Rekenregels van de KringloopWijzer 2017

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2016-versie

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

Rekenregels van de KringloopWijzer 2017

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2016-versie

J.J. Schröder, L.B. Šebek, J. Oenema, J.G. Conijn & 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, maart 2018

Rapport WPR-790

Schröder, J.J., L.B. Šebek, J. Oenema, J.G. Conijn & J. de Boer, 2018. *Rekenregels van de KringloopWijzer 2017; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2016-versie*. Wageningen Research, Rapport WPR-790. 106 blz.; 8 fig.; 38 tab.; 58 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/443323>

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

© 2018 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-790

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	24
2.1.4	Mestproductie door 'staldieren'	24
2.1.5	Mestscheiding	28
2.1.6	Kanttekeningen bij BEX en de mestproductie van overige graasdieren en 'staldieren'	28
2.2	BEA	31
2.2.1	Inleiding	31
2.2.2	Berekeningswijze	31
2.2.3	Kanttekeningen bij BEA	45
2.3	BEN: bedrijfsspecifieke N stromen	47
2.3.1	Inleiding	47
2.3.2	Berekeningswijzen	47
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 C stromen	70
2.5.1	Inleiding	70
2.5.2	Berekeningswijzen	72
2.5.3	Kanttekeningen bij BEC	83
	Literatuur	85
	Bijlage 1 Acronymenlijst	88
	Bijlage 2 Tabellen	97
	Bijlage 3 Enterische methaanemissie	101

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 broeikaseffect 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' (geiten, 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, 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;
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.

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 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 maaï-, oogst- en beweidingsverliezen onvermijdelijk zijn, zal namelijk steeds iets minder daadwerkelijk geoogst of tijdens beweiding gegeten worden dan er gegroeid is. Het verloren deel keert, net als de gewasresten, gedeels 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	2
(aangevoerde) natte bijproducten	0*	4	6	1.5	0	2
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	7,7 ¹	4,3 ¹	14 ¹	0,9 ¹	20,1 ¹
Staldieren drijfmest, mestcode 50 ³	7,0 ¹	3,9 ¹	53 ¹	1,04 ¹	11,3 ¹
Staldieren vaste mest, mestcode 39 ⁴	34,1 ¹	16,6 ¹	25 ¹	0,605 ¹	12,3 ¹
Compost ⁵	7,0 ¹	3,3 ¹	9 ¹	0,8 ⁶	30,1 ¹
Graasdieren dunne fractie, mestcode 11	4,9 ¹	2,0 ¹	61 ¹⁰	1,02 ¹	7,0 ¹
Graasdieren 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

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 *et al.*, 2011.⁹ Gemiddelde van rundvee en vleesvarkens en afbraak van Norg van 25-50%.

1.3 Bronnen van N-verlies

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

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

Niet-berekende overige N-verliezen =

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

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

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

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

¹ BEA basis.

² BEA plus.

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

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

⁵ BEN: nitraatuitspoeling.

⁶ BEC: N ophoping als afgeleide uit BEC.

1.4 Benuttingen

1.4.1 Algemeen

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

De volgende benuttingspercentages worden in de KringloopWijzer berekend.

1.4.2 Benutting op bedrijfsniveau

De benutting op bedrijfsniveau wordt gedefinieerd als:

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

$$(H - (A - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde omvang van veestapel}) + X) / ((B - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad krachtvoer}) + (C - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad ruwvoer}) + D + E + (F - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad kunstmest}) + (-I - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad mest}) + G)$$
, 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, 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), 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). 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. 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, hoofdstuk 2.1), de BEA (Bedrijfsspecifieke emissie van ammoniak, hoofdstuk 2.2), de BEN (Bedrijfsspecifieke emissie van nitraat en lachgas, hoofdstuk 2.3), de BEP (Bedrijfsspecifieke fosfaatstromen, hoofdstuk 2.4) en de BEC (Bedrijfsspecifieke koolstofstromen, hoofdstuk 2.5). Elk hoofdstuk begint met een inleiding waarna de berekeningswijze van de kengetallen wordt uitgelegd. Aan het eind van elk hoofdstuk volgt een paragraaf met kanttekeningen. Daarin 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 het ene hoofdstuk teruggrijpt of vooruitloopt op een volgend hoofdstuk. Om het spoor niet bijster te raken is in Bijlage 1 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 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, rosékalveren, 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 zowel het VEM, N en P gehalte te analyseren alsmede de aanwezige hoeveelheid vast te leggen. 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) en melkvee, 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.

Netto N excretie = bruto N excretie – gasvormige N verliezen

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 en melkvee, en voor het aandeel drijfmest. De dieraantallen worden gebruikt om het N emissiepercentage te berekenen.

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 uit de verhouding jongvee/melkvee en de emissiepercentages voor deze diercategorieën. Deze emissiepercentages worden voor zowel drijfmest als vaste mest berekend uit de forfaits voor bruto en netto N excretie van die diercategorieën (dat wil zeggen: afzonderlijk voor jongvee jonger dan 1 jaar, jongvee ouder dan 1 jaar en melkvee). Het melkveeforfeit betreft de gemiddelde Nederlandse melkkoe. Vervolgens worden deze emissiepercentages gewogen op basis van het relatieve aandeel bruto N excretie (op basis van de bruto N forfaits) van die diercategorieën in de totale forfaitaire N excretie van de veestapel.

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 volwassen melkkoe en de ras-factor.

Veeslag	Volwassen gewicht melkkoe (kg)	Rasfactor
Jersey	400	0,7
Overige rassen	600	1,0
Jersey kruislingen	500	0,85

2.1.2.9 Beweiding

Onbeperkt weiden wil zeggen dat de koeien zowel overdag als 's nachts weiden (maximaal 20 uur). Beperkt weiden houdt in dat de melkkoeien alleen overdag of alleen 's nachts in de weide zijn (maximaal 9 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 600 kg*.

		Melk- en kalfkoeien		Jongvee	
		kVEM/jaar	kVEM/dag	≥ 1 jaar	≤ 1 jaar
				kVEM/dag	kVEM/dag
Bewegingstoelage**	Niet weiden	189			
	extra bij Beperkt weiden		0,395		
	extra bij Combi weiden		0,395		
	extra bij Onbeperkt weiden		0,526	0,879	0,421
Jeugdtoelage***		131			
Dracht en NEB****		194			

* Bij een ras met een ander volwassen gewicht dient de toeslag in deze tabel te worden vermenigvuldigd met de rasfactor 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 1893 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 36,25%.

**** NEB = Negatieve Energie Balans.

Overzicht rekenregels VEM behoefte

kVEM-behoefte jongvee per jaar

Jonger dan 1 jaar (kalveren (ka)) (per dier per kalenderjaar): $(1.381 + 0,421 \times \text{aantal weidedagen}) \times \text{aantal ka} \times \text{rasfactor} \times 1,02$ (kVEM).

Ouder dan 1 jaar (pinken (pi)) (per dier per kalenderjaar): $(2.472 + 0,879 \times \text{aantal weidedagen}) \times \text{aantal pi} \times \text{rasfactor} \times 1,02$ (kVEM).

kVEM-behoefte melkkoeien per jaar: melkproductie

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

FPCM/dag = $(\text{melkgift/koe (kg)} \times (0,337 + 0,116 \times \% \text{vet} + 0,06 \times \% \text{eiwit})) / 307$ (dagen).

VEM melkproductie = $(442 \times \text{FPCM/dag} \times (1 + (\text{FPCM/dag} - 15) \times 0,00165)) \times 307$ (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 = $(42,4 \times \text{GEW}^{0,75} \times (1 + (\text{FPCM/dag} - 15) \times 0,00165)) \times 307$ (dagen).

VEMonh tijdens droogstand = $42,4 \times \text{GEW}^{0,75} \times (1 + (-15 \times 0,00165)) \times 58$ (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) * 307/365) + 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 de opname berekend als 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 opname 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 9 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 beheersgrasland), 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 afgetrokken van de hoeveelheid die volgens de berekening op het bedrijf wordt gevoerd (Tabel 2.1.3).

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	348	0	733	1.314	2.047	576	2.623
115 Startkalveren voor rosé- of roodvlees (< ca. 3 mnd)	222	406	0	0	140	140	0	140
116 Rosékalveren (ca. 3 mnd tot ca. 8 mnd)	0	1.122	0	0	655	655	355*	1.010
117 Rosékalveren (ca. 14 dgn tot 8 mnd)	78	880	0	0	482	482	211*	693
120 Weide- en zoogkoeien	0	56	1.653	1.582	0	3.235	0	3.235
122 Vleesstieren (>3 mnd tot slacht)	0	970	0	0	1.652	1.652	68	1.720
550 Fokschapen (ten minste eenmaal gelammerd incl. lammeren <ca. 4 mnd en rammen)	0	56	328	65	0	393	0	393
551 Vleesschapen (<ca. 4 mnd, niet geboren op bedrijf)	0	9	47	4	0	51	0	51
552 Opfokooien, weideschapen, vleesschapen (>ca. 4 mnd)	0	11	226	22	0	248	0	248
600 Melkgeiten (ten minste eenmaal gelammerd incl. pasgeboren lammeren en geslachtsrijpe bokken)	6	419	0	149	279	428	0	428
601 Opfokgeiten en vleesgeiten (<ca. 4 mnd)	136	0	0	0	0	0	0	0
602 Opfokgeiten en vleesgeiten (>ca.4 mnd)	0	124	0	74	137	211	0	211
941 Pony's	0	247	671	673	0	1.344	0	1.344
943 Paarden	0	437	1.019	906	0	1.925	125	2.050

* Eventuele vochtrijke krachtvoerders zijn hierin begrepen.

2.1.2.15 Overzicht rekenregels N en P opname

N/VEM en P/VEM vers gras:

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

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

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

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

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 44/600	GEWkalf
Gewicht pink (kg)**	=	GEW x 320/600	GEWpink
Gewicht vaars (kg)**	=	GEW x 530/600	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	=	0,65	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	=	0,3625	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	=	0,63	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 600 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) 530 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 44/600
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 530/600
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 320/600
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 gem. aantal stuks jongvee > 1jr.
Pjv>1	=	(Pkalf2 + Pvaars1 – Ppink) 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 aftrek gebeurt in de BEX op basis van forfaits (Tabel 2.1.6). Met deze stikstofverliezen wordt aldus rekening gehouden bij het bepalen van de al dan niet resterende N-gebruiksruimte. Voor het bepalen van het N-bodemoverschot wordt echter uitgegaan van de bruto N-excretie die vervolgens wordt vermeerderd met de N in voerresten en uiteindelijk wordt verminderd met de gasvormige N-verliezen op basis van de BEA-module binnen de KringloopWijzer (paragraaf 2.2).

Tabel 2.1.6 Forfaitaire bruto stikstofexcretie en forfaitaire netto hoeveelheid stikstof in de mest van melkveecategorieën (in kg per dier per jaar).

(bron: <https://www.drloket.nl/xmlpages/page/Invloket/actueel/document/fileitem/49062>).

Diercategorie	Bruto N-excretie (kg/dier/jaar)	Netto N in de mest (kg/dier/jaar)	
		Drijfmest	Vaste mest
Melk- en kalfkoeien (inclusief nuchtere kalveren)	126,7	115,9	99,5
Vrouwelijk jongvee, fokstieren en overig vleesvee jonger dan 1 jaar	34,9	32,3	29,1
Vrouwelijk jongvee en overig vleesvee ouder dan 1 jaar en fokstieren van 1 tot 2 jaar	71,3	66,9	61,3

Op basis van Tabel 2.1.6 zijn de volgende N vervluchtigingspercentages per diercategorie berekend:

- Melkvee: drijfmest 8,5% en vaste mest 21,5%
- jongvee jonger dan 1 jaar: drijfmest 7,45% en vaste mest 16,6%
- jongvee ouder dan 1 jaar: drijfmest 6,2% en vaste mest 14,0%

Voor de berekening van het gemiddelde N vervluchtigingspercentage van de bedrijfsspecifieke veestapel wordt het gewogen gemiddelde over diersoorten berekend. Hiervoor wordt eerst per diercategorie de geproduceerde hoeveelheid stikstof vermenigvuldigd met het betreffende vervluchtigingspercentage. Dit product wordt vervolgens gedeeld door de totale hoeveelheid geproduceerde stikstof.

Overzicht rekenregels gasvormige verliezen

Algemeen

Aantal melkkoeien = n_{mk}

Aantal jongvee jonger dan 1 jaar = $n_{jv<1}$

Aantal jongvee ouder dan 1 jaar = $n_{jv>1}$

Bruto N excretie melkkoeien, $jv<1$ en $jv>1$ = resp. BN_{mk} , $BN_{jv<1}$ en $BN_{jv>1}$ (uit Tabel 2.1.6)

Netto N excretie melkkoeien, $jv<1$ en $jv>1$ = resp. NN_{mk} , $NN_{jv<1}$ en $NN_{jv>1}$ (uit Tabel 2.1.6)

N vervluchtiging drijfmest (N_{gas} drijfmest)

Aantal melkkoeien drijfmest = $n_{mkd} = n_{mk} \times \text{drijfmest\%}_{mk}$ (invoer BEX)

Aantal jongvee jonger dan 1 jaar drijfmest = $n_{jv<1} \times n_{jv<1d} \times \text{drijfmest\%}_{jv<1}$ (invoer BEX)

Aantal jongvee ouder dan 1 jaar drijfmest = $n_{jv>1} \times n_{jv>1d} \times \text{drijfmest\%}_{jv>1}$ (invoer BEX)

Bruto N excr drijfmest melkkoeien, $jv<1$ en $jv>1$ = resp. BN_{mkd} , $BN_{jv<1d}$ en $BN_{jv>1d}$ (uit Tabel 2.1.6)

Netto N excr drijfmest melkkoeien, $jv<1$ en $jv>1$ = resp. NN_{mkd} , $NN_{jv<1d}$ en $NN_{jv>1d}$ (uit Tabel 2.1.6)

N_{gas} drijfmest bedrijfsspecifieke veestapel (%) = $100 \times (1 - ((n_{mkd} \times NN_{mkd} + n_{jv<1d} \times NN_{jv<1d} + n_{jv>1d} \times NN_{jv>1d}) / (n_{mkd} \times BN_{mkd} + n_{jv<1d} \times BN_{jv<1d} + n_{jv>1d} \times BN_{jv>1d})))$

N vervluchtiging vaste mest (N_{gas} vaste mest)

Aantal melkkoeien vaste mest = $n_{mkv} = n_{mk} - n_{mkd}$

Aantal jongvee jonger dan 1 jaar vaste mest = $n_{jv<1v} = n_{jv<1} - n_{jv<1d}$

Aantal jongvee ouder dan 1 jaar vaste mest = $n_{jv>1v} = n_{jv>1} - n_{jv>1d}$

Bruto N excr vaste mest melkkoeien, $jv<1$ en $jv>1$ = resp. BN_{mkv} , $BN_{jv<1v}$ en $BN_{jv>1v}$ (uit Tabel 2.1.6)

Netto N excr vaste mest melkkoeien, $jv<1$ en $jv>1$ = resp. NN_{mkv} , $NN_{jv<1v}$ en $NN_{jv>1v}$ (uit Tabel 2.1.6)

$$N_{\text{gas}} \text{ vaste mest bedrijfsspecifieke veestapel (\%)} = 100 \times (1 - ((n_{\text{mkv}} \times NN_{\text{mkv}} + n_{\text{jv}<1\text{v}} \times NN_{\text{jv}<1\text{v}} + n_{\text{jv}>1\text{v}} \times NN_{\text{jv}>1\text{v}}) / (n_{\text{mkv}} \times BN_{\text{mkv}} + n_{\text{jv}<1\text{v}} \times BN_{\text{jv}<1\text{v}} + n_{\text{jv}>1\text{v}} \times BN_{\text{jv}>1\text{v}})))$$

N vervluchtiging totale mestproductie (drijfmest + vaste mest)

$$N_{\text{gas}} \text{ bedrijfsspecifieke veestapel (\%)} = 100 \times (1 - (Ad + Av / Bd + Bv))$$

Waarin: $Ad = n_{\text{mkd}} \times NN_{\text{mkd}} + n_{\text{jv}<1\text{d}} \times NN_{\text{jv}<1\text{d}} + n_{\text{jv}>1\text{d}} \times NN_{\text{jv}>1\text{d}}$

$Av = n_{\text{mk}} \times NN_{\text{mkv}} + n_{\text{jv}<1\text{v}} \times NN_{\text{jv}<1\text{v}} + n_{\text{jv}>1\text{v}} \times NN_{\text{jv}>1\text{v}}$

$Bd = n_{\text{mk}} \times BN_{\text{mkd}} + n_{\text{jv}<1\text{d}} \times BN_{\text{jv}<1\text{d}} + n_{\text{jv}>1\text{d}} \times BN_{\text{jv}>1\text{d}}$

$Bv = n_{\text{mk}} \times BN_{\text{mkv}} + n_{\text{jv}<1\text{v}} \times BN_{\text{jv}<1\text{v}} + n_{\text{jv}>1\text{v}} \times BN_{\text{jv}>1\text{v}}$

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 2.1.7). 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 2.1.7 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	P ₂ O ₅ -excretie
Fokstieren > 1 jaar (cat. 104)	72.2	72.2	25.9
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	75.4	75.3	26.9
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	10.5	10.5	3.4
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	26.3	26.3	9.4
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	21.5	21.5	7.6
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	28.2	25.6	9.7
Fokschapen (cat. 550)	9.9	9.9	3.3
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	0.9	0.9	0.3
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	7.2	7.2	2.2
Melkgeiten (cat. 600)	10.2	10.2	4.7
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	0.9	0.9	0.4
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	7.4	7.4	3.1
Pony's (cat. 941)	29.3	29.3	11.7
Paarden (cat. 943)	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 2.1.8:
 - 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 2.1.8:
 - 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 2.1.8 Normatieve netto mestproducties en mestgehalten voor verschillende soorten staldieren en huisvestingsstelsels.

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

Diersoort	Rav-code stal	Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad)	Mestproductie vaste mest (kg/gad)	Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton)	Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton)	Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton)
	E 5.9.1.2.4	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
	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

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 1.1.9	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
	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 3.2.100	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 mestscheiding 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 ($\text{NH}_4\text{-N}$, 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 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.

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. P_2O_5 -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 (grotendeels tussen de 98% en 108%) en bij massale ziekte (b.v. veel mastitis) of slecht verteerbare rantsoenen zelfs boven de 110%. In de

praktijk leeft de veronderstelling dat een VEM-dekking van 105% beter aansluit bij de werkelijkheid (zeker bij maïsrantsoenen), maar het vaststellen van de VEM-dekking is in de praktijk zelden mogelijk. Vanwege verknoppingen met andere aannames kan een eventuele wijziging van de veronderstelde VEM-dekking alleen plaatsvinden als dat samengaat met consistentie-checks op andere constanten. Voorbeelden van dergelijke constanten staan in onderstaande lijst:

Lijst constante invoer parameters in BEX

1. Gemiddelde VEM-dekking veestapel (102%).
2. TussenKalfTijd (TKT) van 411 dagen in 2005, bron: 'NRS jaarstatistieken 2007'.
3. Percentage droogstaande dieren (op jaarbasis) in de veestapel (15,7%). Volgens de 'NRS jaarstatistieken 2007' bedroeg de TKT in 2005 411 dagen waarvan 65 dagen droogstand. Teruggerekend naar kalenderjaar is dat 307 dagen lactatie en 58 dagen droogstand en daar gaat de BEX van uit.
4. Levend gewicht volwassen koe (klein, middel, groot respectievelijk 400, 500, 600 kg).
5. VEM-behoefte jongvee jonger en ouder dan 1 jaar (zie paragraaf 2.1.2.10).
6. Extra behoefte aan energie (VEM) voor arbeid en groei (zie Tabel 2.1.2).
7. 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.
8. Percentage vervanging melkveestapel (36,25%) om leeftijdsopbouw veestapel en vastlegging in groei 1^e en 2^e kalfskoeien te kunnen berekenen.
9. Het aantal geboren kalveren per koe per kalender jaar (=0,65) om de vastlegging in foetus + adnexa bij melkvee te kunnen berekenen.
10. Het aantal geboren kalveren per pink per kalender jaar (=0,63) om de vastlegging in foetus + adnexa bij jongvee te kunnen berekenen.
11. Emissiepercentage voor N uit mest van jongvee jonger dan 1 jaar, jongvee ouder dan 1 jaar en van melkvee (voor drijfmest respectievelijk 7,45%, 6,2% en 8,5% en voor vaste mest respectievelijk 16,6%, 14,0% en 21,5%).
12. 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.
13. 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 gehalten), zonder dat daarbij niet-plausibele uitkomsten zichtbaar worden. Om die reden heeft het de voorkeur om de omvang van de mestscheiding op het bedrijf als een percentage van de totale mestproductie op stal op te vragen. Om niet-plausibele uitkomsten uit te sluiten wordt er niet voor gekozen om bij mestscheiding de

samenstelling van mestscheidingsproducten op te vragen maar om deze door een model te berekenen op basis van het scheidingrendement. Door het kiezen van deze werkwijze worden de te verwachten probleem ('mest niet beschikbaar') nog niet opgelost maar wel geminimaliseerd.

- Niet alleen bij het scheiden van mest kunnen in de berekening problemen ontstaan, maar ook bij de 'bestemming' van de verschillende mestsoorten (aan- en afvoer, voorraden, toediening). Een nauwkeurige invoer/administratie is hierbij een vereiste. Maar ondanks een goede invoer kan het toch tot situaties leiden waarbij de uitkomst van het rekenmodel teveel afwijkt van realisaties in de praktijk. Zo kan de werkelijke afvoer van mest afwijken van de uitkomst van het rekenmodel. Vooral bij boer-boer afvoer waarbij hoofdzakelijk forfaitaire gehalten gebruikt worden, wordt in werkelijkheid soms minder mest afgevoerd dan op papier berekend is. Andersom geldt dat als de werkelijke gehalten groter zijn dan de forfaits, minder mest op het bedrijf resteert dan berekend. Ook de invoer van mestvoorraden vormen vaak een 'zwakke schakel'. Dit kan leiden tot onverwachte uitkomsten van het rekenmodel.

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

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

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). Deze methodiek inventariseert, de weg die de N in mest aflegt, te weten achtereenvolgens: uitscheiding door de veestapel, huisvesting (stalfloer 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 2.2.2.4). 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 NH₃ per jaar) van een melkveebedrijf.

De BEA heeft informatie nodig over:

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

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

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. 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. 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).

De informatie over soort en hoeveelheid van de gebruikte voedermiddelen en de bruto N-excretie van de melkveestapel levert BEX (paragraaf 2.1).

De BEX berekent de bruto N-excretie als:

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

De N-excretie 'onder de staart' bestaat uit feces en urine. Om de verdeling van de N-excretie over de feces en de urine te kunnen berekenen is, in aanvulling op de informatie uit BEX, ook informatie over de VC_re van de gebruikte voedermiddelen nodig (zie paragraaf 2.2.2.2).

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

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

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

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

$$TAN\text{-excretie} (kg) = N\text{-excretie_urine} (kg) \times 0.92$$

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

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

Bij vaste mest wordt een deel van de minerale N omgevormd naar organische N. Conform NEMA wordt aangenomen dat bij vaste mest, voor gemiddelde Nederlandse omstandigheden (klimaat en

stalinrichting), van de ammoniakale N (= minerale N) in stal en stalopslag 25% per jaar wordt omgezet in niet-ammoniakale N (= organische N).

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

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, 2004). In BEA worden de volgende categorieën voedermiddelen onderscheiden:

1. Categorie 'graskuil+grashooi'

$$VRE = 0,895 \times RE + 0,04 \times RAS - 40 + (8 - 0,7 \times NH_3 \text{ fractie})$$

met VRE, RE en RAS in g per 1000 g DS en NH₃ fractie in g per 100 g vers product

De formule is voor praktisch gebruik desgewenst te vereenvoudigen door de NH₃-fractie vast te leggen op 8,9% (BLGG gemiddelde periode 2003-2007), zodat de uiteindelijke formule wordt (CVB, 2011):

$$VRE \text{ grasbrok} = 0,63 \times RE$$

$$VRE \text{ grashooi} = 0,868 \times RE + 0,040 \times RAS - 40$$

$$VRE \text{ graskuil} = 0,970 \times RE + 0,044 \times RAS - 40$$

2. Categorie 'maïskuil'

$$VRE = 0,969 \times RE + 0,04 \times RAS - 40$$

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 vers gras = N/VEM vers gras * 960 * 6.25.

$$VC_{re} \text{ vers gras} = 71,14 (\pm 0,6) + 0,0588 (\pm 0,003) \times RE_{\text{vers gras}} \quad \text{Adj } R^2=0,84 \text{ en se} = 0,6$$

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:

$$VC_{re} = 54,66 (\pm 0,1) + 0,084 (\pm 0,001) \times RE_{\text{mengvoer}} \quad \text{Adj } R^2=0,99 \text{ en se} = 0,1$$

5. Categorie 'overige'

Niet voor alle producten zijn schattingsformules beschikbaar. Wanneer een schattingsformule ontbreekt wordt een vaste VC_{re} gebruikt (Bijlage 2).

2.2.2.2.2 Overige graasdieren

De TAN-productie voor de 'overige graasdieren' wordt berekend door de netto mest-N productie (Tabel 2.1.7) 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:

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

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)	0.882	0.882	70	70
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	0.949	0.948	65	73
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)	0.851	0.851	60	60
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	0.882	0.800	57	57
Fokschapen (cat. 550)	0.915	0.915	69	72
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	0.915	0.915	69	72
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	0.915	0.915	69	72
Melkgeiten (cat. 600)	0.838	0.838	60	60
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	0.838	0.838	60	60
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	0.838	0.838	60	60
Pony's (cat. 941)	0.912	0.912	74	78
Paarden (cat. 943)	0.917	0.917	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-percentage 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 zomer- en een winterperiode. Daar zijn verschillende redenen voor:

- De EF voor mest in stal en opslag zijn fors hoger 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 TAN-excretie per dier per dag verschilt tussen de zomer- en winterperiode. Dit hangt samen met verschillen in rantsoen.

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 uitgegaan 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 NH_3 -N (als % van TAN)		EF overige N (als % van N-totaal)	
		Melkkoe	Jongvee	Melkkoe	Jongvee
Stalperiode	Drijfmest	13,9	14,3	2,4	2,4
	Vaste mest	13,9	14,3	3,5	3,5
Weideperiode	Drijfmest	13,9-36,4 (zie Tabel 2.2.3)		2,4	2,4
	Vaste mest	13,9-36,4 (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	13.9
1	14.09
2	14.3
3	14.54
4	14.79
5	15.07
6	15.4
7	15.74
8	16.12
9	16.59
10	17.09
11	17.67
12	18.35
13	19.19
14	20.15
15	21.32
16	22.85
17	24.75
18	27.27
19	30.81
20	36.43

De EF in Tabel 2.2.2 en 2.2.3 kunnen voor praktijkbedrijven gebruikt worden, maar de beide staltypes zijn slechts voor een deel van de praktijk van toepassing. In de Regeling Ammoniak Veehouderij (RAV) worden 30 staltypen voor de categorie melkvee onderscheiden (Tabel 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 NH₃-N in afhankelijkheid van het aanwezige type melkveestal (bron staltypen: Kenniscentrum Infomil).

Code	Categorie	NH ₃ ¹⁾	Factor ²⁾
A 1	Diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar		
A 1.100	Standaard stal	13	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, gierafvoerbuiss	11.7	0.90
A 1.17	Mechanisch geventileerde stal, chemisch luchtwassysteem	5.1	0.39
A 1.18	Ligboxenstal - V-vloer, profiel, gierafvoerbuiss	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	0.70
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	9.6	0.74
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 1.100	Overige stalsystemen	13	1.00

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

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

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

$$\begin{aligned}
 NH_3\text{-}N_{\text{huisvesting}} &= RAV_{\text{correctie}} \times \\
 &((TAN\text{-}productie \text{ in } stal_{\text{winter}} \times EF \text{ NH}_3\text{-}N \text{ standaardstal}_{\text{winter}}) + \\
 &(TAN\text{-}productie \text{ in } stal_{\text{zomer}} \times EF \text{ NH}_3\text{-}N \text{ standaardstal}_{\text{zomer}}))
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 N\text{-overig} &= (N\text{-excretie in } stal_{\text{winter}} \times EF \text{ N-overig standaardstal}_{\text{winter}}) + \\
 &(N\text{-excretie in } stal_{\text{zomer}} \times EF \text{ N-overig standaardstal}_{\text{zomer}})
 \end{aligned}$$

2.2.2.4.2 Overige graasdieren

Door combinatie van de berekende TAN-producties door 'overige graasdieren' (paragraaf 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 ($\text{N-overig}_{\text{stal}}$). Beide verliesposten zijn nodig om te berekenen hoeveel N per saldo naar een externe mestopslag of direct naar de percelen gaat. De rekenregels luiden:

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

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

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	12,7	2,4
	VM	12,7	3,5
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	DM	12,7	2,4
	VM	12,7	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	20,5	2,4
	VM	20,5	3,5
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	DM	12,7	2,4
	VM	12,7	3,5
Fokschapen (cat. 550)	DM	27,8	2,4
	VM	27,8	3,5
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	DM	27,8	2,4
	VM	27,8	3,5
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	DM	27,8	2,4
	VM	27,8	3,5
Melkgeiten (cat. 600)	DM	17,1	7
	VM	17,1	7
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	DM	17,1	7
	VM	17,1	7
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	DM	17,1	7
	VM	17,1	7
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
	E 5.14	Warmteheaters - luchtmengsysteem	0.035
	E 5.100	Overige huisvestingssystemen	0.080
Kraamzeugen	D 1.2.1	Spoelgotensysteem	3.300
	D 1.2.2	Kunststof schijnvloer	3.700
	D 1.2.3	Gecoate vloer met tandheugelschuif	4.000
	D 1.2.4	Mestschuif	3.100
	D 1.2.5	Mestgoot	3.200
	D 1.2.6	Mestkanaal en waterkanaal	4.000
	D 1.2.7	Hellende plaat	5.000
	D 1.2.8	Mestopvang in aangezuurde vloeistof	3.100
	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

Diersoort	Rav-code stal	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
	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	D 1.3.1	Metalen driekantrooster	2.400
gen	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
	D 4.1	Drijvende ballen in de mest	0.490
	D 1.1.100	Overige huisvestingssystemen	0.690
Vleesvarkens	D 3.1	Volledig rooster	4.500
	D 3.2.1	Deel rooster	4.500
	D 3.2.2	Mestopvang en spoelen	1.600
	D 3.2.3	Koeldeksysteem, 170%	1.700
	D 3.2.4	Mestopvang in formaldehyde	1.000
	D 3.2.5	Mestopvang in water	1.300
	D 3.2.6	Koeldeksysteem, 200%	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

Diersoort	Rav-code stal	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
	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
Witvleeskalveren	D 3.2.100	Overige huisvestingssystemen	3.000
	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
Witvleeskalveren	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 becijferd 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:

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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, 2015; Van Bruggen et al., 2017).

Grondgebruik	Methode van toediening	Mestsoort		
		Vaste mest & dikke fractie	Drijfmest, dunne fractie, digestaat	Mineralenconcentraat en spuiwater
Grasland	Bovengronds	74	74	74
	Sleepvoet	-	26	10
	Sleufkouter ¹	-	23	10
	Zodebemester	-	19	8
Bouwland	Bovengronds	-	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).

Kunstmestsoort	Grondgebruik	Emissiefactor
Alle N-meststoffen anders dan ureumhoudende	Grasland en bouwland	3,4
Ureum, gekorrelde, zonder remmer of zuur	Grasland en bouwland	14,3
Ureum, gekorrelde, met remmer of zuur	Grasland en bouwland	5,9
Vloeibaar ureum zonder nitrificatiemmer	Grasland en bouwland	7,5
Vloeibaar ureum met nitrificatiemmer	Grasland en bouwland	3,1
Vloeibaar ureum toegediend via injectie	Grasland en bouwland	1,5

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

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

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 ruwvoergerassen zoals maïs (snijmaïs, MKS, CCM), kuilgras en vers gras ten behoeve van stalvoeding, steeds exclusief wortels, stoppels en vanggewassen maar inclusief de oogst- en maaiverliezen), en de 'gegroeide hoeveelheid weidegras' (inclusief 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 $Af1_{\text{maïs}}$, $Af3_{\text{maïs}}$, $Af1_{\text{maïgras}}$, $Af3_{\text{maïgras}}$, $Af1_{\text{weidegras}}$, $Af3_{\text{weidegras}}$, $Af1_{\text{overigruwvoer}}$, $Af3_{\text{overigruwvoer}}$, $Af1_{\text{marktakkerbouw}}$ en $Af3_{\text{marktakkerbouw}}$ (kg N per ha). $Af1$ termen slaan steeds op de netto afvoer (via dam of bek) ingeval van ruwvoerders (maïs, 'maïgras', 'weidegras' en 'overig ruwvoer') en de afvoer van hoofdproducten van marktbaar akkerbouwgewassen ('marktakkerbouw'). $Af3$ termen slaan op de oogst-, maai- en beweidingsverliezen van ruwvoerders (maïs, 'maïgras', '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:

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

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 areaalgewogen 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 winterperiode van 6 maanden en een zomerperiode van 6 maanden. Bij permanent opstallen (jaarrond) wordt daarom voor 6 maanden met de EF-stalperiode gerekend en ook 6 maanden met de EF-weideperiode/permanent opstallen. Voor weidende bedrijven ligt dat lastiger (zie volgende opmerking).
- Er worden voor zomer- en winterperiode 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 (34,5%) in vergelijking met 9 uur beperkt weiden (14,64%) en summer feeding (11,9%).
- Ook moeten nadere afspraken gemaakt worden hoe wordt omgegaan met bedrijven die langer dan 6 maanden weiden. Stel dat er zeven maanden geweid wordt, dient dan die zevende maand met de EF voor de zomerperiode of met de EF voor de winterperiode te worden berekend? Voor wat betreft klimaat met de EF-winter, maar voor wat betreft emitterend besmeurd oppervlak met de EF-zomer. Deze combinaties zijn echter niet opgenomen in NEMA.
- 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 b.v. door N uit voerverliezen.
 - 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 bedrijfspecifieker 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 andere temperaturen, ook de veronderstelde 10% extra mineralisatie van organische N niet langer geldt.
 - Als jongvee in hetzelfde staltype gehuisvest wordt als de melkkoeien, maakt BEA voor wat betreft de emissie geen onderscheid tussen melkvee en jongvee. De eventuele fout die hiermee gemaakt wordt, is beperkt omdat de aantallen jongvee en de TAN-excretie per eenheid jongvee klein is ten opzichte van melkvee.
 - De gehanteerde emissiefactoren, hoewel gespecificeerd voor stalsystemen en toedieningstechnieken, berusten op gemiddelden. Uit onderzoek is bekend dat de spreiding rondom dit gemiddelde groot kan zijn onder invloed van stalklimaat, ventilatiegebieden, drink- en spoelwatergebruik (resp. het droge stofgehalte in mest), bewuste verdunning van mest met water, aanzuren, toevoegmiddelen, grondsoort, weersomstandigheden (neerslag, temperatuur, wind) gewastype en -hoogte, mestgift, volume van mest, verdeling van mest over een jaar. 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 a) 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 b) de bodem en c) 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.

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 continue teelt 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 continue teelt. 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 continue teelt. Bijgevolg kunnen bodemoverschotten behalve vanwege aanvoerverschillen ook vanwege afvoerverschillen anders zijn voor een teelt in wisselbouw dan voor diezelfde teelt in continue teelt.

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. 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 en Aan3 worden opgegeven door KringloopWijzer-deelnemers. Aan2 wordt afgeleid uit de gegevens over de bruto N-excretie in het kader van BEX (paragraaf 2.1) 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 beweiding en 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 geconserveerde ruwvoerders / (1- 0.05)) + 0.02 x (N-opname in de vorm van krachtvoerders / (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 areaalgewogen 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: $\text{ton DS/ kg N} \times (\text{Af1}_{\text{maaisgras}} + \text{Af1}_{\text{weide}} + \text{Af3}_{\text{maaisgras}} + \text{Af3}_{\text{weide}})$. 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: 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 ($\text{Aan6}_{\text{grasland}}$, kg N/ha) gedefinieerd als de som van de beweidings- en maaiverliezen ($\text{Af3}_{\text{maaisgras}} + \text{Af3}_{\text{weide}}$, kg N/ha), voor maïsland ($\text{Aan6}_{\text{maïsland}}$, kg N/ha) en overig ruwvoerland ($\text{Aan6}_{\text{overigruwvoer}}$, kg N/ha) als de oogstverliezen. 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 2.2.2.8) 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 ($\text{Aan7}_{\text{grasland}}$) gesteld op 75 kg N/ha (Velthof & Oenema, 2001). Aangenomen wordt dat tegenover deze aanvoerpost in blijvend grasland jaarlijks een evengrote afvoer staat (zie term afvoerterm Af4, later in deze paragraaf). Voor maïsland (snijmaïs, MKS en CCM) ($\text{Aan7}_{\text{maïsland}}$) 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 hier 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:

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

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
	Aan	SUBTOTAAL			
Afvoer	Af0	Nmin voorjaar, jaar x+1	X		
	Af1	geoogst van eigen land		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.

Afvoerposten

Elders in deze paragraaf wordt toegelicht hoe de term Af1 (geoogst van eigen land) 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 geldt dat 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) en maïskuil ($NOP_{maïskuil}$, kg N). Hierbij geldt voor de afvoer in de vorm van weidegras ($Af1_{weide}$) en de beweidingsverliezen ($Af3_{weide}$):

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

met GO (ha) = totale graslandoppervlakte.

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

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

met beweidingsverliezen in procenten, volgens Tabel 1.1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Op vergelijkbare wijze geldt voor de maïskuil:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Op vergelijkbare wijze geldt voor het overige ruwvoer:

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

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

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

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

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

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

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

Vervolgens geldt voor de 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:

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

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

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

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 hoofproduct (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'). 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-benutting_{bodem}) is gelijk aan de fractie van de N-aanvoer (volgens de binnen de KringloopWijzer gehanteerde conventie na aftrek van ammoniakverliezen bij beweiding en toediening van (kunst)mest) die tot benutbare N-afvoer leidt (afvoer 'via bek of dam en/of erf'). 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:

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

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). 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 $Aan3_{\text{maïsland}}$, $Aan3_{\text{overigruwvoer}}$ 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 $Aan2_{\text{maïsland}}$, $Aan2_{\text{overigruwvoer}}$ 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:

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

$EF(an)$ 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-hoofdeelten (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, maïslan (snijmaïs, CCM, MKS), overige akkerbouwmatige ruwvoerders, grasland in wisselbouw en grasland in wisselbouw met een maximale leeftijd van 4 jaar, en

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

$Af4_{\text{bouwland}}$ = 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

$EF(\text{cr})$ 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:

$$N_2Oem(\text{pt}) = EF(\text{pt}) * Ninp(\text{pt}) \quad (\text{Eq 2.3.8})$$

met:

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

en $EF(\text{pt}) = 0,02$ (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:

- De emissie van onbemest grasland ($N_2Oem(\text{backgr_grassl_m})$) 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 ha grasland op het bedrijf:

$$N_2Oem(\text{backgr_grassl_m}) = GO \times (1 - \text{fractie veengrond binnen TO}) \times 1 \quad (\text{Eq 2.3.9})$$

- b. De emissie van onbemest grasland op veengronden ($N_2O_{em}(backgr_grassl_p)$) 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:

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

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 ^{l)}
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 2.3.6). 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	Verhouding netto/bruto excretie	Emissiefactoren in kg N ₂ O-N / kg N uitgescheiden mest in de stal	
		Dunne mest	Vaste mest
Fokstieren > 1 jaar (cat. 104)	0.882	0,002	0,005
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	0.949	0,002	0,005
Startkalveren, rosé- of roodvles (cat. 115)	0.851	0,002	0,005
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	0.851	0,002	0,005
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	0.851	0,002	0,005
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	0.882	0,002	0,005
Fokschapen (cat. 550)	0.882	0,002	0,005
Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551)	0.882	0,002	0,005
Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552)	0.882	0,002	0,005
Melkgeiten (cat. 600)	0.882	0,01	0,01
Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601)	0.882	0,01	0,01
Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602)	0.882	0,01	0,01
Pony's (cat. 941)	0.912	0,002	0,005
Paarden (cat. 943)	0.917	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 en 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') 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 de veestapelsamenstelling en de 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:

$$\text{Voerrest-P} = 0.05 \times (P\text{-opname in de vorm van geconserveerde ruwvoerders} / (1 - 0.05)) + 0.02 \times (P\text{-opname in de vorm van krachtvoerders} / (1 - 0.02)) \quad (\text{Eq 2.4.4})$$

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)

PcVoerverliesRuwvoer = Percentage vervoederingsverlies ruwvoer

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

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

P in aangekocht voer voor de melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen = P in melk en vlees van melkvee – P in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt. (Eq 2.4.6)

Substitutie van vergelijking Eq 2.4.6 in Eq 2.4.5 geeft:

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

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

P in mest van melkvee (inclusief voerrest) + P in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt = P in ruwvoer 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 beheersgrasland 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 beheersgrasland afzonderlijk), het maïsland en overige ruwvoerders bepaald. Voor de hoeveelheid P van grasland (P_{grasland}) geldt:

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

met: $P_{\text{maaisgras}}$ = de hoeveelheid P in aangelegde eigen graskuil of vers vervoederd, P_{weide} = de hoeveelheid P opgenomen in weidegras, $P_{\text{maïskuil}}$ = 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 ($P_{\text{maïsland}}$):

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

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

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

Om op melkveebedrijven met een akkerbouwtak en/of een 'staldier'-tak te kunnen bepalen of de aanvoer van mest- P en kunstmest- P in balans is met de afvoer van P in de vorm van melk en vlees van melkvee en van marktbaar akkerbouwproducten, dient de via BEX berekende hoeveelheid rundveemest (weidemest, 'stalmest') vermeerderd te worden met de netto hoeveelheid mest- P afkomstig uit de 'staldier'-tak en dient de P -afvoer met marktbaar akkerbouwgewassen in 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 gewasspecifieke 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% 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:

$$\text{P}_2\text{O}_5\text{-afvoer van de akkerbouwtak (kg P}_2\text{O}_5) = \sum_1^n (\text{BOn} \times ((\text{YHn} \times \text{CPHn}) + (\text{YBn} \times \text{CPBn}))),$$

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 kuildichtheden. 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 C stromen

2.5.1 Inleiding

Het onderdeel BEC van de KringloopWijzer heeft onder meer tot doel om te schatten hoeveel methaan (CH_4) en koolzuur (CO_2) vrijkomen op een melkveebedrijf. Dat is van belang omdat beide, net als lachgas (N_2O), zogenaamde broeikasgassen zijn. Omwille van de optelbaarheid van de verschillende gassen wordt het broeikaseffect van CH_4 en N_2O daarbij omgezet naar CO_2 -equivalenten: 1 kg CH_4 komt overeen met 28 kg CO_2 en 1 kg N_2O komt overeen met 265 kg CO_2 (IPCC, 2015). De rekenmethodiek van de KringloopWijzer beperkt zich tot de broeikasgassen die binnen de bedrijfsgrenzen ontstaan, de zogenaamde directe emissies (Figuur 2.5.2). De KringloopWijzer roept echter ook aanvullende informatie aan om de geschatte productie van CO_2 -equivalenten die voor de poort van het bedrijf ontstaat ('upstream') te berekenen. Het gaat daarbij om CO_2 -equivalenten die bij de productie en het transport van kunstmest, (kracht)voer en elektriciteit benodigd zijn geweest. CH_4 komt vrij bij de spijsvertering van met name meermagigen en uit mest. CO_2 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 CO_2 vrij en bij vermindering van het gebruik van fossiele energie wordt het vrijkomen van CO_2 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) of in de vorm van elektriciteit. Elk van die vormen kan in principe meer of minder op het bedrijf zelf zijn 'gemaakt' of van buiten betrokken worden en gebaseerd zijn op fossiele dan wel vernieuwbare bronnen. Voor de productie van melk zijn naast energie ook vaak andere grondstoffen gebruikt, waaronder kunstmest en van buiten het bedrijf aangevoerd (kracht)voer. Voor de productie daarvan is, zij het buiten het bedrijf, ook weer (fossiele of vernieuwbare) energie gebruikt.

De BEC module becijfert niet alleen de koolstof (C) die betrokken is bij de productie van broeikasgassen CH_4 en CO_2 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 CO_2 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 CO_2 en in methaan (CH_4). Tijdens de bewaring van 'stalmest' wordt een deel van de mest-C verder omgezet in CO_2 en CH_4 . 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 (Figuur 2.5.1). Het bodemleven gebruikt deze C als voedsel en produceert daarbij CO_2 . 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, 48 kg N, en 6 kg P (14 kg P_2O_5).

2.5.2 Berekeningswijzen

2.5.2.1 Emissie van methaan uit dieren

Tiers

De methaanemissie die het gevolg is van fermentatie in het maagdarmkanaal van vee vertegenwoordigt op melkveebedrijven circa 75-80% van de totale methaanemissie. De rest is afkomstig uit de mestopslag.

Voor de emissie uit de pens hanteert de KringloopWijzer het Tier 3 niveau van de IPCC.

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 voedermiddel. Deze factor (in g CH₄ per kg 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 van melkvee, wordt de methaan-emissie (g CH₄ per kg drogestof) voor iedere voercomponent berekend. Die emissie bestaat voor veel voeders uit een vast getal per kg drogestof, maar wordt voor geconserveerd gras, voor snijmaïs en voor mengvoer gedifferentieerd op basis van het aandeel ruw eiwit (Re, g per kg) (Bijlage 2). 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:

$$\text{CH}_4_EF_{\text{basis}} = \text{CH}_4_EF_{\text{voer}} + \text{CH}_4_EF_{\text{corOpname}}.$$

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

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

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

$$\text{CH}_4_EF_{\text{rantsoen}} = \text{CH}_4_EF_{\text{basis}} \times ((1-\text{FJK}) + (0,33 \times \text{FJK}))$$

Graskuil (g CH₄ / kg DS):

$$EF0\% = -0,0209 * re \text{ (g/kg DS)} + 25,208$$

$$EF40\% = -0,0217 * re \text{ (g/kg DS)} + 26,153$$

$$EF80\% = -0,0225 * re \text{ (g/kg DS)} + 27,098$$

Maïskuil (g CH₄/kg DS):

$$EF0\% = 0,7568 * re \text{ (g/kg DS)} - 38,323$$

$$EF40\% = 0,7115 * re \text{ (g/kg DS)} - 36,031$$

$$EF80\% = 0,6662 * re \text{ (g/kg DS)} - 32,739$$

Mengvoeders (g CH₄/kg DS):

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

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

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

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 3).

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 energiewaarde van 18,45 MJ/kg DS. Deze conversie factor is relatief constant voor verschillende herkauwerrantsoenen en wordt ook erkend als default waarde door het IPCC (IPCC, 2006).

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

$$CH_4 \text{ emissie} \\ \text{(in kg CO}_2\text{-equivalenten)} = \frac{BE_{opname} \bullet Y_M \bullet 25}{55,65} \bullet 100$$

* 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

25 kg/kg = omrekenfactor kg CH₄ naar kg CO₂ equivalenten (IPCC 2006)

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	Y_m	CH ₄ (kg/jr)	CH ₄ (kg CO ₂ -eq/jr)
Weide- en zoogkoeien, drijfmest	3750 ¹	6.5%	80.8	2020
Weide- en zoogkoeien, vaste mest	3750 ¹	6.5%	80.8	2020
Fokstieren >2jr	3286 ²	6.5%	70.8	1771
Vleesstieren, kruisling >3mnd	2599 ³	6.5%	56.0	1400
Vleesstieren, vleesras >3mnd	2684 ³	6.5%	57.8	1446
Startkalveren vleesst (<3mnd)	651 ³	6.5%	14.0	351
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	1906	6.5%	41.1	
Rosékalveren, 2wkn-8mnd	1535 ⁴	6.5%	33.1	827
Fokschapen + lam	493 ³	6.5%	10.6	266
Overige schapen	332 ³	6.5%	7.2	179
Melkgeiten (cat. 600)	855	6.5%	18.4	
Vleesgeiten (cat. 601)	79	6.5%	1.7	
Overige geiten (cat. 602)	340	6.5%	7.3	
Pony <250 kg	983 ⁵	-	6.0	149
Pony 250-450 kg	1872 ⁵	-	11.4	284
Paard 250-450 kg	2225 ⁵	-	13.5	337
Paard >450 kg	2968 ⁵	-	18.0	450

¹ Tamminga *et al.*, 2004.

² Op basis van gegevens CRV fok- en wachstierbedrijven.

³ Kemme *et al.*, 2005a.

⁴ Evers *et al.*, 2011.

⁵ Kemme *et al.*, 2005b.

Tabel 2.5.2 Methaanemissie van overige staldieren.

	CH ₄ per dierplaats
Kraamzeugen	1.5
Guste en dragende zeugen	1.5
Gespeende biggen	1.5
Vleesvarkens	1.5
Leghennen	0
Vleeskuikens	0
Witvleeskalveren	9.8

2.5.2.2 Emissie van methaan uit mest

Uitgangspunten

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

- Rundvee
- Overige graasdieren
- 'Staldieren'

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](http://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 'stalmest' (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 'stalmest' 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.

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:

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

$EF_{(T)}$: 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

B_0 : 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 B_0

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

B_0

De maximale CH₄-vorming wordt bepaald door de afbreekbaarheid van de organische bestanddelen in de mest. B_0 wordt uitgedrukt in m³. CH₄/kg VS en de (default)waarden zijn afgeleid NIR, 2014 (Tabel 2.5.3).

$MCF_{(S)}$

De MCF geeft de mate aan waarin de hoeveelheid afbreekbare stof onder bepaalde condities ook daadwerkelijk wordt omgezet in CH₄. Als default geeft IPCC waarden voor MCF per diercategorie afhankelijk van de gemiddelde temperatuur in een regio (Tabel 2.5.3).

$VS_{(T)}$

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:

$VS = \sum (Nexretie_T * Factor)$, met:

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

$Nexretie_{(T)}$: 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 2.5.3 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 B_0 verschillen (b.v. geiten 0,18; schapen 0,19; paarden 0,3) In de Kringloopwijzer zijn deze voorlopig onder één categorie gebracht met een B_0 waarde van 0,2.

2.5.2.3 CO₂ emissie als gevolg van direct energiegebruik op het melkveebedrijf

Algemeen

Om melk, vlees en gewassen te kunnen produceren wordt energie verbruikt in de vorm van elektriciteit, diesel, gas en overige brandstoffen. Melkwinning (melken en koelen) en het gebruik van trekkers en landbouwmachines zijn in Nederland de processen die verantwoordelijk zijn voor het merendeel van het energiegebruik op het melkveebedrijf (Moerkerken *et al.*, 2011). Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komt CO₂ vrij. De KringloopWijzer brengt de omvang van deze CO₂ verliezen in beeld.

Berekeningswijze

De hoeveelheid vrijkomende CO₂ wordt berekend in de vorm van primaire energie. Primaire energie is energie in de vorm zoals men die aantreft in de oorspronkelijk gewonnen energiedrager (bijvoorbeeld aardgas, steenkool, olie). Secundaire energie is energie in de vorm die ontstaat na omzetting van primaire energie (zoals elektriciteit). Het omzetten van primaire energie in secundaire energie gaat gepaard met verliezen. Het energieverbruik van secundaire energiedragers wordt daarom teruggerekend naar de stookwaarde (verbrandingswaarde) van de primaire energiedragers.

In de KringloopWijzer wordt onderscheid gemaakt tussen energieverbruik via brandstoffen (hoofdzakelijk diesel) en elektriciteit. Om administratieve lasten voor melkveehouders te beperken wordt het verbruik van energie niet direct bij de melkveehouders opgevraagd maar berekend op basis van 'activiteiten' op een melkveebedrijf.

Voor de energie uit diesel wordt de volgende formule gebruikt:

$$\text{CO}_2 \text{ emissie (kg)} = \text{activiteit} * \text{emissiefactor (kg CO}_2 \text{ Eq / m}^2 \text{ of kg of stuk)}$$

Voor de emissiefactoren van de activiteiten wordt hoofdzakelijk gebruikt gemaakt van Eco-invent 2007 (Tabel 2.5.4). Indien de activiteit niet in Eco-invent is opgenomen, wordt gebruik gemaakt van energieverbruik in DairyWise. Overige brandstoffen zoals aardgas, propaangas, stookolie e.d. worden buiten beschouwing gelaten.

Tabel 2.5.4 Activiteiten en emissiefactoren (EF) voor energieverbruik brandstoffen.

Activiteit	EF	Eenheid
Gras maaien	23	kg CO ₂ -eq./ha
Gras schudden	16	kg CO ₂ -eq./ha
Gras wiersen	16	kg CO ₂ -eq./ha
Gras inkuilen met opraapwagen (incl. hakselen)	101	kg CO ₂ -eq./ha
Graskuil aanrijden	61	kg CO ₂ -eq./ha
Kunstmeststrooien per keer	13.8	kg CO ₂ -eq./ha
Emissiearme mesttoediening op bouwland- en grasland	1.2	kg CO ₂ -eq./m ³
Stalmeststrooier + kraan	3.1	kg CO ₂ -eq./ton
Ploegen	118	kg CO ₂ -eq./ha
Frezen	242	kg CO ₂ -eq./ha
Cultiveren bouwland	31	kg CO ₂ -eq./ha
Cultiveren bouwland met rotorkoep*	62	kg CO ₂ -eq./ha
bouwlandgewas zaaien + evt. rijenbemesting	97	kg CO ₂ -eq./ha
Sputen	11	kg CO ₂ -eq./ha
Oogsten van maaivruchten bouwland	200	kg CO ₂ -eq./ha
Oogsten van rooivruchten bouwland	200	kg CO ₂ -eq./ha
Snijmaïs oogsten en inkuilen	319	kg CO ₂ -eq./ha
Slepen	17.9	kg CO ₂ -eq./ha
Rollen	20.9	kg CO ₂ -eq./ha
Bloten	11.6	kg CO ₂ -eq./ha
Graslandvernieuwing (spuiten t/m zaaien)	58	kg CO ₂ -eq./ha
Gemengd voeren maïs/gras, geen bijproducten	35.3	kg CO ₂ -eq./ton DS
Gemengd voeren maïs/gras, met bijproducten	38.8	kg CO ₂ -eq./ton DS
Zomerstalvoederen (0.5 ha per uur)	30	kg CO ₂ -eq./ton DS
Voer drogen (extern)	1041	kg CO ₂ -eq./ton

* Op kleigrond.

Opgenomen activiteiten worden zoveel mogelijk afgeleid van de bestaande data:

- Maaipercantage wordt afgeleid van de totale hoeveelheid graskuil (BEP) en een aangenomen gemiddelde zwaarte van maaisnede (3000 kg DS/ha).
- Per maaisnede wordt het gras geschud (1,5 keer), gewierst en ingekuild (opraapsnijwagen, trekker+kuilverdeler).
- De hoeveelheid dierlijke bemesting is uitvoer in de KringloopWijzer. Drijfmest wordt als zodebemesting ingerekend (de energieconsumptie van de andere emissie-arme methoden worden hieraan gelijk verondersteld).
- Bij de bouwland worden jaarlijks de volgende activiteiten verondersteld: ploegen, eggen (rotorkoep), zaaien + eventueel een rijenbemesting, spuiten en oogsten.
- Kunstmeststrooien op grasland: 5 keer per ha per jaar.
- Slepen, rollen en bloten: 1 keer per ha per jaar.

Bij elektriciteit wordt de hoeveelheid bepaald in kilowattuur (kWh). Op dit moment is gekozen om geen extra informatie op te vragen over elektriciteit gebruik (facturen van de energieleveranciers, meterstanden etc.), maar het gebruik van elektriciteit wordt normatief berekend. Daarvoor worden de volgende rekenregels (KWIN) gebruikt:

Koeling melk:

$$\text{Verbruik} = 14.0 * \text{melkleverantie}/1000 \text{ (KWh)}$$

Reiniging (verwarming water):

$$a = \text{aantal koeien} \times 0,85 + (45 + \text{aantal koeien} \times 0,75) / 2 \text{ (liters water)}$$

$$b = \text{aantal melkstellen} \times 3 + (20 + \text{aantal melkstellen} \times 5) \times 2 \text{ (liters water)}$$

$$c = \text{melkleiding ruim gedimensioneerd: } c = 0,43 \times b \text{ (liters water)}$$

$$\text{Verbruik} = (a+b+c) * 29.9644 \text{ (KWh)}$$

Melken:

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

Overige, waaronder verlichting:

$$\text{Verbruik} = 1924 + 163 * \text{aantal koeien} \text{ (KWh)}$$

In deze berekening van het gebruik van elektriciteit zijn een paar invoergegevens nodig. De melkproductie en het aantal koeien zijn bekend in de KringloopWijzer. Het aantal melkstellen niet. Deze worden (arbitrair) ingeschat op basis van de melkproductie (Tabel 2.5.5).

Tabel 2.5.5 Relatie tussen melkproductie per bedrijf en het aantal benodigde melkstellen.

Melkproductie	Aantal melkstellen
< 6 ton melk	12
Tussen 6 en 12 ton melk	16
> 12 ton melk	20

Voor de omrekening van kWh naar CO₂ wordt de volgende regel gehanteerd (bron: IEA, 2012):

$$\text{CO}_2 \text{ emissie (kg)} = \text{KWh} * 0.415$$

De energie benodigd voor het koelen, verwarmen, reinigen en verlichten van stallen en het voeren en drinken van de dieren van een eventueel aanwezig tak 'staldieren', wordt in de KringloopWijzer vooraansnog niet verrekend.

2.5.2.4 Indirecte emissie van CO₂

Kunstmest

Voor de fabricage van kunstmest is energie nodig. De hoeveelheid energie per eenheid nutriënt is sterk afhankelijk van het gevolgde fabricageproces. Een samenvatting van energieconsumptie bij Europese fabrikanten wordt gegeven in Jensen & Kongshaug (2003). Zij becijferen de emissie van CO₂-equivalenten tijdens de productie (incl. N₂O) op 5,3 kg CO₂-eq. per kg N, 0,2 kg CO₂-eq. per kg P₂O₅ en 0,3 kg CO₂-eq. per kg K₂O. Dit is exclusief transportemissies. Vervoer per vrachtwagen van een kg kunstmest (met, zeg, 25% nutriënt) over 1000 km gaat gepaard met een additionele emissie van circa 0.6 kg CO₂-equivalent.

Geïmporteerde voeders

Omdat de KringloopWijzer zich primair richt op de benutting en verliezen van N, P en C binnen de grenzen van het bedrijf, blijft de CO₂-emissie die volgt uit de productie van voer (kunstmest, veldwerk, transport, opslag en bewerking) buiten beeld 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.

Elektriciteit

Bij gebruik van elektriciteit vindt binnen de grenzen van het melkveebedrijf geen CO₂ emissie plaats. Met uitzondering van 'groene stroom' heeft de opwekking van elektriciteit buiten het melkveebedrijf vanzelfsprekend wel tot emissie van CO₂ geleid. Wanneer er behoefte bestaat om deze emissie in kengetallen op te nemen, neemt de KringloopWijzer hiervoor een conversie van 415 g CO₂-equivalenten per kWh aan.

2.5.2.5 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 voorsnog 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 2.5.6 geeft aan met welke omrekenfactoren ('HC-waarden') de KringloopWijzer rekent.

Tabel 2.5.6 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 *et al.*, 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 2.5.7. 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 2.5.6 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 gedefiniëerd 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:

$$OS/N_{\text{voerrest}} = (\text{kg OS per kg DS}) / (\text{kg N per kg DS}) = (90/100) / (\text{gewogen N-gehalte in kg per kg van ruwvoer, bijproducten en krachtvoer})$$

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:

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

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

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

Aan2 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 2.5.6).

De effectieve organische stof die als voerrest via de mest op het land terechtkomt ($EOSAan2_{\text{voerrest}}$) wordt dan gelijk aan:

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

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

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

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 ($EOSAan6_{\text{gras}}$) is gelijk aan:

$$EOSAan6_{\text{grasland}} = (\text{Aan6}_{\text{grasland}}) \times OS/N_{\text{teeltgras}} \times HC_{\text{versgewas}} \text{ met}$$

$\text{Aan6}_{\text{grasland}} = 5\% \text{ tot } 20\% \text{ van de N-opbrengst (kg N/ha) van het grasland (afhankelijk van het graslandgebruik, zie Tabel 1.1), } OS/N_{\text{teeltgras}} = (\text{kg OS/kg DS})/(\text{kg N/kg DS in gras van eigen land}) = (90/100)/(\text{kg N/kg DS in gras van eigen land}), \text{ en } HC_{\text{versgewas}} = 0,25.$

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).

$$EOS_{\text{maïslandoogstverlies}} (\text{kg per ha bouwland}) = SO/BO \times (\text{Aan6}_{\text{maïsland}}) \times OS/N_{\text{teeltmaïs}} \times HC_{\text{versgewas}} \text{ met}$$

$SO = \text{oppervlakte maïsland}$, $BO = \text{oppervlakte bouwland}$, $\text{Aan6}_{\text{maïsland}} = 2\%$ (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 2.5.6) 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_{grasland}) is gelijk aan:

$$\text{EOSAan7}_{\text{grasland}} = (\text{Aan7}_{\text{grasland}}) \times \text{OS/N}_{\text{teeltgras}} \times \text{HC}_{\text{gewasrest}} \text{ met } \text{Aan7}_{\text{grasland}} = 75, \text{OS/N}_{\text{teeltgras}} = \text{kg OS per kg gras-N, en } \text{HC}_{\text{gewasrest}} = 0,30.$$

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

$$\text{EOS}_{\text{gewasrestbouwland}} = ((\text{SO} \times (\text{Aan7}_{\text{maïslan}}) \times \text{OS/N}_{\text{teeltmaïs}} \times \text{HC}_{\text{gewasrest}}) + ((\text{BO}-\text{SO}) \times \text{EOS}_{\text{gewasrest_niet_maïslan}}))/\text{BO} \text{ met}$$

SO = oppervlakte maïslan, Aan7_{maïslan} = 15, OS/N_{teeltmaïs} = kg OS per kg maïs-N, HC_{gewasrest} = 0,30, BO = oppervlakte bouwland, en EOS_{gewasrest_niet_maïslan} = de areaalgewogen EOS bijdragen van de niet-maïs bouwlandgewassen en hun eventueel achtergelaten bijproducten (Tabel 2.5.8).

Bij de toevoegingen van effectieve organische stof in de vorm van beweidings- en maaiverliezen op grasland (EOSAan6_{grasland}), oogstverliezen op maïslan (EOS_{maïslandoogstverlies}), gewasresten op grasland (EOSAan7_{grasland}) en gewasresten op bouwland (EOS_{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:

$$\text{EOSAan8} = ((\text{SO} \times \text{FV} \times \text{Aan8}_{\text{maïslan}} \times \text{OS/N}_{\text{vanggewas}} \times \text{HC}_{\text{versgewas}}) + ((\text{BO}-\text{SO}) \times \text{FG} \times \text{EOS}_{\text{groenbemester}}))/\text{BO}, \text{ met}$$

SO = oppervlakte maïslan, FV = fractie van het maïslan ingezaaid met een vanggewas, Aan8_{maïslan} = 40 kg N per ha, OS/N_{vanggewas} = 45, HC_{versgewas} = 0,25, BO = oppervlakte bouwland, FG = fractie van het niet-maïs bouwland waarop een groenbemester is ingezaaid, EOS_{groenbemester} = 1000 kg per ha (Tabel 2.5.8).

Tabel 2.5.7 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-, maa- en oogstverliezen		X
	EOSAan7	Gewasresten		X
	EOSAan8	Vanggewassen en groenbemesters		X

Tabel 2.5.8 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%.

2.5.3 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.
- Door het zelf produceren van energie op het melkveebedrijf via zonnepanelen, windmolens en/of mestvergisting kan de CO₂ emissie als gevolg van direct energiegebruik fors afnemen. Zeker bij windmolens en mestvergistingsinstallaties kan sprake zijn van een netto productie van energie in plaats van gebruik. De huidige registratie in de KringloopWijzer houdt nog geen rekening met de productie van duurzame energie op het melkveebedrijf en/of de aankoop van duurzame energie. Er wordt nog gewerkt aan een praktisch toepasbare registratie om het effect van duurzame energieproductie en -gebruik op de CO₂ emissie in beeld te brengen.
- 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

- 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, 2016. Aanvullende gegevens agrarische ondernemer. <http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest-en-grond/mest/administratie-en-registratie/aanvullende-gegevens-landbouwer>.
- Bouwman, A.F., 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems* 46 (1): 53-70.
- 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.
- CBGV, 2016. www.bemestingsadvies.nl.
- 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.
- CVB, 2010. Tabellenboek Veevoeding 2010. Voedernormen landbouwhuisdieren en voederwaarde veevoerders. CVB-reeks nr. 49. Productschap Veevoerders, Den Haag.
- CVB, 2011. Feed Table 2011 volgens <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>.
- De Haan, J.J. & W. van Geel, 2013. Kiezen uit Gehalten III, data base PPO. PPO-AGV Lelystad; <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/adviesbasis-voor-de-bemesting-van-akkerbouwgewassen-mineralengehalten>.
- 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.
- 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.
- Evers, A., B. Bosma, J. Heeres, H. Luesink, E. Schuiling & I. Vermeij, 2011. Update kengetallen voor WUM. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 276.
- 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.
- 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>.

- IPCC, 2015. Fifth Assessment Report. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf.
- Jensen, T.K. & G. Kongshaug, 2003. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production. Proceedings No 509, International Fertiliser Society, York, United Kingdom, 28 pp.
- Kemme, P., G. Smolders & J. van der Klis, 2005a. Schatting van de uitscheiding van N en P door paarden en pony's en ezels. Rapport 05/101614, ASG, Wageningen UR.
- Kemme, P., J. Heeres-van der Tol, G. Smolders, H. Valk & J. van der Klis, 2005b. Schatting van de uitscheiding van N en P door diverse categoriën graasdieren. Rapport 05/100653, ASG, Wageningen UR.
- 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.
- Moerkerken, A., T. Gerlagh, G. de Jong & D. Verhoog, 2011. Energie- en klimaatmonitor Agrosectoren 2011. Utrecht: Agentschap NL.
- Mosquera, J. & A. Hol, 2012. Emissiefactoren methaan, lachgas en PM_{2,5} voor stalsystemen, inclusief toelichting. Wageningen UR Livestock Research rapport 496.
- 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.
- 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 bemestingniveaus. 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.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. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report (in voorbereiding).
- 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.
- Zeeman, G., 1994. Methane production and emission in storages for animal manure. Fertilizer Research 37, 207-211.

Bijlage 1 Acronymenlijst

Indeling naar thema

Algemene bedrijfsaspecten

N:	Stikstof
P:	Fosfor
NO ₃ :	Nitraat
N ₂ O	Lachgas
PO ₄ :	Fosfaat
NO _x :	Stikstofoxide
CO ₂ :	Kooldioxyde
CH ₄ :	Methaan
NH ₃ :	Ammoniak
NH ₄ :	Ammonium
EF:	Emissiefactor, %
TO:	Totale bedrijfsoppervlakte, ha
GO:	Totale oppervlakte grasland, ha
BO:	Totale oppervlakte bouwland inclusief snijmaïs, ha
SO	oppervlakte snijmaïs, ha
ORO	oppervlakte overige akkerbouwmatige ruwvoerders
AMO	oppervlakte akkerbouwgewassen voor de markt, niet ruwvoer, ha
WGO:	oppervlakte grasland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha
WBO:	oppervlakte bouwland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha
ESG	verschil in stalmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw
ESB	verschil in stalmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw
EKG	verschil in kunstmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw
EKB	verschil in kunstmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw
Factor_aankoop_mutatie	verhouding tussen BEX-gebaseerde P-opname en P-opname volgens opgave
BEX_Popn_gksm_mlk	P opname melkvee uit graskuil en snijmaïs
BEX_Popn_gksm_ovg	P opname overige graasdieren uit graskuil en snijmaïs
Voorraad_Pverbr_gksm	P-verbruik berekend uit opgegeven voorraden (begin + aanleg – eind)
PcVoerververliesRuwvoer	percentage vervoederingsverlies van ruwvoer

Dier

NEB:	Negatieve Energie Balans
FPCM:	Voor vet- en eiwitgehalte gecorrigeerde melkproductie
GEW:	Levend Gewicht
DS:	Droge Stof
RE:	Ruw Eiwit
VRE:	Verteerbaar Ruw Eiwit
VEM:	Voedereenheden Melk
RAS:	Ruw As
VC:	Verteringscoëfficiënt, g/g
TKT:	Tussen Kalf Tijd

Organische stof

EOS	kg effectieve organische stof (OS), de organische stof die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg (E)OS per ha
HC	humificatiecoëfficiënt, fractie van organische stof (OS) die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg OS per kg OS
OS/N	kg N per kg OS
EOSAan1	EOS in de vorm van weidemest, kg OS/ha
EOSAan2	EOS in de vorm van stalmest (inclusief voerrest), kg OS/ha
EOSAan6	EOS in de vorm van beweidings- en maaiverliezen, kg OS/ha
EOSAan7	EOS in de vorm van gewasresten, kg OS/ha
EOSAan8	EOS in de vorm van vanggewassen en groenbemesters, kg OS/ha
HC _{mest}	HC van mest
HC _{versgewas}	HC van vers gewas w.o. ook de voerresten
HC _{gewasresten}	HC van gewasresten
OS/N _{mest}	OS/N van mest
OS/N _{voerrest}	OS/N van voerresten (w.o. ruwvoer, bijproducten en krachtvoer)
EOSAan2 _{pure_mest}	Effectieve organische stof in de vorm van voerrest-loze mest
EOSAan2 _{voerrest}	Effectieve organische stof in de vorm van de voerrest
OS/N _{teeltgras}	OS/N in beweidings- en maaiverliezen
OS/N _{teeltmaïs}	OS/N in oogstverliezen bij maïs
FV:	Fractie van maïsland (SO) waarop vanggewas is ingezaaid (ha)
FG:	Fractie van niet-maïsland (BO – SO) waarop groenbemester is ingezaaid (ha)

Bodemstikstof

N:	Stikstof
P:	Fosfor
NO ₃ :	Nitraat
Af1 _{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
Ninp(cr):	Gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg
Ninp(pt):	Product van de hectares veengrond op het bedrijf en een standaardveenmineralisatie, kg

Ammoniak

NH ₃ :	Ammoniak
NH ₄ :	Ammonium
NEMA:	Nationaal Emissie Model voor Ammoniak
TAN:	Totaal Ammoniakale Stikstof
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 beweid gras, kg N per ha grasland
Afn _{grasland} :	Afvoerterm n op de N-balans van grasland, kg N per ha
Afn _{maïs} :	Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met maïsland, kg N per ha
Afn _{marktakkerbouw} :	Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha
Afn _{overigruwvoer} :	Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met overige ruwvoergewassen, kg N per ha
<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 gesommeerd methaan emissie voor de diverse rantsoencomponenten (CH ₄ _voer) en een correctie voor de dagelijkse drogestofopname (CH ₄ _EFcorOpname)
CH ₄ _EFcorOpname	kg methaan emissie waarmee de emissie t.g.v. de emissie van de diverse rantsoencomponenten vermeerderd of verminderd moet worden op basis van een van een normniveau afwijkende DS opname
CH ₄ _EFrantsoen	basale methaanemissie (CH ₄ _EFbasis) gecorrigeerd voor kalveraandeel in totale melkvee-GVE som
CH ₄ _voer	kg methaan emissie gesommeerd voor de diverse rantsoencomponenten
CH ₄ Mest:	Gesommeerde emissie van methaan uit mestopslagen volgens systeem S voor diercategorie T, kg CH ₄
CNBn:	N gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers

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

Vaststelling van 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 snijmais in rantsoen (%) en ruw eiwit aandeel in DS (Re, g per kg DS) (zie paragraaf 2.5.2.1), en de emissie (CO₂-equivalenten per kg DS) van aangevoerde voedermiddelen (inclusief transport) (zie paragraaf 2.5.2.4).

Naam	Voer-soort ¹	VC_re ²	g CO ₂ -eq/kg ds ³	EF CH ₄	EF CH ₄	EF CH ₄
				Bij 0% sm	Bij 40% sm	Bij 80% sm
				g/kg ds	g/kg ds	g/kg ds
Graskuil	GK	- ⁴	138	- ⁴	- ⁴	- ⁴
Grashooi	GK	- ⁴	421	- ⁴	- ⁴	- ⁴
Gras kunstmatig gedroogd	GK	- ⁴	1746	- ⁴	- ⁴	- ⁴
Weiden	VG	- ⁴	17	19.20	19.20	19.20
Zomerstalvoeren	VG	- ⁴	17	23.30	23.30	23.30
Snijmais kuil	SM	- ⁴	23	- ⁴	- ⁴	- ⁴
Snijmais kunstmatig gedroogd	SM	- ⁴	1166	- ⁴	- ⁴	- ⁴
Mengvoer	KV	- ⁴	927	- ⁴	- ⁴	- ⁴
Aardappelchips	KV	0.82	468	12.07	12.26	11.38
Aardappeleiwit	KV	0.87	1853	16.43	14.76	14.04
Aardappelen gedroogd	KV	0.81	433	22.74	21.51	20.49
Aardappelvezel	KV	0.77	479	21.65	21.22	20.45
Aardappelzetmeel gedroogd	KV	0.93	879	23.98	22.33	20.16
Bataten gedroogd	KV	0.81	2078	24.55	23.57	22.13
Bierbostel gedroogd	KV	0.62	405	16.74	16.43	16.27
Biergist gedroogd	KV	0.73	435	19.75	18.63	18.60
Bietenpulp	KV	0.80	334	25.76	25.80	28.31
Bonen (Phas) verhit	KV	0.83	1078	21.29	20.87	21.38
Broodmeel	KV	0.86	113	22.97	23.54	23.20
Caseine	KV	0.91	4568	18.27	16.67	16.77
Citruspulp	KV	0.80	678	26.98	26.43	28.00
Erwten droog	KV	0.88	1312	22.84	21.99	22.13
Fytase	KV	0.75	5009	0.00	0.00	0.00
Gerst	KV	0.83	500	22.80	22.07	20.74
Gersteslijpmeel	KV	0.69	406	19.66	19.19	18.72
Gerstevoermeel	KV	0.63	412	19.11	18.64	18.08
Gierst/Millet	KV	0.78	2365	20.89	18.74	17.26
Grasmeel	KV	0.64	1939	20.12	19.94	20.66
Graszaad	KV	0.57	2416	22.29	21.50	19.92
Grondnoot niet ontdopt	KV	0.77	1418	8.42	9.13	11.51
Grondnoot ontdopt	KV	0.91	1903	3.59	4.02	5.60
Grondnootschilfers ged ontdopt	KV	0.78	599	17.63	17.72	20.03
Grondnootschilfers niet ontdopt	KV	0.74	555	14.06	14.70	17.20
Grondnootschilfers ontdopt	KV	0.80	599	18.05	17.96	20.11
Grondnootschroot ged ontdopt	KV	0.76	480	17.80	17.96	20.33
Grondnootschroot ontdopt	KV	0.80	491	21.00	20.85	23.26
Haver	KV	0.75	602	19.66	19.78	19.76
Haver gepeld	KV	0.88	790	21.08	20.80	20.42
Havermoutafvalmeel	KV	0.51	280	17.26	17.81	18.05
Havervoermeel	KV	0.73	532	18.92	19.22	19.35
Hennepzaad	KV	0.59	7375	9.88	9.96	11.33
Johannesbrood	KV	0.71	645	27.20	26.05	26.35
Kalksteentjes	KV	0.75	29	0.00	0.00	0.00
Katoenzaad niet ontdopt	KV	0.65	1283	17.78	16.84	16.91
Katoenzaad ontdopt	KV	0.80	1862	10.38	10.09	11.31

Naam	Voer- soort ¹	VC_re ²	g CO ₂ -eq/kg ds ³	EF CH ₄	EF CH ₄	EF CH ₄
				Bij 0% sm g/kg ds	Bij 40% sm g/kg ds	Bij 80% sm g/kg ds
Katoenzaadschilfers ged ontdopt	KV	0.65	1072	15.89	15.94	17.40
Katoenzaadschilfers niet ontdopt	KV	0.63	865	15.81	16.03	17.58
Katoenzaadschilfers ontdopt	KV	0.69	1328	13.94	13.96	15.36
Katoenzaadschroot ged ontdopt	KV	0.63	921	17.51	17.69	19.87
Katoenzaadschroot niet ontdopt	KV	0.62	799	17.95	18.18	20.35
Katoenzaadschroot ontdopt	KV	0.67	1170	17.36	17.40	19.51
Kokosschilfers	KV	0.76	889	18.71	19.08	20.92
Kokosschroot	KV	0.74	878	20.80	21.18	23.22
Krijt	KV	0.75	29	0.00	0.00	0.00
Lijnzaad (vlas)	KV	0.79	2210	8.56	9.00	10.72
Lijnzaadschilfers	KV	0.73	1751	18.44	18.58	21.03
Lijnzaadschroot	KV	0.72	1519	20.63	20.65	23.16
Linzen	KV	0.85	2222	22.26	20.90	19.81
Lupinen	KV	0.88	1620	21.36	20.98	22.70
Luzerne meel	KV	0.58	1356	20.04	20.23	21.65
Magnesiumoxide	KV	0.75	1070	0.00	0.00	0.00
Mais korrel droog	KV	0.88	681	21.16	19.69	17.83
Mais ontsloten	KV	0.88	641	22.65	22.91	21.17
Maisglutenmeel	KV	0.92	1068	16.64	15.22	13.34
Maisglutenvoer	KV	0.77	1797	20.34	19.76	19.37
Maiskiemschroot	KV	0.80	282	21.07	21.53	23.70
Maiskiemzemelschilfers	KV	0.81	328	20.17	19.83	20.06
Maiskiemzemelschroot	KV	0.81	278	21.20	21.54	23.47
Maisspoeling gedroogd	KV	0.77	267	19.43	20.05	22.87
Maisvoermeel	KV	0.87	705	21.91	20.56	18.70
Maisvoerschroot	KV	0.86	698	22.39	21.43	20.54
Maiszemelgrint	KV	0.77	1014	22.14	21.43	20.54
Maiszetmeel	KV	0.96	940	23.92	21.99	22.72
Monocalciumfosfaat	KV	0.75	4909	0.00	0.00	0.00
Moutkiemen	KV	0.66	9	21.58	20.74	21.47
Natrium-bicarbonaat	KV	0.75	1060	0.00	0.00	0.00
Nigerzaad	KV	0.72	5554	7.59	7.26	7.65
Paardebonen bontbl	KV	0.87	818	21.99	21.60	22.89
Paardebonen witbl	KV	0.87	842	21.92	21.44	22.58
Palmpitschilfers	KV	0.72	542	16.87	17.38	18.58
Palmpitschroot	KV	0.71	509	19.72	20.85	23.51
Palmpitten	KV	0.84	2056	2.67	3.57	4.40
Premix	KV	0.75	5009	0.00	0.00	0.00
Raapschroot	KV	0.71	579	18.88	19.36	22.70
Raapzaad onbehandeld	KV	0.80	1341	4.88	5.68	7.91
Raapzaadschilfers	KV	0.72	646	17.48	17.90	20.94
Raapzaadschroot	KV	0.69	572	20.59	20.49	21.35
Rijst met dop	KV	0.71	1634	18.77	18.10	16.97
Rijst ontdopt	KV	0.90	2081	22.73	21.29	19.68
Rijstafvallen	KV	0.35	297	11.99	12.41	12.18
Rijstevoerschroot	KV	0.62	437	15.95	15.64	15.05
Rijstvoermeel	KV	0.71	436	13.32	12.95	12.25
Rogge	KV	0.86	613	23.72	23.32	22.90
Roggegries	KV	0.74	524	20.05	20.44	22.07
Saffloerzaad	KV	0.44	2211	7.71	8.91	11.64
Sesamzaad	KV	0.78	3344	6.61	6.68	7.85
Sesamzaadschilfers	KV	0.73	1218	15.43	14.99	16.20
Sesamzaadschroot	KV	0.76	1009	21.54	20.67	21.88
Soja eiwit concentraat	KV	0.00	1536	0.00	0.00	0.00
Sojabonen niet verhit	KV	0.83	1066	15.31	15.26	17.50
Sojabonen schillen	KV	0.79	550	23.34	22.95	23.56
Sojabonen verhit	KV	0.83	1071	15.07	15.03	17.33
Sojaschilfers	KV	0.85	909	18.43	18.15	20.32
Sojaschroot Mervobest	KV	0.84	930	21.91	20.67	20.25

Naam	Voer- soort ¹	VC_re ²	g CO ₂ -eq/kg ds ³	EF CH ₄	EF CH ₄	EF CH ₄
				Bij 0% sm	Bij 40% sm	Bij 80% sm
				g/kg ds	g/kg ds	g/kg ds
Sojaschroot ontdopt	KV	0.84	921	21.11	20.50	22.36
Sorghum milocom	KV	0.83	769	21.24	19.76	17.86
Sorghumglutenmeel	KV	0.86	682	18.30	17.29	16.17
Suiker	KV	1.00	1118	34.09	31.06	28.52
Tapioca	KV	0.79	1012	23.90	23.14	21.96
Tapiocazetmeel	KV	0.94	1215	24.92	23.43	20.86
Tarwe	KV	0.87	479	23.35	22.97	22.52
Tarweglutenmeel	KV	0.95	3023	17.00	15.74	16.21
Tarweglutenvoer gedroogd	KV	0.74	618	20.76	20.35	19.75
Tarwegries	KV	0.69	286	20.41	20.58	22.01
Tarwekiemen	KV	0.80	858	19.93	19.91	21.10
Tarwevoerbloem	KV	0.84	287	21.93	21.79	22.10
Tarwevoermeel	KV	0.73	287	20.86	20.92	22.08
Tarwezemelgrint	KV	0.65	440	20.23	20.30	21.74
Triticale	KV	0.88	752	23.65	23.29	23.09
Ureum	KV	0.75	1636	0.00	0.00	0.00
Vet dierlijk	KV	0.90	819	-11.73	-10.94	-11.19
Vet/olie plantaardig	KV	0.95	1592	-11.75	-10.95	-11.21
Witlof pulp gedroogd	KV	0.77	528	25.01	25.19	27.86
Zeezand gedroogd	KV	0.75	60	0.00	0.00	0.00
Zonnebl.zaad ged ontdopt	KV	0.71	1844	7.14	7.99	10.14
Zonnebl.zaad niet ontdopt	KV	0.55	1793	4.62	5.57	7.02
Zonnebl.zaad ontdopt	KV	0.82	2420	6.47	6.66	8.26
Zonnebl.zaadschilfers ged ontdopt	KV	0.58	1002	14.01	14.61	17.13
Zonnebl.zaadschilfers niet ontdopt	KV	0.43	909	9.78	10.68	12.61
Zonnebl.zaadschilfers ontdopt	KV	0.70	1081	16.71	17.10	19.88
Zonnebl.zaadschroot	KV	0.63	872	17.94	18.39	21.22
Zout	KV	0.75	190	0.00	0.00	0.00
Kunstmelk	MP	0.55	3255	26.66	26.45	26.96
Melkpoeder mager	MP	0.87	8196	25.63	28.84	30.11
Melkpoeder vol	MP	0.89	7332	16.52	15.24	14.53
Weipoeder (droog)	MP	0.86	667	29.64	27.83	27.95
Weipoeder (nat 60%)	MP	0.86	85	29.64	27.83	27.95
Weipoeder (nat 30%)	MP	0.86	10	29.64	27.83	27.95
Weipoeder (nat 6%)	MP	0.86	1	29.64	27.83	27.95
Weipoeder delac (droog)	MP	0.74	967	22.77	21.77	22.77
Weipoeder delac (nat 60%)	MP	0.74	85	29.64	27.83	27.95
Weipoeder delac (nat 30%)	MP	0.74	10	29.64	27.83	27.95
Weipoeder delac (nat 6%)	MP	0.74	1	29.64	27.83	27.95
Kaaswei	MP	0.84	0	26.71	26.61	30.03
Aardappeldiksap	OV	0.63	36	20.06	21.72	26.74
Aardappelpersvezels	OV	0.81	7	24.04	24.31	26.04
Aardappelschillen	OV	0.78	2	19.43	19.43	19.43
Aardappelsnippers	OV	0.86	2	22.22	21.17	20.50
Aardappelstoomschillen	OV	0.83	1	23.24	24.90	28.08
Aardappelzetmeel nat	OV	0.87	3	22.60	21.33	19.85
Aardappelzetmeel niet ontsloten	OV	0.91	5	22.93	21.36	19.18
Andijvie	OV	0.72	1	20.00	20.00	20.00
Appelen	OV	0.86	2	20.00	20.00	20.00
Augurk	OV	0.72	0	20.00	20.00	20.00
Bierbostel	OV	0.61	2	15.69	15.50	15.50
Bietenblad	OV	0.49	2	20.00	20.00	20.00
Bietenblad met kop	OV	0.65	2	20.00	20.00	20.00
Bietenperspulp	OV	0.81	3	24.62	24.53	26.17
Bietenstaartjes	OV	0.62	19	20.00	20.00	20.00
Bonenstro (Vicia)	OV	0.48	209	17.00	17.00	17.00
Bonenstro (Phas)	OV	0.54	105	17.00	17.00	17.00
CCM deel spil	OV	0.84	180	19.51	19.51	19.51
CCM met spil	OV	0.83	138	19.70	19.70	19.70

Naam	Voer- soort ¹	VC_re ²	g CO ₂ -eq/kg ds ³	EF CH ₄	EF CH ₄	EF CH ₄
				Bij 0% sm g/kg ds	Bij 40% sm g/kg ds	Bij 80% sm g/kg ds
CCM zonder spil	OV	0.85	204	19.54	19.54	19.54
Erwtstro	OV	0.44	317	17.00	17.00	17.00
Gerstestro	OV	0.43	266	17.00	17.00	17.00
GPS-granen	OV	0.62	38	20.00	20.00	20.00
Graanspoeling (DDG)	OV	0.00	1	17.62	17.62	17.62
Graszaadhooi	OV	0.50	108	17.00	17.00	17.00
Haverstro	OV	0.46	287	17.00	17.00	17.00
Klaver rode hooi	OV	0.53	286	19.53	19.48	20.99
Klaver rode kuil	OV	0.56	65	19.53	19.48	20.99
Klaver rode kunstmatig gedroogd	OV	0.58	1099	19.53	19.48	20.99
Klaver rode stro	OV	0.39	286	19.53	19.48	20.99
Komkommer	OV	0.72	1	20.00	20.00	20.00
Kool (bladkool)	OV	0.71	1	20.00	20.00	20.00
Kool (bloemkool)	OV	0.78	1	20.00	20.00	20.00
Kool (mergkool)	OV	0.72	7	20.00	20.00	20.00
Kool (rood/wit/sav.)	OV	0.79	1	20.00	20.00	20.00
Kool (spruitkool)	OV	0.81	2	20.00	20.00	20.00
Koolrapen	OV	0.77	10	20.00	20.00	20.00
Kroten rode biet	OV	0.80	1	20.00	20.00	20.00
Luzerne hooi	OV	0.55	426	19.53	19.48	20.99
Luzerne kuil	OV	0.55	100	19.53	19.48	20.99
Luzerne kunstmatig gedroogd	OV	0.57	1284	19.53	19.48	20.99
Maiskolvensilage	OV	0.82	89	20.51	20.51	20.51
Maisstro	OV	0.23	135	17.00	17.00	17.00
Maisweekwater	OV	0.74	774	21.99	23.32	28.47
Melasse suikerbiet	OV	0.83	129	30.01	28.71	30.70
Melasse suikerriet	OV	0.70	259	29.80	22.07	21.16
Paprika	OV	0.67	1	20.00	20.00	20.00
Peren	OV	0.85	2	20.00	20.00	20.00
Prei	OV	0.75	1	20.00	20.00	20.00
Roggestro	OV	0.43	348	17.00	17.00	17.00
Sla	OV	0.70	1	20.00	20.00	20.00
Snijgraan kuil	OV	0.59	26	19.53	19.48	20.99
Spinazie	OV	0.70	1	20.00	20.00	20.00
Spruiten	OV	0.74	2	20.00	20.00	20.00
Suikerbieten	OV	0.73	24	25.00	25.00	25.00
Tarwestro	OV	0.38	233	17.00	17.00	17.00
Tomaten	OV	0.74	1	20.00	20.00	20.00
Uien	OV	0.78	1	20.00	20.00	20.00
Veldbonen (Vicia)	OV	0.59	351	21.40	21.40	21.40
Vinasse suikerbiet	OV	0.69	275	21.76	22.80	27.02
Voederbieten	OV	0.75	13	25.00	25.00	25.00
Voederbieten gereinigd	OV	0.82	15	25.00	25.00	25.00
Voeraardappelen	OV	0.80	73	19.95	19.95	19.95
Witlof loof	OV	0.38	2	20.00	20.00	20.00
Witlof persulp	OV	0.76	2	24.79	24.49	25.73
Witlofwortel getrokken schoon	OV	0.78	1	20.00	20.00	20.00
Witlofwortel getrokken vuil	OV	0.71	1	20.00	20.00	20.00
Witlofwortel niet getrokken	OV	0.83	2	20.00	20.00	20.00
Wortelen/ Winterpeen	OV	0.81	1	20.00	20.00	20.00
Wortelstoomschillen	OV	0.78	1	24.67	23.93	24.65

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

² CVB 2004, CVB 2006, CVB 2011 en <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>

³ Feedprint versie 2015.03 (Vellinga *et al.*, 2013)

⁴ worden berekend; zie hoofdstekst

Bijlage 3 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 e.a., 2016) is gebleken dat rantsoendifferentiatie naar het aandeel snijmaissilage 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 snijmaissilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen, zijn er EF-lijsten afgeleid voor rantsoenen met verschillende aandelen snijmais (0%, 40% en 80%) in het ruwvoerdeel van het rantsoen. Een goede schatting van de enterische methaanemissie voor ieder melkveerantsoen met een aandeel snijmais tussen de 0% en 80% kan gebeuren via interpolatie met de 3 EF-lijsten voor de rantsoenen met 0%, 40% en 80% snijmais 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 snijmaissilage 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
- % snijmaissilage uitrekenen = $100 * (\text{kg DS snijmaissilage} / \text{SOM kg ds uit ruwvoerders})$

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

- Dit gebeurt op basis van interpolatie (Tabel B3.1). Er zijn 3 EF-lijsten beschikbaar nl voor 0%, 40% en 80% snijmaissilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen.
- Indien het berekende %snijmaissilage tussen 0%-40% ligt dan interpoleren met de EF-lijsten 0% en 40%
- Indien het berekende %snijmaissilage tussen 40%-80% dan interpoleren met de EF-lijsten 40% en 80%

Tabel B3.1 Voorbeeldberekening bedrijfsspecifieke methaan emissiefactor (EFbs in g CH₄/kg DS).

Deel snijmaissilage	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 snijmaisaandeel 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: $EF_{opn} = X + (0,21 * (voeropname (kg DS) - 18,5))$ 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 snijmaissilage) 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 snijmaissilage **verschillen van de voorgestelde rekenregels in Wageningen Livestock Research rapport 976 (Šebek e.a. 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 e.a. (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 e.a., 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% snijmaissilage 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 e.a., 2014) is de regressieformule voor EF40% gecorrigeerd naar EF0% en EF80%.

Stap 5:

Graskuil (g CH₄ / kg DS):

$$\text{EF0\%} = -0,0209 * \text{re (g/kg DS)} + 25,208$$

$$\text{EF40\%} = -0,0217 * \text{re (g/kg DS)} + 26,153$$

$$\text{EF80\%} = -0,0225 * \text{re (g/kg DS)} + 27,098$$

Snijmaiskuil

De methaanemissie van een gemiddelde maiskuil daalt met 0,5 g methaan/kg DS snijmais per 10 g stijging van het zetmeelgehalte, ofwel met 0,8 g methaan/kg DS snijmais per 10 g daling in NDF gehalte. Deze verschillen zijn gebaseerd op een reeks snijmaiskuil met een DS-gehalte van 28%, 32% en 40% en laten zich dan ook doorvertalen naar het droge stofgehalte in de snijmaiskuil. 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 snijmaiskuil.

In de centrale databank van de KLV zijn het zetmeelgehalte, het NDF-gehalte en het DS-gehalte van snijmaissilage 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% snijmaissilage in het ruwvoerdeel van het rantsoen (EF40%). Op basis van de gerapporteerde verschillen in EF voor snijmaissilage in rantsoenen met EF0%, EF40% en EF80% (Šebek e.a., 2014) is de regressieformule voor EF40% gecorrigeerd naar EF0% en EF80%.

Stap 6:

Maiskuil (g CH₄/kg DS):

$$\text{EF0\%} = 0,7568 * \text{re (g/kg DS)} + 38,323$$

$$\text{EF40\%} = 0,7115 * \text{re (g/kg DS)} + 36,031$$

$$\text{EF80\%} = 0,6662 * \text{re (g/kg DS)} + 32,739$$

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 (% snijmais 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 e.a., 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 vooralsnog op een andere manier rekening gehouden met het effect van de grondstoffensamenstelling van mengvoerders op de berekende enterische methaanemissie. Op basis van een uitgebreide dataset met verschillende mengvoerdersamenstellingen is een regressieformule afgeleid (zie hoofdstuk 4) 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 KLV gebruikt:

Stap 8:

Mengvoerders (g CH₄/kg DS):

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

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

EF80% = $27,36 - 0,0433 \cdot re + 0,000067 \cdot re^2$ (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 e.a. (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 = $\frac{1}{3} \cdot \text{EF per GVE melkvee}$

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

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-790

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-790

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.