melken}$

c : $(a + b) * 0.40$ indien ruim gedimensioneerd

d : $(\text{aantal koeien} * 1.0) * \text{indien geen warmteterugwinningsinstallatie}$

e : $(45 + \text{aantal koeien} * 0.75) / 2$

warmwater = $a + b + c + d + e$

Geen warmteterugwinning:

Warmtebron is elektrisch: Verbruik elektriciteit = $\text{warmwater} * 29.9644$ (KWh)

Warmtebron is gas: Verbruik gas = $\text{warmwater} * 5.7631$ (m³)

Warmtebron is propaan: Verbruik propaan = $\text{warmwater} * 7.3002$ (ltr)

Warmtebron is stookolie: Verbruik stookolie = $\text{warmwater} * 5.0925$ (ltr)

Wel warmteterugwinning:

Warmtebron is elektrisch: Verbruik elektriciteit = $\text{warmwater} * 12.7348$ (KWh)

Warmtebron is gas: Verbruik gas = $\text{warmwater} * 3.6019$ (m³)

Warmtebron is propaan: Verbruik propaan = $\text{warmwater} * 4.5627$ (ltr)

Warmtebron is stookolie: Verbruik stookolie = $\text{warmwater} * 3.1828$ (ltr)

Overige graasdieren (elektriciteit en gas):

Voor overige graasdieren is met een standaard verbruik gerekend, zie Tabel 2.5.14

Tabel 2.5.14 Standaardverbruik van elektriciteit en gas voor overige graasdieren (Anonymous, 2018).

	elektriciteit (kWh/jr)	gas (m ³ /jr)
Fokstieren, > 1 jaar (cat. 104)	25	0
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	8.3	0
Startkalveren, rosé- of roodvles (cat. 115)	20	8
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	11.5	0
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	14.6	2.9
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	25	0
Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550)	5.3	0
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	5.3	0
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	5.3	0
Melkgeiten (cat. 600)	8.3	0
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	8.3	0
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	8.3	0
Pony's (cat. 941)	0	0
Paarden (cat. 943)	0	0

2.5.6.10 Eigen elektriciteitsproductie

Het zelf produceren van energie kost ook CO₂. De gemiddelde EF is afhankelijk van de vorm van opwekking. Zie Tabel 2.5.15, hieronder

Tabel 2.5.15 Emissie van CO₂ bij de productie van energie, emissiefactor (EF) in de g CO₂-eq/MJ.

Energieproductie via	emissie-coëfficiënt	eenheid	Bron
biomassa	11.65	g CO ₂ -eq/MJ	Feedprint, 2018
wind	4.34	g CO ₂ -eq/MJ	Feedprint, 2018
zon	4.34	g CO ₂ -eq/MJ	Feedprint, 2018

Bij de invoer kan ook nog een overige vorm van opwekking worden opgegeven, zodat de gemiddelde EF per MJ gelijk wordt aan:

De gemiddelde EF per MJ wordt hierbij:

$E_{\text{Elek_prod}} = \text{fractie Bio} * 11.65 + \text{fractie Wind} * 4.34 + \text{fractie Zon} * 4.34 + \text{fractie Overig} * \text{emissie-coëfficiënt 'overig'}$, met

emissie-coëfficiënt 'overig' = gewogen gemiddelde van de wel-bekende vernieuwbare bronnen:

$$\frac{(\text{fractie Bio} * 11.65 + \text{fractie Wind} * 4.34 + \text{fractie Zon} * 4.34)}{(\text{fractie BIO} + \text{fractie Wind} + \text{fractie ZON})}$$

Indien eigen energie wordt geproduceerd en eventueel terug-geleverd aan het stroomnet, dient eerst uitgerekend te worden wat de levering van energie is geweest:

$\text{EigenElek} = \text{productie elektriciteit} - \text{terug levering elektriciteit}$

$\text{Levering} = \text{Verbruik elektriciteit} - \text{EigenElek}$

Om de CO₂ per energiedrager te berekenen moeten de energiehoeveelheden vermenigvuldigd worden met de EF-waarden. In Tabel 2.5.16 staan de EF-waarden per energiedrager.

Tabel 2.5.16 Emissie van CO₂ bij verbruik van de verschillende energiedragers.

	EF (g CO ₂ -eq per MJ)
Elektriciteit, grijs	201.9
Elektriciteit, groen	4.34
gas, normaal	68.25
gas, biomassa	49.01
propaan	87.5
stookolie	87

Bovenstaande emissies zijn exclusief transport naar het bedrijf.

CO₂ elektriciteit: Levering in kWh * 3.6 * (EFelek_grijs * aandeel grijze stroom +
EFelek_groen * aandeel groene stroom)
+ EigenElek in kWh * 3.6 * (EFelek_prod * (1 – PcGVO/100) +
EFelek_grijs * PcGVO/100

CO₂ gas: Verbruik gas in m³ * 39.6 * (EFgas_norm * aandeel normaal gas +
EFgas_bio * aandeel biogas)

CO₂ prop: Verbruik propaan in ltr * 0.51 * 44.0 * EFpropaan

CO₂ olie: Verbruik stookolie in ltr * 0.85 * 41.0 * EFstookolie

2.5.6.11 Overige aanvoerposten

2.5.6.11.1 Aanvoer strooisel

Het verbruik van strooisel moet vermenigvuldigd worden met de EF-waarde van de verschillende strooisel soorten volgens Tabel 2.5.17.

Tabel 2.5.17 Emissie van CO₂ bij de productie van verschillende strooiselsoorten, emissiefactor (EF) in g CO₂-eq/kg, exclusief transport naar het bedrijf.

strooiselsoort	emissie- coefficient	eenheid	Bron
stro	245	g CO ₂ -eq/kg	Feedprint, 2018
zaagsel	22	g CO ₂ -eq/kg	Agri-footprint, 2018
kalk	32	g CO ₂ -eq/kg	Agri-footprint, 2018
overig	100	g CO ₂ -eq/kg	Agri-footprint, 2018

2.5.6.11.2 Aanvoer water

De KringloopWijzer rekent met 0.411 g CO₂-eq per liter en met 1.749 m³ water per ton melk.

2.5.6.11.3 Aanvoer vee

In de KringloopWijzer wordt gerekend met een netto aanvoer/afvoer van vee in kg. Per diergroep (koeien, pinken, kalveren) wordt eerst uitgerekend wat de netto aanvoer (= aanvoer – afvoer) is met een maximum van 0 kg. Per kg dier wordt vervolgens een hoeveelheid CO₂ ingerekend volgens Tabel 2.5.18.

Tabel 2.5.18 Emissie van CO₂ bij de aan- en verkoop van verschillende leeftijdsgroepen vee, emissiefactor (EF) in g CO₂-eq/kg.

Diergroep	emissie- coefficient	eenheid	Bron
Koeien	10.627	kg CO ₂ -eq/kg levend gewicht	Agri-footprint, 2018
Pinken	10.627	kg CO ₂ -eq/kg levend gewicht	Agri-footprint, 2018
Kalveren	10.665	kg CO ₂ -eq/kg levend gewicht	Agri-footprint, 2018
nuchter kalf	10.665	kg CO ₂ -eq/kg levend gewicht	Agri-footprint, 2018

Bovenstaande emissies zijn exclusief transport naar het bedrijf.

2.5.6.11.4 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 2.5.19.

Tabel 2.5.19 Verbruik van plastic als afdek materiaal bij de ruwvoersoorten graskuil en maïs (kg / ton DS), bron: Hospers et al., 2019.

ruwvoersoort	verbruik
graskuil	0.95
maïskuil	1.49

Het verbruik van afdek materiaal moet vermenigvuldigd worden met de EF-waarde van afdek materiaal. De EF-waarde van plastic is 3166 kg CO₂-equivalenten per kg plastic, exclusief transport naar het bedrijf.

2.5.6.12 Transport

De voetafdruk van aangekocht voer houdt al rekening met transport van de producent/verwerker/mengvoerfabriek naar de boerderij. Daarvoor worden geen extra transportemissies berekend. Alle andere 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 2.5.20). De CO₂-emissie die met dat vervoer verbonden is wordt begroot op 101 kg CO₂ per ton per km.

Tabel 2.5.20 Forfaitaire transport afstanden (km) voor diverse producten.

Product	Forfaitaire afstand
Afdekmaterialen	50
Diesel	300
Drogen	100
Gas	100
Gewasbeschermingsmiddelen	50
Kunstmest	100
Olie	100
Organische mest	100
Stro	50
Vee	250

2.5.6.13 Organische stof balans

Gewasresten en organische mest vormen de belangrijkste aanvoerposten van organische stof voor de bodem. De aanvoer via gewasresten becijfert de KringloopWijzer bij gras en maïs (snijmaïs, MKS en CCM) door nauw aan te sluiten bij termen die ook in de module BEN gebruikt worden. Voor wat betreft

de aanvoer via gewasresten is bij andere dan genoemde gewassen gebruik gemaakt van gewas-specifieke effectieve organische stof bijdragen uit de literatuur.

Bij gras en maïs (exclusief eventuele restplant bij MKS en CCM) gaat BEN uit van een gewasrest (stoppel en wortel) van, respectievelijk, 75 en 15 kg N per ha. In een evenwichtssituatie (continueelt) wordt aangenomen dat jaarlijks eenzelfde hoeveelheid wordt afgebroken. Bij wisselbouw van beide gewassen wordt aangenomen dat onder nieuw grasland jaarlijks 75 kg N per ha extra wordt geïnvesteerd met een maximum van 300 kg N per ha, terwijl deze investering in de daarop volgende bouwlandperiode, ongeacht de duur daarvan, weer volledig wordt afgebroken. Net als BEN, maakt ook BEC vooralsnog geen zichtbaar onderscheid tussen de organische stofbalansen van het grasland en het bouwland. Ter berekening van de organische stof-bijdragen van de wortels en stoppels van gras- en maïs converteert de KringloopWijzer de N-inhoud naar effectieve organische stof. Om de effectieve organische stof te berekenen dient de aangevoerde organische stof volgens conventie gecorrigeerd te worden voor dat deel van de aanvoer dat al gedurende de eerste 12 maanden verademd wordt; alleen de organische stof die na die periode resteert, wordt effectieve organische stof genoemd. Tabel 2.5.21 geeft aan met welke omrekenfactoren ('HC-waarden') de KringloopWijzer rekent.

Tabel 2.5.21 Humificatiecoëfficiënten ('HC-waarden') van vers plantenmateriaal, gewasresten en organische meststoffen, de hoeveelheid organische stof per kg N-totaal in mest, en de forfaitaire bijdrage effectieve organische stof-bijdrage van verschillende meststoffen (<http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/adviesbasis-voor-de-bemesting-van-akkerbouwgewassen-organische-stof>).

Bron	HC ¹	OS/N	E.O.S ¹ -bijdrage	
	(kg OS per kg OS toegediend)		(per m ³) ²	(per kg N-totaal ²)
Vers plantmateriaal ³	0,25			
Gewasresten ⁴	0,30			
Graasdieren drijfmest, mestcode 14	0,70	17,8 ⁵	50	12
Graasdieren vaste mest, mestcode 10	0,70	20,1 ⁵	98	14
Weidemest graasdieren ⁶	0,70	17,8 ⁵	50	12
Staldieren drijfmest, mestcode 50	0,33	11,3 ⁵	27	4
Graasdieren vaste mest, mestcode 39	0,70	12,3 ⁵	84	4
Compost ⁷	0,90	30,1 ⁵	152	27
Graasdieren dunne fractie, mestcode 11	0,70	11,7 ⁵	29	8
Graasdieren dikke fractie, mestcode 13	0,70	24,1 ⁵	118	17
Kunstmestvervangers (spuiwater, mineralenconcentraat)	0,33	2,9 ⁸	7	1
Digestaat ⁹	0,90 ¹⁰	6,0 ⁵	30	5
Overig ⁶	0,70	17,8 ⁵	50	12

¹ HC: de humificatiecoëfficiënt is de fractie die een jaar na toediening nog effectief aanwezig is: 'E.O.S.'

² O.b.v. Tabel 1.2.

³ Beweidings-, maai- en oogstverliezen, voerresten.

⁴ Wortels, stoppels, zode van gras, snijmaïs, MKS en CCM.

⁵ Den Boer *et al.*, 2012.

⁶ Als graasdieren drijfmest.

⁷ Gemiddelde GFT en groencompost.

⁸ Velthof, 2011.

⁹ Gemiddelde van rundvee en vleesvarkens en afbraak van Norg van 25-50%.

¹⁰ Als van compost, vanwege voorafgaande mineralisatie.

De aanvoerposten van de (effectieve) organische balans zijn weergegeven in Tabel 2.5.21. De organische stofbalans wordt daarbij 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, granen, hakvruchten, etc.). Ook voor de organische stofbalans geldt dat pas in tweede instantie het gewogen gemiddelde van de afzonderlijke vormen van landgebruik wordt 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 OSAan1 (effectieve organische stof uit weidemest) 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 2.5.21 voor graasdiermest

De term OSAan2 (effectieve organische stof uit 'stalmest') kan niet zonder meer ontleend worden aan de gewas- en wisselbouwspecifieke termen uit de BEN berekening indien Aan2 onder meer uit graasdiermest bestaat. In dat geval wordt mest (Aan2) immers gedefinieerd als de som van uitgescheiden mest en urine 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, met onderscheid tussen continueelt en wisselbouw, wordt dan gelijk aan:

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

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

met Fractie 'echte' mest = ((Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau, kg N/ha – gewogen gemiddelde voerrest van alle gebruikte voedermiddelen, kg N/ha) / (Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau, kg N/ha))

Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau is daarbij de som van de als graasdiermest, de eventuele als niet-graasdiermest en de als compost gegeven N-totaal (kg N/ha), OS/N_{mest} en HC_{mest} zijn de op basis van de N-giften gewogen gemiddelde waarden van de gebruikte drie mestsoorten (Tabel 2.5.21).

De effectieve organische stof die als voerrest via de mest op het land terechtkomt (OSAan2_{voerrest}) wordt dan gelijk aan:

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

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

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

Voor wat betreft de organische stof bijdragen vanuit de beweidings-, maai- en oogstverliezen wordt uitgegaan van de HC's zoals die voor verse gewassen gelden. Dit is een veréenvoudiging van de werkelijkheid omdat de verschillende gewassen in werkelijkheid in afbreekbaarheid zullen verschillen.

De effectieve organische stof die als beweidings- en maaiverliezen op het grasland terechtkomt (EOSAan6_{gras}) is gelijk aan:

$$EOSAan6_{grasland} = (Aan6_{grasland}) \times OS/N_{teeltgras} \times HC_{versgewas} \text{ met}$$

$Aan6_{\text{grasland}} = 5\% \text{ tot } 20\% \text{ van de N-opbrengst (kg N/ha) van het grasland (afhankelijk van het graslandgebruik, zie Tabel 1.1), } OS/N_{\text{teeltgras}} = (\text{kg OS/kg DS})/(\text{kg N/kg DS in gras van eigen land}) = (90/100)/(\text{kg N/kg DS in gras van eigen land}), \text{ en } HC_{\text{versgewas}} = 0,25.$

De effectieve organische stof die via oogstverliezen op het bouwland terechtkomt, beperkt zich tot die op maïsland ($EOS_{\text{maïslandoogstverlies}}$) omdat aangenomen is dat bij de overige akkerbouwmatige ruwvoergewassen en marktbaar bouwlandgewassen geen oogstverliezen optreden, althans niet in aanvulling op de E.O.S.-bijdrage die sowieso aan deze gewassen wordt toegekend (zie verderop in deze paragraaf).

$$EOS_{\text{maïslandoogstverlies}} \text{ (kg per ha bouwland)} = SO/BO \times (Aan6_{\text{maïsland}}) \times OS/N_{\text{teeltmaïs}} \times HC_{\text{versgewas}} \text{ met}$$

SO = oppervlakte maïsland, BO = oppervlakte bouwland, $Aan6_{\text{maïsland}} = 2\%$ (Tabel 1.1) van de N-opbrengst (kg N/ha) van de maïs (snijmaïs, MKS en CCM) van eigen land, $OS/N_{\text{teeltmaïs}} = (\text{kg OS/kg DS})/(\text{kg N/kg DS in maïs van eigen land}) = (90/100)/(\text{kg N/kg DS in maïs van eigen land})$ en $HC_{\text{versgewas}} = 0,25$.

Voor wat betreft de organische stof bijdragen vanuit de gewasresten wordt uitgegaan van een iets lagere HC dan de HC van verse gewassen (Tabel 2.5.21) maar van OS/N verhoudingen die hetzelfde verondersteld worden als die van het verse gewas. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijkheid omdat de gewasresten in werkelijkheid een ander N-gehalte (eiwitgehalte) zullen hebben. De effectieve organische stof die als gewasresten op het grasland terechtkomt ($EOSAan7_{\text{grasland}}$) is gelijk aan:

$$EOSAan7_{\text{grasland}} = (Aan7_{\text{grasland}}) \times OS/N_{\text{teeltgras}} \times HC_{\text{gewasrest}} \text{ met } Aan7_{\text{grasland}} = 75, OS/N_{\text{teeltgras}} = \text{kg OS per kg gras-N, en } HC_{\text{gewasrest}} = 0,30.$$

De effectieve organische stof die via gewasresten op het bouwland terechtkomt ($EOS_{\text{gewasrestbouwland}}$) is gelijk aan

$$EOS_{\text{gewasrestbouwland}} = ((SO \times (Aan7_{\text{maïsland}}) \times OS/N_{\text{teeltmaïs}} \times HC_{\text{gewasrest}}) + ((BO-SO) \times EOS_{\text{gewasrest_niet_maïsland}}))/BO \text{ met}$$

SO = oppervlakte maïsland, $Aan7_{\text{maïsland}} = 15$, $OS/N_{\text{teeltmaïs}} = \text{kg OS per kg maïs-N}$, $HC_{\text{gewasrest}} = 0,30$, BO = oppervlakte bouwland, en $EOS_{\text{gewasrest_niet_maïsland}}$ = de areaalgewogen EOS bijdragen van de niet-maïs bouwlandgewassen en hun eventueel achtergelaten bijproducten (Tabel 2.5.23).

Bij de toevoegingen van effectieve organische stof in de vorm van beweidings- en maaiverliezen op grasland ($EOSAan6_{\text{grasland}}$), oogstverliezen op maïsland ($EOS_{\text{maïslandoogstverlies}}$), gewasresten op grasland ($EOSAan7_{\text{grasland}}$) en gewasresten op bouwland ($EOS_{\text{gewasrestbouwland}}$) wordt aangenomen dat deze toevoegingen 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 hier genegeerd.

De waarde term $EOSAan8$ (effectieve organische stof in de vorm van vanggewassen en groenbemesters) heeft vanzelfsprekend alleen betrekking op de organische stofbalans van bouwland, en bedraagt:

$$EOSAan8 = ((SO \times FV \times Aan8_{\text{maïsland}} \times OS/N_{\text{vanggewas}} \times HC_{\text{versgewas}}) + ((BO-SO) \times FG \times EOS_{\text{groenbemester}}))/BO, \text{ met}$$

SO = oppervlakte maïsland, FV = fractie van het maïsland ingezaaid met een vanggewas, $Aan8_{\text{maïsland}} = 40 \text{ kg N per ha}$, $OS/N_{\text{vanggewas}} = 45$, $HC_{\text{versgewas}} = 0,25$, BO = oppervlakte bouwland, FG = fractie van het niet-maïs bouwland waarop een groenbemester is ingezaaid, $EOS_{\text{groenbemester}} = 1000 \text{ kg per ha}$ (Tabel 2.5.23).

Tabel 2.5.22 Aan- en afvoertermen ter bepaling van het saldo van de organische stof balans (kg effectieve OS/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	Grasland, Bouwland
Aanvoer	EOSAan1	Weidemest		X
	EOSAan2	'Stalmest', excl. voerresten ruwvoer		X
	EOSAan2 _{voerrest}	Voorresten		X
	EOSAan6	Beweidings-, maai- en oogstverliezen		X
	EOSAan7	Gewasresten		X
	EOSAan8	Vanggewassen en groenbemesters		X

Tabel 2.5.23 Effectieve organische stof bijdrage (E.O.S., kg per hectare per jaar) van enkele akkerbouwgewassen en groenbemesters (bron: naar Timmer et al., 2004).

Gewas	Gewasrest	Bijproduct
GPS-granen	1650	-
Luzerne	1350	-
Rode klaver	1350	-
Bieten	400	1000
Maïs	700*	1350****
Granen, grove korrel	700	1350
Granen, kleine korrel	1650	850
Graszaad	2500**	500
Peulvruchten	500	500
Aardappelen	900***	-
Pootgoed	900	-
Uien en bloembollen	300	-
Bladgroenten	450	-
Niet-bladgroenten	600	150
Overig	1700	-
Groenbemester	1000	-

* In praktijk zal hier de bijdrage van het 'bijproduct' (stro) van 1350 kg per hectare bijkomen.

** Gemiddelde van diverse graszaadsoorten en inclusief stro.

*** Inclusief 100 kg per hectare in de vorm van kriel.

**** Geschat als product van 6000 kg drogestof per hectare, waarvan 90% organische stof en een humificatiecoëfficiënt van 25%.

2.5.7 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.
- Wat betreft de (effectieve) organische stof balans dient nog het volgende te worden opgemerkt. Als vuistregel wordt wel aangenomen dat het saldo 1250-2500 kg effectieve organische stof per ha per jaar moet bedragen. Hieraan ligt het idee ten grondslag dat een liter bodem circa 1300 gram weegt, de bouwvoor 25-30 cm dik is, een bodem 2-3% min of meer stabiele organische stof bevat en

hiervan jaarlijks circa 2% afbreekt (Kortleven, 1963). Omdat onder die vuistregel veel aannames liggen betekent dat ook dat een saldo lager dan 1250-2500 kg per ha niet per se wijst op een daling van het organische stof gehalte van de bodem. Evenzo wijst een saldo groter dan 1250-2500 kg per ha niet zonder meer op een stijging van het organische stofgehalte. Idealiter dient de benodigde aanvulling die nodig is om het organische stof gehalte op een zeker peil te houden niet op basis van genoemde vuistregel bepaald te worden, maar bedrijfsspecifiek te worden vastgesteld als functie van het gewenste gehalte. Deze behoefte kan vervolgens worden geconfronteerd met de realisatie van waaruit tenslotte kan worden afgeleid of het organische stof gehalte tot dalen dan wel tot stijgen neigt. De uitkomst hiervan kan een aanleiding zijn om de bodem (opnieuw) te bemonsteren. Ook dan is waakzaamheid geboden omdat een juiste bemonstering lastig is in verband met dichtheidsverandering van de bodem, bemonsteringsdiepte in relatie tot gewijzigde grondbewerkingsmethoden, en contaminatie van diepere bodemlagen met bodemmateriaal uit hoger gelegen lagen tijdens de monsternamen. Pas als herhaalde, meerjarige analyses systematisch in een bepaalde richting wijzen kan ook met zekerheid iets beweerd worden over het lot van N en P die aan de organische stof gebonden zijn.

- 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.

Literatuur

- Agri-footprint, 2018. <http://www.agri-footprint.com/>
- Anonymus, 2009. Milieubalans. Planbureau voor de Leefomgeving. Bilthoven, 248 pp.
- Anonymus, 2013. www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0189-Vermestende-depositie.html?i=14-66.
- 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, 2018. KWIN 2018-2019; 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.
- Blonk, 2019. <http://www.blonkconsultants.nl/portfolio-item/direct-land-use-change-tool/>
- Bouwman, A.F., 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems* 46 (1): 53-70.
- BSI, 2011. PAS 2050:2011. PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution (BSI).
- Conijn, J.G., 2004. Nfate: a N flux model for grassland resowing and grass-arable rotations. In: A. Lüscher, B. Jeangros, W. Kessler, O. Huguenin, M. Lobsiger, N. Millar & D. Suter (eds.). *Land Use Systems in Grassland Dominated Regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Grassland Science in Europe, Volume 9, Luzern, Switzerland, 21-24 June 2004*. 541-543.
- Conijn, J.G. & F. Taube (eds.), 2004. Grassland resowing and grass-arable crop rotations. Consequences for performance and environment. Second workshop of the EGF-Working Group 'Grassland Resowing and Grass-arable Rotations', Kiel, Germany, 27-28 February 2003. Wageningen, Plant Research International, report 80, 78 pp.
- CRV, 2015. Jaarstatistieken 2014. CRV, Arnhem, 55 pp.
- CRV, 2016. Jaarstatistieken 2015, CRV, Arnhem, 56 pp.
- CRV, 2017. Jaarstatistieken 2016. CRV, Arnhem, 56 ppm
- CVB, 2004. Veevoedertabel, gegevens over chemische samenstelling, verteerbaarheid en voederwaarde van voedermiddelen.
- CVB, 2006. Handleiding Voederwaardeberekening ruwvoerders, richtlijnen voor de bemonstering van ruwvoerders en vochtrijke krachtvoerders en voor de berekening van de voederwaarde voor herkauwers en paarden. Productschap Veevoerders, Den Haag.
- CVB, 2011. Feed Table 2011 volgens <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>.
- De Buissonjé, F.F., M.M. van Krimpen & J. Jochemsen, 2009. Mineralenbalans van vleeseenden in praktijkstallen en mineralengehalten in ouderdieren en broedeieren. Rapport 226, Animal Sciences Group, Wageningen UR, Wageningen, 12 pp.
- Den Boer, D.J., J.A. Reijneveld, J.J. Schröder & J.C. Curth-van Middelkoop, 2012. Mestsamenstelling in Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen. Rapport 1, Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Lelystad, 24 pp.
- Ecoinvent, 2018. <https://www.ecoinvent.org/>
- 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.

- FeedPrint, 2018. <http://webapplicaties.wur.nl/software/feedprintNL/index.asp>
- Handreiking, 2018. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/07/Handreiking-bedrijfsspecifieke-excretie-melkvee-2018.pdf>
- 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.
- IEA, 2012. CO₂ emissions from fuel combustion (2012 Edition), International Energy Agency, Paris.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- Kenniscentrum Infomil <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak-en/regeling-ammoniak/stalbeschrijvingen/map-staltypen/hoofdcategorie>.
- Kirkby, C.A., J.A. Kirkegaard, A.E. Richardson, L.J. Wade, C. Blanchard & G. Batten, 2011. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. *Geoderma* 163, 197-208.
- 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. Lachgasemissie uit organische landbouwbodems. Alterra rapport 1035-2, Alterra, Wageningen, The Netherlands.
- 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.
- 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.
- PEFCR, 2018a. Product Environmental Footprint Category Rules Guidance Version 6.3 – May 2018. http://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf
- PEFCR, 2018b. Product Environmental Footprint Category Rule Feed for food-producing animals. http://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/PEFCR_feed.pdf
- PEFCR, 2018c. Product Environmental Footprint Category Rule for Dairy Products. http://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/PEFCR-DairyProducts_2018-04-25_V1.pdf
- 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., F. de Buissonjé, G. Kasper, N. Verdoes & J. Verloop, 2009. Mestscheiding: relaties tussen techniek, kosten, milieu en landbouwkundige waarde. Rapport 287, Plant Research International, Wageningen, 36 pp.
- Schröder, J.J., J.J. de Haan, J.R. van der Schoot, 2015. Verkenning van equivalente maatregelen met het WOG 2.0 rekenmodel. Rapport 638, PRI/PPO-Wageningen UR, 44 pp.

- Schröder, J.J., L.B. Šebek, J.W. 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.
- 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 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.
- 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>.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk, 2015. Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2013. WOt technical report 46, Wageningen, 160 pp.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk, 2017. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2015. Berekeningen met het model NEMA. WOt-technical report 98. Wageningen, 139 pp.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk, 2018. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA. WOt-technical report 119, Wageningen, 124 pp.
- Velthof, G.L., 2011. Synthesis of the research within the framework of the Mineral Concentrate Pilot. Report 2224, Wageningen UR-Alterra, Wageningen, 72 pp.
- Velthof, G.L. & O. Oenema, 2001. Effects of ageing and cultivation of grassland on soil nitrogen. Report 399, Alterra.
- 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.
- Vertregt, N. & B. Rutgers, 1987. Ammoniak-emissie uit grasland. Verslag nr. 65, Nederlands Zure Regenprogramma rapport 64-I, CABO, Wageningen, 23 pp.
- 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.
- Zeeman, G., 1994. Methane production and emission in storages for animal manure. Fertilizer Research 37, 207-211.

Bijlage 1 Verwijzing van kengetallen naar desbetreffende paragraaf van dit rapport

Onderdeel	Kengetal	Beschrijving in rekenregelrapport
BEX en BEP	Voordeel bedrijfsspecifieke excretie: stikstof	Zie Bijlage 2
	Voordeel bedrijfsspecifieke excretie: fosfaat	Zie Bijlage 2
	Voordeel bedrijfseigen gebruiksnorm: fosfaat	Zie Bijlage 2
	BEX-excretie per ton melk: stikstof (kg N)	Excretieberekening stikstof in paragraaf 2.1.2. Delen door hoeveelheid geproduceerde melk ¹
	BEX-excretie per ton melk: fosfaat (kg P ₂ O ₅)	Excretieberekening fosfaat in paragraaf 2.1.2. Delen door hoeveelheid geproduceerde melk ¹
	Melk per kg BEX-excretie: fosfaat (kg melk)	De hoeveelheid geproduceerde melk ¹ gedeeld door de fosfaatexcretie [zie paragraaf 2.1.2]
Bedrijfsoverschot	Overschot per ha: stikstof (kg N)	paragraaf 2.3.2.1
	Overschot per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅)	paragraaf 2.4.1
Efficiëntie voeding	Benutting: stikstof (%)	paragraaf 1.4.3
	Benutting: fosfaat (%)	paragraaf 1.4.3
Opbrengst grasland	Opbrengst bruto per ha: DS (kg ds)	Zie voetnoot 3
	Opbrengst netto per ha: DS (kg ds)	DS-grasopname [paragraaf 2.1.2] + (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 2.4.1] – P-grasopname per ha [paragraaf 2.1.2]) / 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 2.1.2] + (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 2.4.1] – P-grasopname per ha [paragraaf 2.1.2]) / 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 2.1.2] + (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 2.4.1] – P-grasopname per ha [paragraaf 2.1.2]) / gemiddeld P-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ x gemiddeld N-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ / (1-(percentage voerverlies/100)) / (1-(percentage conserveringsverlies/100))
	Opbrengst netto per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅)	(P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 2.4.1] x (1-(percentage voerverlies/100))) x (1-(percentage conserveringsverlies/100))
	Opbrengst snijmaïs	
Opbrengst snijmaïs	Opbrengst bruto per ha: DS (kg ds)	Netto DS-opbrengst van snijmaïskuil [paragraaf 2.1.2] / (1-(percentage veldverlies [Tabel 1]/100))
	Opbrengst netto per ha: DS (kg ds)	(P-opbrengst snijmaïs per ha [paragraaf 2.4.1] / gemiddeld P-gehalte van aangelegde snijmaïskuilen ¹ van eigen land x (1-(percentage voerverlies) x (1-(percentage conserveringsverlies)

Onderdeel	Kengetal	Beschrijving in rekenregelrapport
	Opbrengst netto per ha: KVEM (kvem)	(P-opbrengst snijmaïs per ha [paragraaf 2.4.1] / 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 2.4.1] / 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 2.4.1] x (1-(percentage voerverlies/100)) x (1-(percentage conserveringsverlies/100))
Bodemoverschot	Overschot per ha: stikstof (kg N)	paragraaf 2.3.2.1
	Overschot per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅)	paragraaf 2.4.1
	Aanvoer effectieve org.stof per ha (kg EOS)	paragraaf 2.5.6.13
Efficientie bodem	Benutting: stikstof (%)	paragraaf 1.4.5
	Benutting: fosfaat (%)	paragraaf 1.4.5
Ammoniak	Emissie per bedrijf: totaal (kg NH ₃)	paragraaf 2.2.2.1
	Emissie per ton melk: totaal (kg NH ₃)	Totale emissie (2.2.2.1) delen door geleverde hoeveelheid melk ¹ x 1000
	Emissie per GVE: stal en mestopslag (kg NH ₃)	Totale emissie stal en mestopslag (paragraaf 2.2.2.3 t/m 2.2.2.5) delen aantal GVE op bedrijf ²
	Emissie per ha: bemesting en oogst (kg NH ₃)	Totale emissie bemesting en oogst (paragraaf 2.2.2.6 t/m 2.2.2.9) delen door aantal hectares ¹
Broeikasgassen bedrijf	Emissie per ton melk: on-farm methaan (kg CH ₄)	Methaanemissie (paragraaf 2.5.6.1, 2.5.6.2) delen door geleverde melk ¹ x 1000
	Emissie per ton melk: on-farm lachgas (kg N ₂ O)	Lachgasemissie (paragraaf 2.3.2.2, 2.3.2.3) delen door geleverde melk ¹ x 1000
	Emissie per ton melk: on-farm overig (kg CO ₂ -eq)	Overige CO ₂ -emissie paragraaf (2.5.6.3, 2.5.6.4, 2.5.6.7, 2.5.6.9 t/m 2.5.6.11) delen door geleverde melk ¹ x 1000
	Emissie per ton melk: totaal on-farm (kg CO ₂ -eq)	(Vermenigvuldiging van CH ₄ op bedrijfsniveau x 34 + vermenigvuldiging van N ₂ O * 298 + on farm emissie met CO ₂) / geleverde melk ¹ x 1000
	Emissie per ton melk: totaal off-farm (kg CO ₂ -eq)	Emissie of farm (paragraaf 2.5.6.5, 2.5.6.8, 2.5.6.12) delen door geleverde melk ¹ x 1000
	Emissie per ton melk: totaal bedrijf (kg CO ₂ -eq)	(Vermenigvuldiging van CH ₄ op bedrijfsniveau x 34 + vermenigvuldiging van N ₂ O x 298 + som van (on farm emissie met CO ₂ en off farm emissie met CO ₂)) / geleverde melk ¹ x 1000

¹ Invoer van de KringloopWijzer.

² Zie Bijlage 2 voor berekening van GVE.

³ Omrekening van netto grasopbrengst naar bruto grasopbrengst door:

- Berekende opname van vers gras (DS) delen door (1-(beweidingsverliezen [Tabel 1]/100)) +
- Netto opbrengst van graskuil (DS) delen door (1-(veldverliezen [Tabel 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 paragraaf 2.1.2

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/2019/01/Tabel-4-Diergebonden-forfaitaire-gehalten%202019-2021.pdf>

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/01/Tabel-6-Stikstof-en-fosfaatproductiegetallen-per-melkkoe.pdf>

BEP-voordeel ('P-evenwichtsbemesting')

In paragraaf 2.4.2 is berekend hoeveel fosfaat op het bedrijf geoogst wordt. Deze geoogste hoeveelheid mag in principe ook met fosfaatmeststoffen op het land toegediend worden om evenwichtsbemesting te realiseren. Maar, net als in het generieke mestbeleid, houdt de BEP ook rekening met de fosfaattoestand van de grond, zie hiervoor ook:

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/01/Tabel-2-Fosfaatgebruiksnormen-2019-2021.pdf>

Grasland

PAL-waarde	Categorie	2019-2021
<27	Laag	100
27-50	Neutraal	90
>50	Hoog	80

Bouwland

Pw-waarde	Categorie	2019-2021
<36	Laag	75
36-55	Neutraal	60
>55	Hoog	50

Als de PAL-waarde bij grasland van het betreffende perceel in de categorie hoog valt, dan wordt de bedrijfsspecifieke fosfaatsnorm (BEP-norm) ook met 10 kg per hectare verminderd. Bij de categorie laag, wordt de BEP-norm met 10 kg per hectare verhoogd. Bij de Pw voor bouwland en fosfaatfixerende gronden is de werkwijze vergelijkbaar. De BEP-norm wordt met 15 kg per hectare verhoogd als de Pw-waarde in de categorie laag valt en de BEP-norm wordt met 10 kg verlaagd als de Pw-waarde in de categorie hoog valt.

Door de oppervlakte grasland en bouwland vast te stellen die in de categorieën 'hoog', 'neutraal', 'laag' en 'fixerend' vallen, is per categorie een BEP-norm te bepalen voor een specifiek jaar. Per gewas

wordt dan de BEP-gewasopbrengst gecorrigeerd met het verschil van de fosfaattoestand bij categorie 'neutraal' en de betreffende categorie van het perceel. Vervolgens wordt, afhankelijk van het aandeel van de verschillende categorieën met een specifieke fosfaattoestand, per gewas een BEP-norm per ha voor een specifiek jaar bepaald. Middeling van zo'n specifieke BEP-norm over drie jaren, levert de BEP-norm die de KringloopWijzer hanteert als bemestingsnorm voor het komende jaar. (De oppervlakte met de verschillende categorieën fosfaattoestand zijn overigens invoer van de KringloopWijzer.)

Het BEP-voordeel is het verschil van de BEP-norm, als gemiddelde van de drie voorgaande jaren, met de generieke gebruiksnorm van fosfaat (over te nemen bij de invoer van de KringloopWijzer van het 'bemestingsplan') gedeeld door de generieke gebruiksnorm van fosfaat (generiek) * 100%.

$$\text{BEP-voordeel (\%)} = 100 * (\text{generiek} - \text{bep}) / \text{generiek}$$

Dus als de BEP-norm groter is dan de generieke gebruiksnorm, dan is er sprake van een BEP-voordeel.

Eiwit van eigen land

$$\text{Eiwit van eigen land} = 100 * (\text{teelt_g} + \text{teelt_m} + \text{teelt_o}) / \text{verbruik}$$

Hierbij is:

teelt_g = N-opbrengst van grasland (na conservering)

teelt_m = N-opbrengst van snijmaïs (na conservering)

teelt_o = N-opbrengst van overig veevoer (na conservering)

(Dit betekent dat alle voedergewassen die worden gebruikt op het bedrijf meetellen bij de berekening voor 'eiwit van eigen land'. De (akkerbouw)gewassen die voor de markt worden geteeld, tellen niet mee voor de berekening 'eiwit van eigen land'.)

verbruik = N-verbruik veestapel (=opname + voerverlies)

Voorbeeldberekening

Berekening teelt van eigen stikstof:

Ga bij de uitvoer van de KringloopWijzer naar het onderdeel 'bodem'. Ga naar het onderdeel 'gewasopbrengsten', naar de regel 'Stikstof, netto (kg/ha)'. Neem de waarden voor productiegrasland, snijmaïs en akkerbouw. Zie ook de omcirkelde waarden in onderstaand screenshot (242, 157 en 97), Afbeelding 1. Dit is de stikstofopbrengst van het gewas nadat er veldverliezen van af gegaan zijn.

Gewasopbrengsten *	Natuurgrasland		Productiegrasland		Snijmaïs		Akkerbouw
	Eigen bedrijf		Eigen bedrijf	BIN	Eigen bedrijf	BIN	Eigen bedrijf
Droge stof, bruto (kg ds/ha)			X 9020	11045		15820	17508
Droge stof, netto (kg ds/ha)			X 8310	10076		15504	17158
KVEM, netto (kvem/ha)			X 8182	9640		15544	16873
Stikstof, netto (kg/ha)			X 242	278	X 157	184	97
Fosfaat, netto (kg/ha)			X 68	82	X 49	67	40
Voederwaarde, netto: VEM (/kg ds)			985	957		1009	983
Voederwaarde, netto: RE (g/kg ds)			182	172		63	67
Voederwaarde, netto: P (g/kg ds)			3.55	3.54	X 1.39	1.69	

Afbeelding 1 Duiding van de Stikstofopbrengst van de gewassen in de uitvoer van de KringloopWijzer

De oppervlakte grasland, maïsland en overige voedergewassen zijn respectievelijk 36.56 ha, 9.94 ha en 6.04 ha. Dit is af te lezen bij het onderdeel 'grond en gewassen' van het bedrijfsportret. Zie ook onderstaand screenshot (Afbeelding 2).

Bedrijfsportret van uw bedrijf

Grond en gewassen

	2017
Areaal gewassen totaal (ha)	52.54
- natuurgas (ha)	0.00
- productiegras (ha)	36.56
- snijmais (ha)	9.94
- akkerbouw (ha)	6.04
Gemiddeld aandeel klaver in grasland (%)	7.1

Grondsoort aandelen (%):

- grasland: veen / klei / nat zand / ov zand / drg zand	0/0/3/27/70
- bouwland: veen / klei / nat zand / ov zand / drg zand	0/0/0/37/63

Toedieningsmethode drijfmest, verdeling (%):

- grasland: zodebemest / sleepvoet / sleufkouter / bovengr	100/0/0/0
- bouwland: onderwerk / sleepvoet / injecteren / bovengr	0/0/100/0

Afbeelding 2 Duiding van de oppervlakte van de verschillende gewassen in de uitvoer van de KringloopWijzer

Hieruit kan berekend worden dat er $36.56 \times 242 = 8848$ kg stikstof van grasland is geoogst (na veldverliezen). Maar een deel hiervan is vers gras. Deze is af te lezen van 'Bijlage 2a: vee – resultaat rantsoen' (uit het rapport). Zie ook Afbeelding 3, 113906 kg ds.

Voeding veestapel (melkkoeien, incl. jongvee)

	Opname veestapel (kg ds)	Aandeel (% in ds)	norm DS (g/kg)	VEM (vem/eenh*)	RE (g/eenh*)	P (g/eenh*)	RE/kVEM (g/kvem)	P/kVEM (g/kvem)
Vers gras	113906	16.2	160	960	203	3.76	212	3.9
Grasland oogstproducten	163513	23.3	472	901	170	3.77	189	4.2
Snijmais oogstproducten	146771	20.9	283	1039	63	1.76	60	1.7
Overig ruwvoer en bijproducten	93097	13.3	372	899	74	2.06	83	2.3
Krachtvoerders en mineralen	182598	26.0	896	939	230	4.01	245	4.3
Melkproducten	1599	0.2	963	1670	206	7.68	123	4.6
Rantsoen	701485	100.0	341	979	163	3.31	167	3.4

* Krachtvoer en melkproducten: opname staat in 'kg ds'; voorraden en analyse eenheid staat in 'kg product'.

Overige voeders en rantsoen: opname, voorraden en analyse eenheid staat in 'kg ds'.

Afbeelding 3 Duiding van de voeropname van de melkveestapel in ds en het Re-gehalte van de verschillende voedermiddelen.

Hiermee is te berekenen dat de opname van stikstof met vers gras als volgt is: $113906 \text{ kg ds} \times 203 \text{ (g Re/kg ds)} / 6.25/1000 = 3700$ kg stikstof opname uit vers gras, zie ook Tabel 1. Dit betekent dat de hoeveelheid geoogste stikstof met graskuil als volgt bepaald wordt. De totale stikstofopname van grasland – de opname van stikstof met vers gras = $8848 - 3700 = 5148$ kg stikstofopname voor conservering. Hier moeten nog de conserveringsverliezen van af. Voor graskuil betreft dit 3% van de stikstof (Schröder *et al.*, 2019; Tabel 1.1). Dit betekent dat de grasopname na conservering 4993 kg stikstof is.

Tabel 1 Berekening van de opgenomen hoeveelheid stikstof met vers gras

	kg ds	gehalte Re (g/kg ds)	opgenomen N
opname vers gras	113906	203	3700

Voor maïskuil en overige voedergewassen is de opname, na conservering, eenvoudiger uit te rekenen. De geoogste hoeveelheid stikstof (voor conserveringsverliezen) is een vermenigvuldiging van de oppervlakte met de hoeveelheid geoogste stikstof per ha, zie de waarden van snijmais en akkerbouwgewassen uit Afbeelding 1 en Afbeelding 2. De conserveringsverliezen van stikstof voor maïskuil en overige voedergewassen zijn respectievelijk 1% en 1.5% van de geoogste stikstof (Schröder *et al.*, 2019; Tabel 1.1). Dit leidt tot de geconserveerde stikstofopbrengsten per ha voor maïskland van 1545 kg N/ha en 577 kg N voor overige voedergewassen, zie ook Tabel 2 van deze notitie.

Tabel 2 Berekening van de hoeveelheid geoogste stikstof (kg N, na conservering) van voedergewassen voor het voorbeeldbedrijf.

	oppervlakte, ha	netto, voor conservering, kg N/ha	totaal voor conservering, kg	conserveringsverliezen N (%)	totaal N, na conservering, kg
grasland totaal	36.56	242	8848		
opname vers gras			3700	0	3700
graskuil (= totaal - opname vers gras)			5148	3	4993
maïsland	9.94	157	1561	1	1545
overige gewassen*	6.04	97	586	1.5	577
TOTAAL					10815

*voedergewassen anders dan snijmaïs en gras alsmede vermarktte gewassen

Correctie voor afvoer van akkerbouwgewassen

Soms telen melkveehouders ook akkerbouwgewassen. Deze worden vermarkt en afgevoerd van het bedrijf. Dit zijn geen voedergewassen en moeten dus niet meegenomen worden bij de zelfvoorzieningsgraad van eiwit van het eigen bedrijf, dus niet bij de teelt van eiwit van het eigen bedrijf. Maar bij het onderdeel bodem, zie Afbeelding 1, is wel de hoeveelheid stikstof getoond die met akkerbouwgewassen geteeld wordt.

De hoeveelheid die wordt afgevoerd als marktbaar en niet als voedergewas, staat vermeld in Bijlage 3e van het Uitvoerrapport: bodem – invoer, afvoer voer en gewas. Zie ook Afbeelding 4.

Overig veevoer	(kg ds)	(g N/kg ds)	(g P/kg ds)
Afvoer uit aangelegde voorraad	0		
Overige producten	(kg)	(g N/kg)	(g P/kg)
Afvoer akkerbouw hoofdproducten	10000	8.90	1.66
Afvoer akkerbouw bijproducten	0		

Afbeelding 4 Duiding van de afvoer van akkerbouwproducten in het uitvoerrapport

Stel dat in dit voorbeeld ook een deel van het akkerbouwgewas wordt vermarkt, dan is belangrijk om de stikstofproductie voor verkoop van het akkerbouwgewas te elimineren. Dit is $10000 \times 8.9 / 1000 = 89$ kg stikstof. Dit betekent dat er geen 586 kg N van overige voedergewassen geteeld wordt voor de eigen eiwitvoorziening (zie Tabel 2), maar $586 - 89 = 497$ kg N van de overige voedergewassen voor de eigen eiwitvoorziening. De conserveringsverliezen van de overige voedergewassen bedragen 1.5% (Schröder *et al.*, 2019; Tabel 1.1). Dit betekent dat na conservering nog $497 \times 0.985 = 490$ kg stikstof van eigen teelt akkerbouwgewas overblijft.

Dit is dan de hoeveelheid stikstof die bij de eigen teelt betrokken moet worden en niet de volle 577 kg stikstof uit Tabel 2.

Berekening totale voeding van stikstof

Ga bij de uitvoer van de KringloopWijzer naar het onderdeel rantsoen. Vind de droge stofopname per voedermiddel en de bijbehorende Re-gehaltes van de verschillende voedermiddelen (zie ook de rode cirkels van Afbeelding 3). Vermenigvuldiging van de opnames met de Re-gehaltes levert de netto opname van ruw eiwit van de verschillende voedermiddelen. Maar let op, bij 'krachtvoerders en mineralen' en 'melkproducten' staat de hoeveelheid in kg ds, terwijl het gehalte in g / kg product is weergegeven. Daarom moet de hoeveelheid krachtvoerders en mineralen nog gedeeld worden door het ds-gehalte. In Afbeelding 3 is het droge stofgehalte van krachtvoer en melkpoeder weergegeven. Respectievelijk 89.6 % en 96.3%. Dit betekent dat de hoeveelheden ds krachtvoer en melkproducten 203792 kg en 1660 kg product zijn.

Verder moet het gehalte aan ruw eiwit omgerekend worden naar stikstof. Dit betekent dat de hoeveelheid ruw eiwit gedeeld moet worden door 6.25, behalve bij melkpoeder. Dat moet gedeeld worden door 6.38. Via het gehalte van g/kg zijn nu grammen uitgerekend. Delen door 1000 levert kilogrammen stikstof op die netto opgenomen zijn door de veestapel. Om een goede vergelijking te maken met de geoogste hoeveelheid na conservering, moeten de vervoederingsverliezen nog opgeteld worden bij de netto opgenomen hoeveelheden. Voor graskuil en maïskuil zijn de vervoederingsverliezen 5% van de stikstof. Bij bijproducten zijn de vervoederingsverliezen 3% en van krachtvoer en mineralen 2% (Schröder *et al.*, 2019; Tabel 1.1). Dat de gevoerde hoeveelheid grasland-oogstproducten (Tabel 3: 4682 oplossen voor vervoederingsverliezen) niet hetzelfde is als de hoeveelheid geoogste grasland-producten (Tabel 2: 4993) wordt veroorzaakt door het feit dat binnen een jaar niet alles wat gevoerd is ook in dat jaar geoogst is en vice versa.

In Tabel 3 is de totaal gevoerde stikstof van het voorbeeldbedrijf berekend vóór vervoederingsverliezen en na conservering.

Tabel 3 Berekening van de totaal gevoerde stikstof van het voorbeeldbedrijf (kg).

rantsoen:	kg ds	Re (g/kg)	N (g/kg)	opgenomen N per product (kg)	Vervoederings- verlies (%)	gevoerd N per product (kg)
vers gras	113906	203	32.48	3700	0	3700
grasland oogstproducten	163513	170	27.2	4448	5	4682
snijmaïs oogstproducten	146771	63	10.08	1479	5	1557
overig ruwvoer en bijproducten	93097	74	11.84	1102	3	1136
krachtvoerders en mineralen	203792	230	36.8	7500	2	7653
melkproducten	1660	206	32.96	55	2	56
TOTAAL						18784

De totaal gevoerde stikstof is 18784 kg, de geteelde hoeveelheid stikstof is 10815 kg². Het percentage eigen geteeld stikstof tov gevoerd stikstof is hiermee 100 % * 10815 / 18784 = 58%. Dit kengetal wordt in het onderdeel 'milieu & klimaat' eiwit van eigen land genoemd.

Stikstof bodemoverschot 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 onderstaande Afbeelding met de omcirkelde waarden. Totaal is dat 674 kg per ha in dit voorbeeld. De afvoer per ha van stikstof met gewassen is 354 kg, zie de pijl. Het stikstofbodemoverschot is dan 320 kg per ha.

² Er van uitgaande dat er geen akkerbouwgewas verkocht wordt, maar dat al het geteelde gewas gevoerd wordt

Milieu & Klimaat

Stikstofbodemoverschot	2018	2017	2016	Gem	BIN
Overschot bodem totaal (kg N per ha)	320			320	311
Aanvoer kunstmest (kg N per ha)	132			132	132
Aanvoer organische mest, weidemest (kg N per ha)	280			280	275
Aanvoer mineralisatie, depositie, vl.bloemigen (kg N per ha)	262			262	227
Afvoer van geoogste producten (kg N per ha)	354			354	323

Afbeelding 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.

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 weide- en oogstverliezen / ha)

Zie ook 'Bijlage 1b: Bedrijf – resultaat Ammoniak' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer voor de verschillende onderdelen van de ammoniakemissie per ha en per GVE.

BIJLAGE 1B: BEDRIJF - RESULTAAT Ammoniak

Bedrijf

Bedrijfsintensiteit bedrijf (ton melk/ha)	19.7
TAN-productie, excl. staldieren totaal (kg)	9614
TAN-productie, excl. staldieren per hectare (kg/ha)	193.8
TAN-productie, excl. staldieren per ton melk (kg/ton)	9.9
TAN-productie, excl. staldieren per GVE (kg/GVE)	76.5

Emissie ammoniak	NH3 (kg/bedrijf)	NH3 (kg/ha)	NH3 (kg/ton melk)	NH3 (kg/GVE)
Totaal	4219	85.1	4.32	33.6
- stal+mestopslag, graasdieren	1586	32.0	1.63	12.6
- stal+mestopslag, staldieren	0	0.0	0.00	0.0
- org. mest op grasland	2274	45.8	2.33	18.1
- org. mest op bouwland	0	0.0	0.00	0.0
- kunstmest op grasland	246	5.0	0.25	2.0
- kunstmest op bouwland	0	0.0	0.00	0.0
- mest tijdens beweiding	58	1.2	0.06	0.5
- gewasrest: weideverliezen	31	0.6	0.03	0.2
- gewasrest: oogstverliezen	23	0.5	0.02	0.2

Afbeelding 5 Duiding van de ammoniakemissie bij verschillende onderdelen van het melkveebedrijf, 'Bijlage 1b: Bedrijf – resultaat Ammoniak' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer.

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 weide- en oogstverliezen / gve)

Zie ook 'Bijlage 1b: Bedrijf – resultaat Ammoniak' en Afbeelding 5 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/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/mest/fosfaatreductiemaatregelen-2017/fosfaatreductieplan-2017/melkproducerend-bedrijf>):

- 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. Areaal dat overwegend voor landbouwactiviteiten-GLB wordt gebruikt: code 336
- 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, 336, 331, 333, 334).

Om het aandeel blijvend grasland te bepalen moet de berekende oppervlakte blijvend grasland gedeeld worden door de totale oppervlakte die de veehouder in gebruik heeft. Maar een veehouder kan ook (blijvend) natuurgrasland hebben met de hoofdfunctie natuur, die niet de RVO-definitie van blijvend grasland meekrijgen. Dit betreft de definities 'grasland natuurlijk, hoofdfunctie natuur (code 332)' en 'natuurterreinen, incl heide (code 335)'. In de praktijk zal dit wel blijvend grasland zijn, maar omdat dit de hoofdfunctie natuur heeft krijgt deze niet de definitie blijvend grasland mee. Daarom wordt voor de berekening van het aandeel blijvend grasland de totale oppervlakte met deze graslanden verminderd.

De berekeningswijze voor *aandeel blijvend grasland* wordt dan:

$100 \% * \text{Som oppervlakte met code (265, 336, 331, 333, 334)} : (\text{totale bedrijfsoppervlakte} - \text{som van oppervlakte met code (332, 335)})$

Bijlage 3 Acronymenlijst

Indeling naar thema

Algemene bedrijfsaspecten

N:	Stikstof
P:	Fosfor
NO ₃ :	Nitraat
N ₂ O	Lachgas
PO ₄ :	Fosfaat
NO _x :	Stikstofoxide
CO ₂ :	Kooldioxyde
CH ₄ :	Methaan
NH ₃ :	Ammoniak
NH ₄ :	Ammonium
EF:	Emissiefactor, %
TO:	Totale bedrijfsoppervlakte, ha
GO:	Totale oppervlakte grasland, ha
BO:	Totale oppervlakte bouwland inclusief snijmaïs, ha
SO	oppervlakte snijmaïs, ha
ORO	oppervlakte overige akkerbouwmatige ruwvoerders
AMO	oppervlakte akkerbouwgewassen voor de markt, niet ruwvoer, ha
WGO:	oppervlakte grasland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha
WBO:	oppervlakte bouwland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha
ESG	verschil in stalmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continue teelt en grasland in wisselbouw
ESB	verschil in stalmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continue teelt en bouwland in wisselbouw
EKG	verschil in kunstmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continue teelt en grasland in wisselbouw
EKB	verschil in kunstmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continue teelt 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 _{maigras} :	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 _{maigras} :	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
Nipn(cr):	Gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg
Ninp(pt):	Product van de hectares veengrond op het bedrijf en een standaardveenmineralisatie, kg

Ammoniak

NH ₃ :	Ammoniak
NH ₄ :	Ammonium
NEMA:	Nationaal Emissie Model voor Ammoniak
TAN:	Totaal Ammoniakale Stikstof
RAV:	Regeling Ammoniak en Veehouderij

Methaan

CH ₄ :	Methaan
CH ₄ _voer	kg methaan emissie gesommeerd voor de diverse rantsoencomponenten
CH ₄ _EFcorOpname	kg methaan emissie waarmee de emissie t.g.v. de emissie van de diverse rantsoencomponenten vermeerderd of verminderd moet worden op basis van een van een normniveau afwijkende DS opname
CH ₄ _EFbasis	kg methaan emissie als som van de gesommeerd methaan emissie voor de diverse rantsoencomponenten (CH ₄ _voer) en een correctie voor de dagelijkse drogestofopname (CH ₄ _EFcorOpname)
CH ₄ _EFrantsoen	basale methaanemissie (CH ₄ _EFbasis) gecorrigeerd voor kalveraandeel in totale melkvee-GVE som
FJK	GVE-aandeel van kalveren (0-3 mnd) in totale melkvee-GVE som
EF _(T) :	Emissiefactor voor methaan uit mestopslag voor diercategorie T, kg CH ₄ per dier
VS _(T) :	Fecesproductie van diercategorie T, kg DS per dier per dag
B0 _(T) :	Potentiele methaanproductie van diercategorie T, m ³ CH ₄ per kg uitgescheiden VS
MCF _S :	Methaanconversiefactor voor mestmanagementsysteem S, kg per 100 kg
N _(T) :	Aantal dieren van categorie T
CH ₄ Mest:	Gesommeerde emissie van methaan uit mestopslagen volgens systeem S voor diercategorie T, kg CH ₄
NexcretieT:	N-excretie voor aftrek van gasvormige verliezen uit stal en opslag bij diercategorie T, kg
MS _(T,S) :	Fractie van NexcretieT volgens mestmanagementsysteem S, -
BE:	Bruto energie, MJ
Y _m :	Methaanconversiefactor, MJ / 100 MJ

Indeling volgens alfabet

Aann _{grasland} :	Aanvoerterm n op de N-balans van grasland, kg N per ha
Aann _{maïs} :	Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met maïsland, kg N per ha
Aann _{marktakkerbouw} :	Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha
Aann _{overigruwvoer} :	Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met overige ruwvoergewassen, kg N per ha
Af1 _{maaisgras} :	Netto afgevoerde N in de vorm van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland
Af1 _{maïs} :	Netto afgevoerde N in de vorm van maïs, kg N per ha maïsland
Af1 _{marktakkerbouw} :	Netto afgevoerde N in de vorm van marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha marktbaar akkerbouwgewassen
Af1 _{overigruwvoer} :	Netto afgevoerde N in de vorm van overig ruwvoer, kg N per ha overig ruwvoer
Af1 _{weide} :	Netto opgenomen N in de vorm van door dier opgenomen weidegras, kg N per ha grasland
Af3 _{maaisgras} :	Maaiverliezen bij winning van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland
Af3 _{maïs} :	Oogstverliezen bij maïs, kg N per ha maïsland
Af3 _{marktakkerbouw} :	Oogstverliezen bij marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha marktbaar akkerbouwgewassen
Af3 _{overigruwvoer} :	Oogstverliezen bij overig ruwvoer (luzerne), kg N per ha overig ruwvoer
Af3 _{weide} :	Beweidingsverliezen in 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
<i>Ammoniak</i>	
AMO	oppervlakte akkerbouwgewassen voor de markt, niet ruwvoer, ha
B0 _(T) :	Potentiele methaanproductie van diercategorie T, m ³ CH ₄ per kg uitgescheiden VS
BE:	Bruto energie, MJ
BEX_Popn_gksm_mlk	P opname melkvee uit graskuil en snijmaïs
BEX_Popn_gksm_ovg	P opname overige graasdieren uit graskuil en snijmaïs
BO:	Totale oppervlakte bouwland inclusief snijmaïs, ha
<i>Bodemstikstof</i>	
CH ₄ :	Methaan
CH ₄ :	Methaan
CH ₄ _EFbasis	kg methaan emissie als som van de gesommeerde methaan emissie voor de diverse rantsoencomponenten (CH ₄ _voer) en een correctie voor de dagelijkse drogestofopname (CH ₄ _EFcorOpname)
CH ₄ _EFcorOpname	kg methaan emissie waarmee de emissie t.g.v. de emissie van de diverse rantsoencomponenten vermeerderd of verminderd moet worden op basis van een van een normniveau afwijkende DS opname
CH ₄ _EFrantsoen	basale methaanemissie (CH ₄ _EFbasis) gecorrigeerd voor kalveraandeel in totale melkvee-GVE som
CH ₄ _voer	kg methaan emissie gesommeerd voor de diverse rantsoencomponenten
CH ₄ Mest:	Gesommeerde emissie van methaan uit mestopslagen volgens systeem S voor diercategorie T, kg CH ₄
CNBn:	N gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers

CNHn:	N gehalte van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers
CO ₂ :	Kooldioxyde
CPBn:	P gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers
CPHn:	P gehalte van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers
<i>Dier</i>	
DS:	Droge Stof
EF(an):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik van weidemest, kg/kg
EF(cf):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik kunstmest-N, kg/kg
EF(cl):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. de aanwezigheid van gras-klavers, kg/kg
EF(cr):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg/kg
EF(lea):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. uitgespoelde N, kg/kg
EF(of):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik van 'stal'mest, kg/kg
EF(pt):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. de aanwezigheid van veengrond, kg/kg
EF _(S) :	Emissiefactor voor lachgas uit mestopslag volgens opslagsysteem S, kg/kg
EF _(T) :	Emissiefactor voor methaan uit mestopslag voor diercategorie T, kg CH ₄ per dier
EF(vol):	Emissiefactor voor lachgas a.g.v. vervluchtigde en elders gedeponeerde N, kg/kg
EF:	Emissiefactor, %
EKB	verschil in kunstmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw
EKG	verschil in kunstmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw
EOS	kg effectieve organische stof (OS), de organische stof die 12 maanden na toediening resteert inde 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-maïsland (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 maïsland (SO) waarop vanggewas is ingezaaid (ha)
GEW:	Levend Gewicht
GO:	Totale oppervlakte grasland, ha
Gt:	Grondwatertrap, -
HC	humificatiecoëfficiënt, fractie van organische stof (OS) die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg OS per kg OS

HC _{gewasresten}	HC van gewasresten
HC _{mest}	HC van mest
HC _{versgewas}	HC van vers gewas w.o. ook de voerresten
<i>Lachgas</i>	
MCF _S :	Methaanconversiefactor voor mestmanagementsysteem S, kg per 100 kg
<i>Methaan</i>	
MS _(T,S) :	Fractie van NexcretieT volgens mestmanagementsysteem S, -
N _(T) :	Aantal dieren van categorie T
N:	Stikstof
N:	Stikstof
N ₂ O	Lachgas
N ₂ O	Lachgas
N ₂ O _(D,mm) :	Emissie van lachgas uit opslagen van dierlijke mest, kg N ₂ O (!)
N ₂ Oem(an):	Emissie van lachgas a.g.v. organische mest-N in de vorm van weidemest, kg N
N ₂ Oem(backgr_grassl_m):	Emissie van lachgas t.g.v. achtergrondsemissie op minerale gronden, kg N
N ₂ Oem(backgr_grassl_p):	Emissie van lachgas t.g.v. achtergrondsemissie 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 ₃ :	Ammoniak
NH ₄ :	Ammonium
NH ₄ :	Ammonium
Ninp(an):	Totale organische mestgebruik in de vorm van weidemest, kg
Ninp(cl):	Dat deel van de klaverbinding dat geacht wordt bij te dragen aan lachgasvorming, kg
Ninp(of):	Totale organische mestgebruik in de vorm van 'stal'mest, kg
Ninp(pt):	Product van de hectares veengrond op het bedrijf en een standaardveenmineralisatie, kg
Nipf(cf):	Totale kunstmest-N gebruik, kg

Nipn(cr):	Gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg
Nloss(lea):	Nitraat-N die het bedrijf als nitraat verlaat volgens BEN, kg
Nloss(vol):	Ammoniak-N die het bedrijf verlaat volgens BEA incl. N uit zwaden, kg
NO:	Neerslagoverschot, mm
NO ₃ :	Nitraat
NO ₃ :	Nitraat
NOP _{maigras} :	N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras, kg N
NOP _{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 _{maïs_aangekocht} :	N door dier opgenomen in de vorm van aangekochte maïskuil, kg N
NOP _{maïs_eigenland} :	N door dier opgenomen in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N
NOP _{maïskuil} :	N door dier opgenomen in de vorm van snijmaïs, kg N
NOP _{overigruwvoer_aangekocht} :	N door dier opgenomen in de vorm van aangekocht overig ruwvoer, kg N
NOP _{overigruwvoer_eigenland} :	N door dier opgenomen in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N
NOP _{weide} :	N door dier opgenomen via beweiding, kg N
NOx:	Stikstofoxide
<i>Organische stof</i>	
ORO	oppervlakte overige akkerbouwmatige ruwvoerders
OS/N	kg N per kg OS
OS/N _{mest}	OS/N van mest
OS/N _{teeltgras}	OS/N in beweidings- en maaiverliezen
OS/N _{teeltmaïs}	OS/N in oogstverliezen bij maïs
OS/N _{voerrest}	OS/N van voerresten (w.o. ruwvoer, bijproducten en krachtvoer)
P:	Fosfor
P:	Fosfor
PcVoerververliesRuwvoer	percentage vervoederingsverlies van ruwvoer
PO ₄ :	Fosfaat
RAS:	Ruw As
RAV:	Regeling Ammoniak en Veehouderij
RE:	Ruw Eiwit
SO	oppervlakte snijmaïs, ha
TAN:	Totaal Ammoniakale Stikstof
TKT:	Tussen Kalf Tijd
TO:	Totale bedrijfsoppervlakte, ha
UF:	Uitspoelingsfractie, kg N/kg N
VC:	Verteringscoëfficiënt, g/g
VEM:	Voedereenheden Melk
Voorraad_Pverbr_gksm	P-verbruik berekend uit opgegeven voorraden (begin + aanleg – eind)
VRE:	Verteerbaar Ruw Eiwit
VS _(T) :	Fecesproductie van diercategorie T, kg DS per dier per dag
WBO:	oppervlakte bouwland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha
WGO:	oppervlakte grasland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha
YBn:	Opbrengst van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, ton vers per ha
YHn:	Opbrengst van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, ton vers per ha
Y _m :	Methaanconversiefactor, MJ / 100 MJ

Bijlage 4 Tabellen

Vaststelling van het gehalte droge stof per voedermiddel, de verteerbaarheid van ruw eiwit (VC_re) (zie paragraaf 2.2.2.2), de methaan-emissies uit voercomponenten van melkveestapel inclusief jongvee (g CH₄ per kg DS) in afhankelijkheid van het aandeel snijmaïs in rantsoen (%) (zie paragraaf 2.5.6.1) en de emissie (CO₂-equivalenten per kg product) van aangevoerde voedermiddelen (inclusief transport) (zie paragraaf 2.5.6.8) voor de verschillende voedermiddelen, onderverdeeld in voersoorten en subgroepen.

Naam	Voersoort ¹	Subgroep in voersoort ²	DS (g/kg)	VCRE ³	g CO ₂ -eq/kg ⁴	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						g/kg ds	g/kg ds	g/kg ds
Graskuil	GK	KU	472	-.5	247	-.5	-.5	-.5
Grashooi	GK	HO	845	-.5	415	-.5	-.5	-.5
Gras kunstmatig gedroogd (balen)	GK	AD	918	-.5	2288	-.5	-.5	-.5
Gras kunstmatig gedroogd (brok)	GK	AD	920	-.5	2355	-.5	-.5	-.5
Overig grasproduct	GK	KU	789	-.5	1326	-.5	-.5	-.5
Weiden	VG	OB	160	-.5	82	19.2	19.2	19.2
Zomerstalvoeren	VG	ZV	160	-.5	78	23.3	23.3	23.3
Snijmaïs kuil	SM	KU	283	-.5	59	-.5	-.5	-.5
Snijmaïs kunstmatig gedroogd	SM	AD	909	-.5	1481	-.5	-.5	-.5
Overig snijmaïs	SM	KU	596	-.5	770	-.5	-.5	-.5
Mengvoer (140 g Re / kg)	KV	MV	894	-.5	809	-.5	-.5	-.5
Mengvoer (200 g Re / kg)	KV	MV	894	-.5	1378	-.5	-.5	-.5
Mengvoer (300 g Re / kg)	KV	MV	894	-.5	2182	-.5	-.5	-.5
Aardappelchips	KV	EV	969	0.24	467	12.07	12.26	11.38
Aardappeleiwit	KV	EV	906	0.89	1310	16.43	14.76	14.04
Aardappelen gedroogd	KV	EV	897	0.39	467	22.74	21.51	20.49
Aardappelvezel	KV	EV	877	0.32	528	21.65	21.22	20.45
Aardappelzetmeel gedroogd	KV	EV	855	0.94	659	23.98	22.33	20.16
Bataten gedroogd	KV	EV	878	0.85	1513	24.55	23.57	22.13
Beendermeel	KV	EV	954	0	310	20.96	20.96	20.96
Bierbostel gedroogd	KV	EV	903	0.75	434	16.74	16.43	16.27
Biergist gedroogd	KV	EV	936	0.82	450	19.75	18.63	18.6
Bietenpulp	KV	EV	907	0.64	356	25.76	25.8	28.31
Bloedmeel	KV	EV	937	0	1118	21.34	21.34	21.34
Boekweit	KV	EV	865	0.74	1316	23.12	23.12	23.12
Bonen (Phas) verhit	KV	EV	862	0.78	1631	21.29	20.87	21.38
Broodmeel	KV	EV	900	0.77	118	22.97	23.54	23.2
Caseïne	KV	EX	912	0.95	6403	18.26616	16.67325	16.77472
Citruspulp	KV	EV	908	0.49	701	26.98	26.43	28
Erwtten droog	KV	EV	867	0.83	421	22.84	21.99	22.13
Fytase	KV	EX	1000	0.75	12977	0	0	0
Gerst	KV	EV	869	0.75	435	22.8	22.07	20.74
Gersteslijpmeel	KV	EV	875	0.79	324	19.66	19.19	18.72
Gerstevoermeel	KV	EV	887	0.73	324	19.11	18.64	18.08
Gierst/Millet	KV	EV	897	0.71	1187	20.89	18.74	17.26
Grasmeel	KV	EV	920	0.64	2345	20.12	19.94	20.66
Graszaad	KV	EV	863	0.63	1404	22.29	21.5	19.92
Grondnoot niet ontdekt	KV	EV	942	0.86	2149	8.42	9.13	11.51
Grondnoot ontdekt	KV	EV	932	0.87	4559	3.59	4.02	5.6
Grondnootschilfers ged ontdekt	KV	EV	915	0.9	1435	17.63	17.72	20.03
Grondnootschilfers niet ontdekt	KV	EV	933	0.88	1300	14.06	14.7	17.2
Grondnootschilfers ontdekt	KV	EV	914	0.91	1435	18.05	17.96	20.11

Naam	Voersoort ¹	Subgroep in voersoort ²	DS (g/kg)	VCRE ³	g CO ₂ -eq/kg ⁴	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						g/kg ds	g/kg ds	g/kg ds
Grondnootschroot ged ontdopt	KV	EV	893	0.92	1181	17.8	17.96	20.33
Grondnootschroot ontdopt	KV	EV	913	0.91	1181	21	20.85	23.26
Haver	KV	EV	889	0.74	493	19.66	19.78	19.76
Haver gepeld	KV	EV	884	0.8	671	21.08	20.8	20.42
Havermoutafvalmeel	KV	EV	907	0.47	230	17.26	17.81	18.05
Havervoermeel	KV	EV	886	0.71	450	18.92	19.22	19.35
Hennepzaad	KV	EV	913	0.75	6713	9.88	9.96	11.33
Johannesbrood	KV	EV	891	0.02	463	27.2	26.05	26.35
Kalksteentjes	KV	EX	990	0.75	519	0	0	0
Katoenzaad niet ontdopt	KV	EV	911	0.73	989	17.78	16.84	16.91
Katoenzaad ontdopt	KV	EV	935	0.8	1404	10.38	10.09	11.31
Katoenzaadschilfers ged ontdopt	KV	EV	941	0.78	806	15.89	15.94	17.4
Katoenzaadschilfers niet ontdopt	KV	EV	921	0.77	663	15.81	16.03	17.58
Katoenzaadschilfers ontdopt	KV	EV	928	0.8	1014	13.94	13.96	15.36
Katoenzaadschroot ged ontdopt	KV	EV	892	0.79	726	17.51	17.69	19.87
Katoenzaadschroot niet ontdopt	KV	EV	945	0.77	593	17.95	18.18	20.35
Katoenzaadschroot ontdopt	KV	EV	897	0.8	920	17.36	17.4	19.51
Kokosschilfers	KV	EV	909	0.72	952	18.71	19.08	20.92
Kokosschroot	KV	EV	898	0.73	952	20.8	21.18	23.22
Krijt	KV	EX	990	0.75	1225	0	0	0
Lijnzaad (vlas)	KV	EV	913	0.8	1408	8.56	9	10.72
Lijnzaadschilfers	KV	EV	901	0.85	836	18.44	18.58	21.03
Lijnzaadschroot	KV	EV	870	0.85	760	20.63	20.65	23.16
Linzen	KV	EV	874	0.84	1418	22.26	20.9	19.81
Lupinen	KV	EV	901	0.9	1165	21.36	20.98	22.7
Luzerne meel	KV	EV	911	0.67	1591	20.04	20.23	21.65
Magnesiumoxide	KV	EX	1000	0.75	1064	0	0	0
Mais korrel droog	KV	EV	872	0.62	595	21.16	19.69	17.83
Mais ontsloten	KV	EV	879	0.63	600	22.65	22.91	21.17
Maisglutenmeel	KV	EV	901	0.95	991	16.64	15.22	13.34
Maisglutenvoer	KV	EV	892	0.77	1783	20.34	19.76	19.37
Maïskiemschroot	KV	EV	887	0.75	265	21.07	21.53	23.7
Maïskiemzemelschilfers	KV	EV	897	0.69	305	20.17	19.83	20.06
Maïskiemzemelschroot	KV	EV	875	0.7	265	21.2	21.54	23.47
Maïsspoeling gedroogd	KV	EV	901	0.76	285	19.43	20.05	22.87
Maisvoermeel	KV	EV	877	0.62	560	21.91	20.56	18.7
Maisvoerschroot	KV	EV	868	0.64	560	22.39	21.43	20.54
Maiszemelgrint	KV	EV	873	0.66	1043	22.14	21.43	20.54
Maiszetmeel	KV	EV	876	0.96	866	23.92	21.99	22.72
Monocalciumfosfaat	KV	EX	980	0.75	575	0	0	0
Moutkiemen	KV	EV	917	0.76	6	21.58	20.74	21.47
Natrium-bicarbonaat	KV	EX	1000	0.75	491	0	0	0
Nigerzaad	KV	EV	916	0.8	3051	7.59	7.26	7.65
Paardebonen bontbl	KV	EV	863	0.84	542	21.99	21.6	22.89
Paardebonen witbl	KV	EV	872	0.85	397	21.92	21.44	22.58
Palmpitschilfers	KV	EV	937	0.74	647	16.87	17.38	18.58
Palmpitschroot	KV	EV	880	0.75	647	19.72	20.85	23.51
Palmpitten	KV	EV	938	0.62	2806	2.67	3.57	4.4
Premix	KV	EX	1000	0.75	1101	0	0	0
Raapschroot	KV	EV	890	0.85	803	18.88	19.36	22.7
Raapzaad onbehandeld	KV	EV	923	0.78	2403	4.88	5.68	7.91
Raapzaadschilfers	KV	EV	894	0.84	900	17.48	17.9	20.94
Raapzaadschroot	KV	EV	872	0.84	1055	20.59	20.49	21.35
Rijst met dop	KV	EV	886	0.47	2127	18.77	18.1	16.97
Rijst ontdopt	KV	EV	872	0.49	2717	22.73	21.29	19.68
Rijstafvallen	KV	EV	911	0.43	281	11.99	12.41	12.18

Naam	Voersoort ¹	Subgroep in voersoort ²	DS (g/kg)	VCRE ³	g CO ₂ -eq/kg ⁴	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						g/kg ds	g/kg ds	g/kg ds
Rijstevoerschroot	KV	EV	899	0.65	472	15.95	15.64	15.05
Rijstvoermeel	KV	EV	903	0.63	466	13.32	12.95	12.25
Rogge	KV	EV	872	0.74	451	23.72	23.32	22.9
Roggegries	KV	EV	872	0.77	407	20.05	20.44	22.07
Saffloerzaad	KV	EV	907	0.68	1627	7.71	8.91	11.64
Sesamzaad	KV	EV	942	0.83	1914	6.61	6.68	7.85
Sesamzaadschilfers	KV	EV	946	0.9	716	15.43	14.99	16.2
Sesamzaadschroot	KV	EV	929	0.89	599	21.54	20.67	21.88
Soja eiwit concentraat	KV	EV	920	0.9	7024	0	0	0
Sojabonen niet verhit	KV	EV	885	0.89	3611	15.31	15.26	17.5
Sojabonen schillen	KV	EV	885	0.6	2206	23.34	22.95	23.56
Sojabonen verhit	KV	EV	885	0.89	3615	15.07	15.03	17.33
Sojaschilfers	KV	EV	888	0.91	4588	18.43	18.15	20.32
Sojaschroot Mervobest	KV	EV	872	0.89	4660	21.91	20.67	20.25
Sojaschroot ontdopt	KV	EV	874	0.91	4152	21.11	20.5	22.36
Sorghum milocom	KV	EV	882	0.51	1020	21.24	19.76	17.86
Sorghumglutenmeel	KV	EV	900	0.89	818	18.3	17.29	16.17
Suiker	KV	EX	1000	1	582	34.09	31.06	28.52
Tapioca	KV	EV	880	1	840	23.9	23.14	21.96
Tapiocazetmeel	KV	EV	880	1	1032	24.92	23.43	20.86
Tarwe	KV	EV	868	0.75	455	23.35	22.97	22.52
Tarweglutenmeel	KV	EV	930	0.96	2955	17	15.74	16.21
Tarweglutenvoer gedroogd	KV	EV	906	0.69	616	20.76	20.35	19.75
Tarwegries	KV	EV	865	0.78	277	20.41	20.58	22.01
Tarwekiemen	KV	EV	873	0.86	824	19.93	19.91	21.1
Tarwevoerbloem	KV	EV	867	0.81	277	21.93	21.79	22.1
Tarwevoermeel	KV	EV	868	0.79	277	20.86	20.92	22.08
Tarwezemelgrint	KV	EV	883	0.76	449	20.23	20.3	21.74
Triticale	KV	EV	877	0.74	501	23.65	23.29	23.09
Ureum	KV	EX	1000	0.75	1342	0	0	0
Vet dierlijk	KV	EX	994	0.9	793	-11.73	-10.94	-11.19
Vet/olie plantaardig	KV	EX	995	0.95	5515	-11.75076	-10.9538	-11.20982
Verenmeel	KV	EV	934	0	210	0	0	0
Vismeel	KV	EV	919	0	1283	21.77	21.77	21.77
Vleesbeendermeel	KV	EV	948	0	310	21.11	21.11	21.11
Witlof pulp gedroogd	KV	EV	897	0.57	573	25.01	25.19	27.86
Zeezand gedroogd	KV	EX	1000	0.75	8	0	0	0
Zonnebl.zaad ged ontdopt	KV	EV	914	0.81	872	7.14	7.99	10.14
Zonnebl.zaad niet ontdopt	KV	EV	914	0.76	1123	4.62	5.57	7.02
Zonnebl.zaad ontdopt	KV	EV	940	0.82	1106	6.47	6.66	8.26
Zonnebl.zaadschilfers ged ontdopt	KV	EV	921	0.86	481	14.01	14.61	17.13
Zonnebl.zaadschilfers niet ontdopt	KV	EV	913	0.83	443	9.78	10.68	12.61
Zonnebl.zaadschilfers ontdopt	KV	EV	906	0.89	526	16.71	17.1	19.88
Zonnebl.zaadschroot	KV	EV	890	0.88	448	17.94	18.39	21.22
Zout	KV	EX	998	0.75	180	0	0	0
Overig graan	KV	EV	885	0.75	898	18.23	18.23	18.38
Overig peulvrucht	KV	EV	886	0.86	1387	19.16	18.76	19.87
Overig enkelvoudig	KV	EV	899	0.75	1181	18.12	17.91	18.59
Overig mineralen	KV	EX	990	0.81	2341	2.06	1.85	1.64
Kunstmelk	MP	KM	963	0.91	5284	26.66	26.45	26.96
Melkpoeder mager	MP	DR	945	0.92	15258	25.63	28.84	30.11
Melkpoeder vol	MP	DR	949	0.9	13628	16.52	15.24	14.53
Weipoeder (droog)	MP	DR	980	0.77	667	29.64	27.83	27.95
Weipoeder (nat 60%)	MP	NT	600	0.77	135	29.64	27.83	27.95
Weipoeder (nat 30%)	MP	NT	300	0.77	27	29.64	27.83	27.95
Weipoeder (nat 6%)	MP	NT	60	0.77	6	29.64	27.83	27.95

Naam	Voersoort ¹	Subgroep in voersoort ²	DS (g/kg)	VCRE ³	g CO ₂ -eq/kg ⁴	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
Weipoeder delac (droog)	MP	DR	958	0.88	993	22.77	21.77	22.77
Weipoeder delac (nat 60%)	MP	NT	600	0.88	135	29.64	27.83	27.95
Weipoeder delac (nat 30%)	MP	NT	300	0.88	27	29.64	27.83	27.95
Weipoeder delac (nat 6%)	MP	NT	60	0.88	6	29.64	27.83	27.95
Kaaswei	MP	NT	44	0.86	6	26.71	26.61	30.03
Overig melkproduct	MP	NT	589	0.85	2845	26.74	25.79	26.35
Aardappeldiksap	OV	BP	575	0.91	39	20.06	21.72	26.74
Aardappelpersvezels	OV	BP	159	0.38	30	24.04	24.31	26.04
Aardappelschillen	OV	BP	220	0.5	6	19.43	19.43	19.43
Aardappelsnippers	OV	BP	218	0.43	6	22.22	21.17	20.5
Aardappelstoomschillen	OV	BP	140	0.61	6	23.24	24.9	28.08
Aardappelzetmeel nat	OV	BP	262	0.57	6	22.6	21.33	19.85
Aardappelzetmeel niet ontsloten	OV	BP	455	0.99	6	22.93	21.36	19.18
Andijvie	OV	BP	52	0.85	6	20	20	20
Appelen	OV	BP	157	0.88	6	20	20	20
Augurk	OV	BP	49	0.63	6	20	20	20
Bierbostel	OV	BP	241	0.8	6	15.69	15.5	15.5
Bietenblad	OV	RV	175	0.58	6	20	20	20
Bietenblad met kop	OV	RV	160	0.79	6	20	20	20
Bietenperspulp	OV	BP	218	0.65	7	24.62	24.53	26.17
Bietenstaartjes	OV	RV	136	0.53	79	20	20	20
Bonenstro (Vicia)	OV	RV	840	0.46	79	17	17	17
Bonenstro (Phas)	OV	RV	863	0.62	152	17	17	17
CCM deel spil	OV	RV	584	0.58	253	19.51	19.51	19.51
CCM met spil	OV	RV	512	0.58	222	19.7	19.7	19.7
CCM zonder spil	OV	RV	624	0.58	270	19.54	19.54	19.54
Erwttenstro	OV	RV	841	0.58	141	17	17	17
Gerstestro	OV	RV	860	0.17	214	17	17	17
GPS-granen	OV	RV	373	0.53	130	20	20	20
Graanspoeling (DDG)	OV	BP	72	0	6	17.62	17.62	17.62
Graszaadhooi	OV	RV	844	0.36	63	17	17	17
Haverstro	OV	RV	840	0.19	251	17	17	17
Klaver rode, hooi	OV	RV	830	0.61	235	19.53	19.48	20.99
Klaver rode, kuil	OV	RV	378	0.71	116	19.53	19.48	20.99
Klaver rode, kunstmatig gedroogd	OV	AD	901	0.62	1417	19.53	19.48	20.99
Klaver rode, stro	OV	RV	830	0.44	235	19.53	19.48	20.99
Komkommer	OV	BP	58	0.57	6	20	20	20
Kool (bladkool)	OV	BP	100	0.87	6	20	20	20
Kool (bloemkool)	OV	BP	72	0.91	6	20	20	20
Kool (mergkool)	OV	BP	120	0.84	6	20	20	20
Kool (rood/wit/sav.)	OV	BP	85	0.82	6	20	20	20
Kool (spruitkool)	OV	BP	162	0.88	6	20	20	20
Koolrapen	OV	RV	110	0.67	6	20	20	20
Kroten rode biet	OV	BP	114	0.67	6	20	20	20
Luzerne hooi	OV	RV	851	0.67	392	19.53	19.48	20.99
Luzerne kuil	OV	RV	403	0.72	194	19.53	19.48	20.99
Luzerne kunstmatig gedroogd	OV	AD	910	0.69	1594	19.53	19.48	20.99
Maïskolvensilage	OV	RV	531	0.57	233	20.51	20.51	20.51
Maisstro	OV	RV	840	0.27	6	17	17	17
Maisweekwater	OV	BP	480	0.87	1363	21.99	23.32	28.47
Melasse suikerbiet	OV	BP	723	0.75	130	30.01	28.71	30.7
Melasse suikerriet	OV	BP	732	0.13	304	29.8	22.07	21.16
Paprika	OV	BP	125	0.56	6	20	20	20
Peren	OV	BP	165	0.87	6	20	20	20
Prei	OV	BP	100	0.8	6	20	20	20
Roggestro	OV	RV	840	0.14	195	17	17	17

Naam	Voersoort ¹	Subgroep in voersoort ²	DS (g/kg)	VCRE ³	g CO ₂ -eq/kg ⁴	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						g/kg ds	g/kg ds	g/kg ds
Sla	OV	BP	61	0.82	6	20	20	20
Snijgraan kuil	OV	RV	250	0.6	88	19.53	19.48	20.99
Spinazie	OV	BP	94	0.84	6	20	20	20
Spruiten	OV	BP	180	0.85	6	20	20	20
Suikerbieten	OV	RV	260	0.27	57	25	25	25
Tarwestro	OV	RV	902	0.23	251	17	17	17
Tomaten	OV	BP	63	0.76	6	20	20	20
Uien/bollen	OV	RV	100	0.75	6	20	20	20
Veldbonen (Vicia)	OV	RV	323	0.68	176	21.4	21.4	21.4
Vinasse suikerbiet	OV	BP	680	0.86	394	21.76	22.8	27.02
Voederbieten	OV	RV	129	0.63	85	25	25	25
Voederbieten gereinigd	OV	BP	143	0.6	92	25	25	25
Voeraardappelen	OV	RV	350	0.48	194	19.95	19.95	19.95
Witlof loof	OV	RV	175	0.34	6	20	20	20
Witlof persulp	OV	BP	232	0.53	6	24.79	24.49	25.73
Witlofwortel getrokken schoon	OV	BP	149	0.61	6	20	20	20
Witlofwortel getrokken vuil	OV	BP	122	0.61	6	20	20	20
Witlofwortel niet getrokken	OV	BP	200	0.49	6	20	20	20
Wortelen / Winterpeen	OV	RV	113	0.57	6	20	20	20
Wortelstoomschillen	OV	BP	55	0.63	6	24.67	23.93	24.65
Overig graanstro	OV	RV	861	0.18	228	17	17	17
Overig bladgroente	OV	RV	110	0.67	6	20	20	20
Overig groente	OV	RV	144	0.46	6	20	20	20
Overig ruwvoer	OV	RV	499	0.52	135	19.35	19.34	19.6
Overig bijproduct	OV	BP	212	0.68	68	21.36	21.14	21.67

¹ GK=graskuil; VG=vers gras; SM=snijmais; KV=krachtvoer; MP=Melkpoeder; OV=Overig ruwvoer en bijproducten

² KU=kuil; HO=hooi; AD=kunstmattig gedroogd; OB=Onbeperkt en beperkt weiden; ZV=Zomerstalvoeren; BP=Bijproducten; RV=Overig ruwvoer; MV=Mengvoer; EV=Enkelvoudige krachtvoerders; EX=Externals; NT=Natte melkproducten; DR=Droge melkproducten;

³ CVB 2004, CVB 2006, CVB 2011 en <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>

⁴ per kg product; Feedprint versie 2015.03 (Vellinga *et al.*, 2013)

⁵ worden berekend; zie hoofdstekst

Bijlage 5 Enterische methaanemissie

Onderscheid naar rantsoen

De enterische methaanemissie van melkvee wordt beïnvloedt door de wijze waarop het voer in de pens fermenteert en dat is weer afhankelijk van het gevoerde rantsoen. De productie van enterisch methaan moet daarom gedifferentieerd worden naar rantsoen. Uit vorig onderzoek (Šebek *et al.*, 2016) is gebleken dat rantsoendifferentiatie naar het aandeel snijmaïssilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen (op basis van kg DS) tot goede resultaten leidt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren (EF) voor alle gebruikte voedermiddelen. De EF van al die voedermiddelen op een rij gezet worden in deze rapportage EF-lijsten genoemd. Omdat er gedifferentieerd wordt naar het aandeel snijmaïssilage 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. 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 3 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.

Rekenwijze

Stap 1: Vaststellen van het deel snijmaïssilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen (in % van de droge stof opname)

- De Kringloopwijzer geeft voor alle voeders hoeveel kg droge stof (DS) daarvan is opgenomen
- Alle ruwvoerders bij elkaar optellen = SOM kg DS uit ruwvoerders
- % snijmaïssilage uitrekenen = $100 * (\text{kg DS snijmaïssilage} / \text{SOM kg ds uit ruwvoerders})$

Stap 2: Op basis van het %snijmaïssilage wordt een bedrijfsspecifieke lijst met EF waarden (EFbs in g CH₄/kg DS) uitgerekend:

- Dit gebeurt op basis van interpolatie (Tabel B2.1). Er zijn 3 EF-lijsten beschikbaar nl voor 0%, 40% en 80% snijmaïssilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen.
- Indien het berekende %snijmaïssilage tussen 0%-40% ligt dan interpoleren met de EF-lijsten 0% en 40%
- Indien het berekende %snijmaïssilage tussen 40%-80% dan interpoleren met de EF-lijsten 40% en 80%

Tabel B2.1 Voorbeeldberekening bedrijfsspecifieke methaan emissiefactor (EFbs in g CH₄/kg DS).

Deel snijmaïssilage	Te gebruiken EF-lijst			Rekenfactor 1	Rekenfactor 2	Bedrijfsspecifieke EFbs
	0%	40%	80%			
$0\% \geq y1 \leq 40\%$	x1	x2		$A1 = y1/40$	$A2 = 1-A1$	$EFbs = x1*A2 + x2*A1$
$40\% > y2 \leq 80\%$		x2	x3	$B1 = (y2-40)/40$	$B2 = 1-B1$	$EFbs = x2*B2 + x3*B1$

Opnameniveau

De enterische methaanemissie (in g CH₄/kg DS) zoals berekend via het gebruik van EF-lijsten op basis van het snijmaïsaandeel in het ruwvoer (paragraaf 1.1), wint aan nauwkeurigheid wanneer het effect van het voeropnameniveau wordt meegerekend. Voor gebruik in de KringloopWijzer volstaat het aanhouden 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.

In de Kringloopwijzer wordt op veestapelniveau gerekend. Daarom wordt de voeropname in stap 3 uitgedrukt per GVE.

Stap 3: Indien de gemiddelde voeropname afwijkt van 18,5 kg DS/GVE per dag en de berekende bedrijfsspecifieke EFbs heeft de waarde X g CH₄/kg DS, dan is de EF gecorrigeerd voor voeropname: $EF_{opn} = X - (0,21 * (voeropname \text{ (kg DS)} - 18,5))$ in g CH₄/kg DS

Ruwvoer kwaliteit

Achtergrond

De EF voor ruwvoerders (in g CH₄/kg DS) verschilt al naar gelang de kwaliteit van het ruwvoer. Daarom wordt de EF van de belangrijkste Nederlandse ruwvoerders (vers gras, graskuil en snijmaïssilage) gecorrigeerd voor kwaliteit.

Let op!! De in deze paragraaf gegeven rekenregels voor het corrigeren van de EF voor de ruwvoer kwaliteit zijn niet zonder meer toepasbaar voor extreme groeiomstandigheden en voor minder reguliere vormen van bedrijfsvoering en graslandmanagement.

Tijdelijke invulling

Let op!! De in deze paragraaf gegeven rekenregels voor het corrigeren van de EF voor de ruwvoer kwaliteit van grassilage en snijmaïssilage **verschillen van de voorgestelde rekenregels in Wageningen Livestock Research rapport 976 (Šebek et al., 2016).**

De reden voor deze afwijking is dat de benodigde data (gehalte NDF en zetmeel) voor deze twee ruwvoerders niet beschikbaar zijn in de centrale databank van de Kringloopwijzer. Om toch bedrijfsspecifiek te kunnen rekenen voor de enterische methaanemissie zijn op basis van de wel beschikbare informatie (gehalte ruw eiwit) regressieformules afgeleid. Deze formules zijn weliswaar geschikt om de range in enterisch CH₄ weer te geven, maar zijn minder nauwkeurig dan de formules voorgesteld door Šebek et al. (2016). Ook sluit de gebruikte verklarende variabele niet goed aan bij de logica van het functioneren van de pens, waardoor communicatie hierover bemoeilijkt wordt. Het betreft dan ook een tijdelijke oplossing die zo snel mogelijk moet worden vervangen.

Vers gras

Voor vers gras varieert de methaanemissie per kg DS met de snedewaarte. In de Kringloopwijzer ontbreken data over de snedewaarte. Er wordt alleen onderscheid gemaakt tussen weiden en zomerstalvoeding. Daarom wordt volstaan met het maken van onderscheid tussen een weidesnede en een maaisnede ten behoeve van zomerstalvoeding. Uitgaande van een streefopbrengst bij weiden van 1700 kg DS/ha en bij zomerstalvoeren van 2200 kg DS/ha wordt de EF van vers gras:

Stap 4:

Weiden	19.2 g CH ₄ /kg DS
Zomerstalvoeding	23.2 g CH ₄ /kg DS

Graskuil

De methaanemissie van graskuil neemt toe met de zwaarte van de snede (kg DS / ha) en het aantal dagen hergroei. Dit bleek uit onderzoek binnen Emissie Arm Veevoer (EAV), waarin de EF voor graskuil varieerde van 18,7 -24,7 g CH₄ /kg DS graskuil en waarbij het verloop in methaanemissie vrijwel lineair was met de snedezwaarte. Echter, in de Kringloopwijzer ontbreken data over de snedezwaarte en dagen hergroei van de kuilen. Daarom is via regressieanalyse onderzocht (Šebek *et al.*, 2016) of er een goede relatie bestaat tussen de methaanemissie (g kg DS) en vastgestelde componenten van de chemische samenstelling. Het betrof VEM, DVE, OEB, VCOS, ruw eiwit, ruw vet, NDF en suiker. Het kenmerk met de hoogste verklaarde variantie ($R^2 = 0,72$) was NDF, maar ook ruw eiwit ($R^2 = 0,68$) en ruw vet ($R^2 = 0,63$) bleken een groot deel van de geobserveerde variantie te verklaren.

De voorkeur gaat uit naar een regressieformule op basis van NDF. Echter, in de centrale databank van de Kringloopwijzer is NDF niet beschikbaar en ruw eiwit wel. Daarom wordt voorlopig gekozen voor een regressieformule op basis van ruw eiwit. Deze regressieformule is afgeleid voor een gemiddeld NL rantsoen dat overeenkomt met 40% snijmaïssilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen (EF40%). Op basis van de gerapporteerde verschillen in EF voor grassilage in rantsoenen met EF0%, EF40% en EF80% (Šebek *et al.*, 2014) is de regressieformule voor EF40% gecorrigeerd naar EF0% en EF80%.

Stap 5:

Graskuil (g CH₄ / kg DS):

EF0% = $36,38 - 0,0136 * \text{VEM (per kg DS)} - 0,0038 * \text{re (g/kg DS)} - 0,0341 * \text{ras (g/kg DS)}$

EF40% = $36,38 - 0,0136 * \text{VEM (per kg DS)} - 0,0038 * \text{re (g/kg DS)} - 0,0341 * \text{ras (g/kg DS)}$

EF80% = $37,88 - 0,0136 * \text{VEM (per kg DS)} - 0,0038 * \text{re (g/kg DS)} - 0,0341 * \text{ras (g/kg DS)}$

Snijmaïskuil

De methaanemissie van een gemiddelde maïskuil daalt met 0,5 g methaan/kg DS snijmaïs per 10 g stijging van het zetmeelgehalte, ofwel met 0,8 g methaan/kg DS snijmaïs per 10 g daling in NDF gehalte. Deze verschillen zijn gebaseerd op een reeks snijmaïskuilen met een DS-gehalte van 28%, 32% en 40% en laten zich dan ook doorvertalen naar het droge stofgehalte in de snijmaïskuil. Het verloop in methaanemissie is vrijwel lineair met de verandering in DS-gehalte en de methaanemissie stijgt met 0,3 g CH₄ per kg DS per 1% stijging het DS-gehalte van de snijmaïskuil.

In de centrale databank van de KringloopWijzer zijn het zetmeelgehalte, het NDF-gehalte en het DS-gehalte van snijmaïssilage niet opgenomen. Daarom is via regressieanalyse onderzocht of er een goede relatie bestaat tussen de methaanemissie (g kg DS) en vastgestelde componenten van de chemische samenstelling. Het betrof VEM, DVE, OEB, VCOS, ruw eiwit, ruw vet, NDF en suiker. Het kenmerk met de hoogste verklaarde variantie ($R^2 = 0,72$) was NDF, maar ook ruw eiwit ($R^2 = 0,68$) en ruw vet ($R^2 = 0,63$) bleken een groot deel van de geobserveerde variantie te verklaren.

De voorkeur gaat uit naar een regressieformule op basis van zetmeel of NDF. Echter, in de centrale databank van de Kringloopwijzer is NDF niet beschikbaar en ruw eiwit wel. Daarom wordt voorlopig gekozen voor een regressieformule op basis van ruw eiwit. Deze regressieformule is afgeleid voor een gemiddeld NL rantsoen dat overeenkomt met 40% snijmaïssilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen (EF40%). Op basis van de gerapporteerde verschillen in EF voor snijmaïssilage in rantsoenen met EF0%, EF40% en EF80% (Šebek *et al.*, 2014) is de regressieformule voor EF40% gecorrigeerd naar EF0% en EF80%.

Stap 6:

Maïskuil (g CH₄/kg DS):

EF0% = $-28.41 + 0.0474 * \text{Vem}$

EF40% = $-29.31 + 0.0474 * \text{Vem}$

EF80% = $-30.61 + 0.0474 * \text{Vem}$

Minimum : Vem=900, EF=16

Maximum : Vem=1050, EF=23

(op termijn wellicht te wijzigen in:

EF0% = $-32,72 + 0,0517 * VEM$ (per kg DS)

EF40% = $-33,62 + 0,0517 * VEM$ (per kg DS)

EF80% = $-34,92 + 0,0517 * VEM$ (per kg DS))

Overige ruwvoerders

Voor de overige ruwvoerders is geen EF-waarde bekend. Toch zijn er enkele 'overige ruwvoerders' die met regelmaat worden toegepast in melkveerantsoenen (bv. tarwestro, gerststro, graszaadstro en koolzaadstro). Op basis van de lage verteerbaarheid van deze producten en het hoge NDF-gehalte wordt voor alle stro-producten een EF-waarde van 17 g methaan/kg DS aangehouden, ongeacht de samenstelling van het rantsoen (% snijmaïs in het ruwvoerdeel).

Stap 7:

Stroproducten (g CH₄/kg DS):

EF0% = 17

EF40% = 17

EF80% = 17

Mengvoerdersamenstelling

De nieuwe rekenregels in combinatie met EF lijsten zijn praktisch implementeerbaar in de LP programmatuur van de diervoederindustrie (Šebek *et al.*, 2016). Daarmee is het mogelijk dat voor iedere partij geleverde brok de specifieke methaanemissiefactor wordt gegeven (in g CH₄ per kg DS). Het begeleidingsteam, met daarin vertegenwoordigers van de diervoedersector, verwacht dat dit in de toekomst ook zal (moeten) gebeuren, maar verwacht niet dat het operationeel wordt voor 2018. Dientengevolge wordt voorsnog op een andere manier rekening gehouden met het effect van de grondstoffsamenstelling van mengvoerders op de berekende enterische methaanemissie. Op basis van een uitgebreide dataset met verschillende mengvoerdersamenstellingen is een regressieformule afgeleid waarmee op basis van het ruw eiwitgehalte (re in g/kg DS) de EF voor het mengvoer kan worden geschat. Deze formules geven een grove schatting van de enterische methaanemissie (g CH₄ per kg DS) op basis van re en re² en worden voorlopig in de KringloopWijzer gebruikt:

Stap 8:

Mengvoerders (g CH₄/kg DS):

EF0% = $26,75 - 0,0414 * re + 0,000061 * re^2$ (re in g/kg DS)

EF40% = $26,35 - 0,0407 * re + 0,000059 * re^2$ (re in g/kg DS)

EF80% = $27,36 - 0,0433 * re + 0,000067 * re^2$ (re in g/kg DS)

Jongvee

De methaanemissie van jongvee kan om twee redenen afwijken van de methaanemissie van melkvee nl voeropname niveau en een andere emissie per kg DS als gevolg van een andere penswerking. Door te rekenen per GVE worden verschillen in voeropnameniveau gecorrigeerd (zie ook paragraaf 1.2). Voor wat betreft verschillen in penswerking blijkt uit de rapportage van Šebek *et al.* (2016) dat dat betrekking heeft op dieren die nog onvoldoende ruwvoer opnemen, waarbij als criterium een leeftijdsgrens van 3 maanden is voorgesteld. De enterische methaanemissie van deze jonge dieren bleek ongeveer 1/3 van de methaanemissie van een melkkoe te bedragen. Daaruit volgt dat met de in de vorige paragrafen beschreven werkwijze een overschatting gemaakt wordt bij het berekenen van de CH₄ emissies op veestapelniveau van de methaanemissie van jonge kalveren. Met de volgende rekenregels wordt die overschatting voorkomen.

Stap 9:

GVE Jongvee dat voldoende ruwvoer krijgt (>3 mnd)

EF per GVE jongvee = EF per GVE melkvee

GVE Jongvee dat niet/nauwelijks ruwvoer krijgt (<3 mnd)

EF per GVE jongvee = $1/3 * \text{EF per GVE melkvee}$

Aantal GVE jongvee < 3 mnd = $(\text{aantal GVE jongvee} < 1 \text{ jaar}) / 4$

Bijlage 6 Emissiecoëfficiënten

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	Emissie-coëfficiënt	Eenheid	Bron
Aanvoer	Kunstmest	ammonium	3099 g CO ₂ -eq/kg	zuivere N	Feedprint
Aanvoer	Kunstmest	nitraat	3625 g CO ₂ -eq/kg	zuivere N	Feedprint
Aanvoer	Kunstmest	ureum	1332 g CO ₂ -eq/kg	zuivere N	Feedprint
Aanvoer	Kunstmest	stikstofcombinaties	6685 g CO ₂ -eq/kg	zuivere N	Feedprint
Aanvoer	Kunstmest	fosfaat	1218 g CO ₂ -eq/kg	zuivere P ₂ O ₅	Feedprint
Aanvoer	Kunstmest	kali	563 g CO ₂ -eq/kg	zuivere K ₂ O	Feedprint
Aanvoer	Kunstmest	kalk, kalksteen	32 g CO ₂ -eq/kg	kalksteen	Notitie Vellinga
Aanvoer	Kunstmest	kalk, dolomiet	44 g CO ₂ -eq/kg	dolomiet	Notitie Vellinga
Aanvoer	Strooisel	stro	245 g CO ₂ -eq/kg		Feedprint
Aanvoer	Strooisel	zaagsel	22 g CO ₂ -eq/kg		Agri-footprint
Aanvoer	Strooisel	kalk	32 g CO ₂ -eq/kg		Agri-footprint
Aanvoer	Strooisel	overig	100 g CO ₂ -eq/kg		Agri-footprint
Aanvoer	Vee	koeien	10.627 kg CO ₂ -eq/kg	levend gewicht	Agri-footprint
Aanvoer	Vee	pinken	10.627 kg CO ₂ -eq/kg	levend gewicht	Agri-footprint
Aanvoer	Vee	kalveren	10.665 kg CO ₂ -eq/kg	levend gewicht	Agri-footprint
Aanvoer	Vee	nuchter kalf	10.665 kg CO ₂ -eq/kg	levend gewicht	Agri-footprint
Aanvoer	Gewasbeschermingsmiddel	nematicide	11790 g CO ₂ -eq/kg	as	Ecoinvent 3
Aanvoer	Gewasbeschermingsmiddel	herbicide	12627 g CO ₂ -eq/kg	as	Ecoinvent 3
Aanvoer	Gewasbeschermingsmiddel	fungicide	6317 g CO ₂ -eq/kg	as	Ecoinvent 3
Aanvoer	Gewasbeschermingsmiddel	overige	9867 g CO ₂ -eq/kg	as	Feedprint
Aanvoer	Afdek materiaal	plastic	3166 g CO ₂ -eq/kg		Ecoinvent 3
Energieverbruik	drogen	grasbaal	404 kg CO ₂ -eq/ton	ingaand	Feedprint
Energieverbruik	drogen	grasbrok	470 kg CO ₂ -eq/ton	ingaand	Feedprint
Energieverbruik	drogen	snijmaïs	366 kg CO ₂ -eq/ton	ingaand	Feedprint
Energieverbruik	drogen	overige ruwvoer	332 kg CO ₂ -eq/ton	ingaand	Feedprint
Energieverbruik	verbranden	diesel	84.01 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	verbranden	natuurlijk gas	59.97 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	verbranden	biogas	2.12 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, website)
Energieverbruik	verbranden	propaol	63.82 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	verbranden	olie	75.9 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	verbranden	kerosine	84.01 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	verbranden	kool	118.85 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)

Proces	Product	Specificatie	Emissie-coefficient	Eenheid	Bron
Energieverbruik	aanvoer	diesel	8.77 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	aanvoer	natuurlijk gas	8.28 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	aanvoer	biogas	46.89 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, website)
Energieverbruik	aanvoer	propaan	23.68 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	aanvoer	olie	11.1 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	aanvoer	kerosine	8.77 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	aanvoer	kolen	15.78 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint (verdeling, Blonk advies)
Energieverbruik	aanvoer	elektrisch normaal	201.9 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint
Energieverbruik	aanvoer	elektrisch groen	4.34 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint
Energieverbruik	aanvoer	water	0.411 g CO ₂ -eq/ltr		Ecoinvent 3
Energieverbruik	elektriciteit	biomassa	11.65 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint
Energieverbruik	elektriciteit	wind	4.34 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint
Energieverbruik	elektriciteit	zon	4.34 g CO ₂ -eq/MJ		Feedprint
toediening	kalk	kalk, dolomiet	120 g CO ₂ -eq-C/kg		Notitie Vellinga
toediening	kalk	kalk, kalksteen	130 g CO ₂ -eq-C/kg		Notitie Vellinga
toediening	ureum	-	200 g CO ₂ -eq-C/kg		Feedprint

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-883

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 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



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



Correspondentie adres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-883

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 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

