

# Integrale evaluatie van klimaatmaatregelen in melkveehouderij

Methodologie rapportage



*Blonk Consultants ondersteunt bedrijfsleven, overheden en maatschappelijke organisaties in hun streven naar duurzaamheid. Door gedegen, onafhankelijk onderzoek geven we helder en toegesneden advies. De aanpak van Blonk Consultants kenmerkt zich door gedrevenheid van de medewerkers, betrokkenheid met het onderwerp en de opdrachtgever en een helder praktisch resultaat.*

**Titel** Integrale evaluatie van klimaatmaatregelen in melkveehouderij  
**Datum** 12-12-2019  
**Plaats** Gouda, NL  
**Auteurs** Janjoris van Diepen  
Nicolo Braconi  
Hans Blonk

# Integrale evaluatie van klimaatmaatregelen in melkveehouderij

Methodologie rapportage

# Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	1
1.1	Methodologie aanpak.....	1
2.	Preselectie maatregelen.....	2
2.1	Omschrijving maatregelen.....	2
2.2	Vervolg selectie maatregelen .....	4
3.	Methodologie.....	5
3.1	Milieu impact categorieën.....	5
3.2	Scope .....	6
3.3	Referentiesystemen.....	7
3.4	Modellering .....	8
3.5	Tools .....	8
	Referenties.....	9
Appendix 1.	Preselectie klimaatmaatregelen .....	10

# 1. Inleiding

De Nederlandse melkveehouderij is qua klimaatimpact de grootste agrarische sector. Niet alleen de methaanemissie vanwege pensfermentatie is belangrijk maar ook andere emissies van vooral overige broeikasgassen op de boerderij en in de aanvoerketen van voer en kunstmest tellen mee. In de afgelopen periode rondom het opstellen van het klimaatakkoord is er een scala aan maatregelen geïdentificeerd die een verlagend effect hebben op de klimaatimpact op de boerderij (De Vries et al., 2018). Hoe deze maatregelen integraal doorwerken naar andere milieuaspecten op de boerderij en in de keten is alleen op hoofdlijnen kwalitatief beoordeeld.

Eerder heeft RVO een model laten maken waarmee trendstudies en scenarioanalyses gemaakt kunnen worden voor meerdere milieueffecten. Met internationale partners is dit model doorontwikkeld tot een integraal LCA-model en kunnen nu voor een set van 16 milieueffecten de impact van maatregelen worden beoordeeld. Echter het effect van maatregelen op de kringlopen voor stikstof (N) en fosfor (P) kan nog niet worden bepaald.

Het eerder ontwikkelde instrumentarium kan worden gebruikt voor de toetsing van een pakket aan maatregelen die bedacht zijn om de klimaatimpact te reduceren. Naast de LCA-parameters kan het model worden gebruikt en doorontwikkeld om ook de effecten op N en P- kringlopen integraal te kunnen beoordelen.

Dit project heeft ten doel:

- Het doorrekenen van het beoogde pakket aan maatregelen ter reductie van de broeikasgasemissie in de melkveehouderij
- De impact van deze maatregelen ook te toetsen op de gevolgen voor andere thema's, zoals stikstof en fosfor.

En indien mogelijk een beknopte beschouwing over de economische consequenties.

## 1.1 Methodologie aanpak

In deze rapportage omschrijven we de methodologische aanpak voor het project. In eerste instantie is een preselectie gemaakt van te evalueren maatregelen. Vervolgens wordt de methode omschreven hoe deze maatregelen geëvalueerd zullen worden.

De Vries et al. onderscheidt 5 typen maatregelen:

1. Maatregelen gericht op efficiëntie (voeromzetting en teelt voergewassen)
2. Maatregelen gericht op ingrijpen emissievorming
3. Maatregelen om gassen af te vangen
4. Maatregelen die koolstofvastlegging bevorderen
5. Structurele maatregelen (natte veehouderij etc, natuur, verplaatsing)

In dit project focussen we op de eerste 3 maatregelen. In hoofdstuk 2 wordt een verdere selectie gemaakt van maatregelen die zullen worden beoordeeld in het project.

Om de effecten van klimaatmaatregelen op de N en P-footprint en LCA-impacts te beoordelen is het nodig om de specifieke scope van het geanalyseerde systeem en verschillende referentiesituaties nader te definiëren. Het onderscheid in verschillende referenties is naar verwachting belangrijk voor de impactbeoordeling van de verschillende maatregelen. Op basis van het type maatregelen dat gekozen is in hoofdstuk 2, is nagedacht over goede referentiesystemen om deze te kunnen kwantificeren en eventueel verschillen tussen deze systemen duidelijk te kunnen maken. De omschrijving van de scope en de verschillende referentiesystemen staat beschreven in hoofdstuk 3.

## 2. Preselectie maatregelen

In dit project focussen we op maatregelen gericht op efficiëntie (voeromzetting en teelt voergewassen), maatregelen gericht op ingrijpen emissievorming en maatregelen om gassen af te vangen. Maatregelen die koolstofvastlegging bevorderen zijn nog moeilijk te kwantificeren aangezien er nog geen overeenstemming is over de methodologie. Ook structurele maatregelen (zoals natte veehouderij etc, natuur, verplaatsing) zijn niet meegenomen in de beoordeling aangezien deze maatregelen lokaal gedefinieerd en beoordeeld moeten worden. Wij focussen op de melkveehouderij in de breedte.

Vervolgens is de lijst van maatregelen beoordeeld op een aantal aspecten om tot een preselectie van +/- 10 maatregelen te komen die kunnen worden meegenomen in dit project.

De volgende aspecten zijn beoordeeld om tot een preselectie te komen:

- Inschatting CO<sub>2</sub>-reductie (gram CO<sub>2</sub>/ kg melk)
- Inschatting effect op stikstof emissies/ kg melk
- Inschatting effect op fosfaat emissies/ kg melk
- Kwantificeerbaarheid
- Uitvoerbaarheid/ kosten

De beoordeling van deze aspecten is gedaan op basis van tabel 2 en bijlage 1 uit KlimaatSlimme melkveehouderij (De Vries et al., 2018) en eigen expert judgement. De volledige lijst van maatregelen en de beoordeling zijn te vinden in Bijlage 1.

De lijst van maatregelen is vervolgens verder uitgewerkt. Hierbij is een maatregel soms verder opgesplitst omdat in deze maatregelen in werkelijkheid meerdere maatregelen samengevoegd waren. Het resultaat is te vinden in onderstaande tabel.

Type maatregel	Gericht op	Maatregel
1. Efficiëntie verhogen	Nutriënten	Bemesting efficiëntie
2. Emissie verminderen (bron)	Bodem	Nitrificatieremmers
3. Emissie verminderen (bron)	Mest	Primaire mestscheiding
4. Emissie verminderen (bron)	Mest	Frequente afvoer
5. Emissie verminderen (bron)	Mest	Drijfmest beluchten
6. Emissie verminderen (bron)	Mest	Aanzuren mest
7. Emissie verminderen (bron)	Vee	Additieven voor voer
8. Emissie verminderen (end-of-pipe)	Mest	Vergisting
9. Emissie verminderen (end-of-pipe)	Mest	Gesloten opvang + oxidatie

Tabel 1 Preselectie van te beoordelen maatregelen in project

Sommige van deze maatregelen zullen nog opgesplitst worden in verschillende scenario's die worden doorgerekend. Zie ook de toelichting in de volgende paragraaf.

### 2.1 Omschrijving maatregelen

Voor iedere maatregel wordt hieronder kort omschreven welke bronnen zullen worden gebruikt voor het kwantificeren van LCA-impacts en stikstof en fosfaat emissies. Ook is een eerste indicatie gegeven van reductie van emissies per maatregel.

## 1. Bemesting efficiëntie

Omschrijving: door het verbeteren van de bemestingsefficiëntie (bijv. door beter af te stemmen op specifieke perceelbehoefte) is minder kunstmest nodig, en daarmee minder emissies door productie en aanwending van kunstmest.

Bronnen: eerst inventariseren bij FrieslandCampina of primaire data van boeren gebruikt kan worden om variatie en correlatie te bepalen anders literatuur

## 2. Nutrificatieremmers

Omschrijving: Nutrificatieremmers remmen de omzetting van ammonium naar nitraat, en voorkomen daarmee de emissies van lachgas. Er zijn drie groepen nutrificatieremmers die in de praktijk gebruikt worden: pyridines (nitrapyrin), dicyaandiamide (DCD) en pyrazolen (DMPP). Er is 50-70% reductie van lachgasemissie op het land mogelijk.

Bronnen: *Nitrificatieremmers in de Nederlandse landbouw: potentiële vermindering van lachgasemissie* (Kuikman, Schils, & et. al., 2016). De LCA-informatie van productie van zuren halen we uit literatuur of LCA-databases.

## 3. Primaire mestscheiding

Omschrijving: Drijfmest bestaat voor een groot deel (circa 90%) uit water en een klein deel uit organisch en anorganisch materiaal. Het doel van mestscheiding is om het vaste materiaal en de vloeistof te scheiden in een dikke en een dunne fractie. De mate waarin deze scheiding wordt gerealiseerd is sterk afhankelijk van de chemische en fysische eigenschappen van de ruwe mest en de toegepaste scheidingstechniek. De dikke fractie van de mest bevat vooral organisch gebonden N en fosfaat en de dunne fractie de minerale stikstof. Uit de gescheiden fracties komt een factor 9 minder methaan vrij tijdens opslag dan uit de ruwe drijfmest.

Bronnen: Belangrijkste bron is *Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding* (Groenestein et al., 2010). We benaderen ook fabrikanten van mestscheidingsinstallaties (o.a. Inno plus) om verdere details van mestscheiding en energiegebruik bij scheiding op te halen.

## 4. Frequente afvoer

Omschrijving: De tijd van mestopslag is van grote invloed op de hoeveelheid methaanemissie. Door meer frequente afvoer, wordt deze significant gereduceerd. Er zullen enkele scenario's worden doorgerekend met verschillende frequenties van afvoer.

Bronnen: Startpunt is het model *Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest* (de Mol & Hilhorst, 2003), *Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure fugitive methane emissions* (Massé, Jarret, Hassanat, Benchaar, & Saady, 2016). Verdere LCA-data over afvoer (transport) wordt uit Blonk database gehaald.

## 5. Drijfmest beluchten

Omschrijving: De mest wordt belucht door omgevingslucht door de mestkelder te blazen. Hierbij dalen de methaan emissies maar stijgen de lachgas en vooral ammoniakemissies. Er is een reductie van 57% van methaanemissies mogelijk.

Bronnen: *Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment* (Amon, Kryvoruchko, Amon, & Zechmeister-Boltenstern, 2006),

## 6. Aanzuren mest

Omschrijving: Het aanzuren van mest vóór opslag NH<sub>3</sub> vermindert emissies, maar waarnemingen hebben aangetoond dat CH<sub>4</sub> emissies ook worden verminderd. Door toediening van zuur in de mestopslag is een methaanreductie van 63% en ammoniakreductie van 94% mogelijk. De resultaten tussen verschillende zuren zijn vergelijkbaar. Voor dit project wordt één scenario doorgerekend voor het aanzuren van mest voor opslag.

Bronnen: *Effects of cattle slurry acidification on Ammonia and methane evolution during storage* (Petersen, Andersen, & Eriksen, 2012). De LCA-informatie van productie van zuren halen we uit literatuur of LCA-databases

## 7. Additieven voor voer

Omschrijving: Toevoeging van additieven aan het rantsoen kan enterische methaanemissies reduceren en/of de voederconversie verhogen. We zullen in het project additieven gericht op beide effecten analyseren:

- 8a. additieven gericht op verbeteren van FCR
- 8b. additieven gericht op verlagen van enterische emissies

Bronnen: We gebruiken voornamelijk primaire data van producenten van additieven. N.B: de claims van de producenten zullen uitgangspunt zijn voor de analyse maar toetsing van de claims zelf is geen onderdeel van dit project.

## 8. Vergisting

Omschrijving: Mono-vergisting (alleen mest) en co-vergisting (mest samen met ander organisch materiaal) leiden tot minder (m.n.) methaanemissie doordat mest direct uit de stallen wordt verwijderd, en er wordt gebruik van fossiel gas vermeden door de productie van biogas. Voor de milieu impact is het van belang hoeveel co-vergisting er plaatsvindt en welke feedstock wordt gebruikt voor co-vergisting. Er zullen in dit project een aantal vergistingsscenario's worden doorgerekend met verschillende % van co-vergisting en ook verschillende % van de mest die vergist wordt. Hierbij is te denken aan:

- |  |   |                              |
|--|---|------------------------------|
| - Mono-vergisting                      | } | - 10% van mest wordt vergist |
| - 50% co-vergisting met voedergewassen |   | - 50% van mest wordt vergist |
| - 50% co-vergisting met reststromen    |   |                              |

De precieze scenario's worden in een later stadium vastgesteld op basis van beschikbare bronnen.

Bronnen: We zullen onder andere gebruikmaken van *Broeikasgasmodule BBPR* (Schils RHM et al., 2006), *Mestvergisting op boerderijschaal* (Thijmensen, 2002), *Nut en risico's van covergisting* (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). *LCA-data van productie en aanvoer co-vergisting materialen en voor (vermeden) productie van energieproducten komen uit Blonk database.*

## 9. Gesloten opslag

Omschrijving: De geproduceerde mest zo snel mogelijk in een gesloten opslag brengen zodat de methaanproductie pas goed op gang komt als de mest al in de gesloten opslag is. Vervolgens (methaan)gassen afvangen en verbranden. Er is tot 62% reductie van methaan uit mest.

Bronnen: *Methaanemissies op het melkveebedrijf* (Bannink, 2014), *Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry* (Clemens, Trimborn, Weiland, & Amon, 2006).

## 2.2 Vervolg selectie maatregelen

In het vervolgtraject zullen deze maatregelen getoetst worden bij verschillende stakeholders. Wellicht dat bij dit proces ook nog nieuwe maatregelen geïdentificeerd worden.



### 3. Methodologie

Voor de analyse van milieueffecten wordt de Levenscyclusanalyse (LCA) methode toegepast in dit project. Dit is een internationaal erkende methode om de milieu-impact van een product te analyseren. Een LCA laat zien waar en welke milieu-impact plaatsvindt in de keten. Met een LCA kun je meerdere milieu-indicatoren in beeld brengen zoals landgebruik, ecotoxiciteit, en vele anderen.

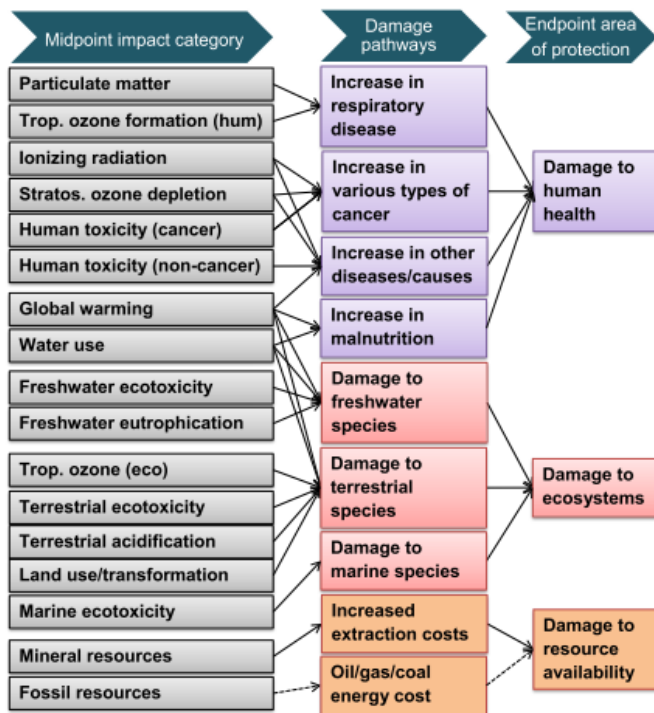


Figuur 1. Levenscyclusanalyse methode

#### 3.1 Milieu impact categorieën

Voor het bepalen van de milieu impacts worden de midpoint impact categorieën van de ReCiPe impact assessment methode gebruikt (Huijbregts et al., 2016). ReCiPe omvat de milieu-indicatoren zoals weergegeven in figuur 2.

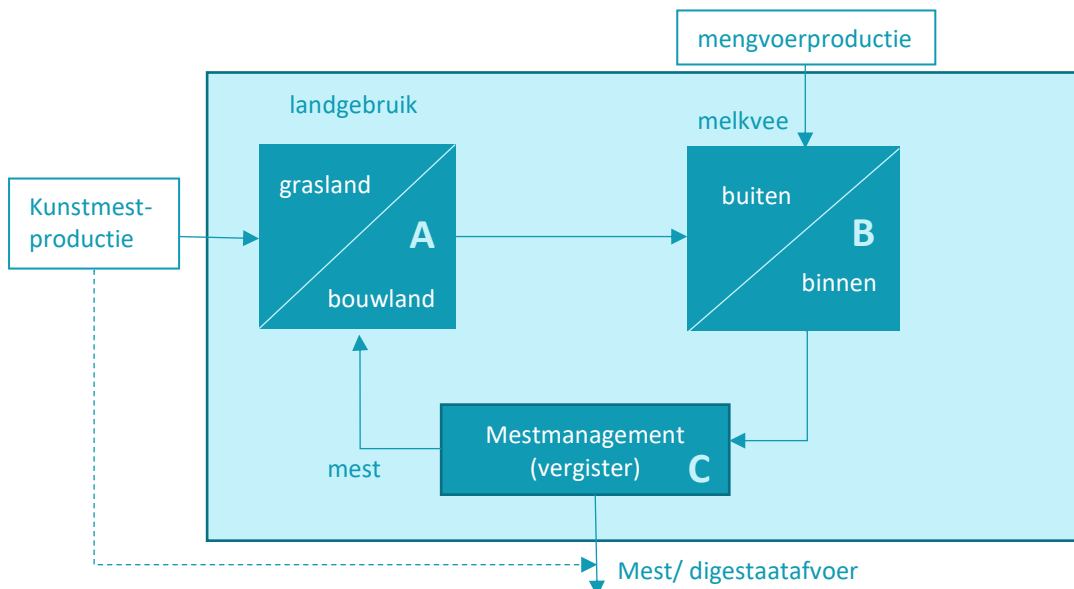
Echter voor de milieu-indicator 'Global warming' wordt de methodiek uit de NIR (Ruysenaars et al., 2019) gebruikt aangezien de GHG factoren afwijken van ReCiPe.



Figuur 2. Overzicht van de ReCiPe impact categorieën

### 3.2 Scope

De functionele eenheid van de analyse is 1 kg melk. De systeemgrenzen van de analyse is van cradle-to-farm gate. Hierbij worden dus de emissie meegenomen van de teelt van voedergewassen, transport, verwerking in de veevoederproducent, productie van kunstmest en emissies op de boerderij.



Figuur 3. Schematisch model van melkveehouderij systeem

In figuur 1 is een schematisch overzicht weergegeven van een melkveehouderij systeem. Belangrijke inputs en outputs van het systeem voor het bepalen van de milieu impact zijn:

- Hoeveelheid en samenstelling kunstmest

- Hoeveelheid en samenstelling mengvoer
- Hoeveelheid en samenstelling mest/digestaat dat de boerderij verlaat

Tevens wordt in dit project gekeken naar eventueel vermeden emissies ten gevolge van outputs van het systeem zoals:

- Vermeden verbanden van fossiel gas t.g.v. biogas (uit een vergister)
- Vermeden productie van kunstmest t.g.v. productie van mest/digestaat

### Rapportage

In de rapportage zal er een onderscheid gemaakt worden, waar in het systeem de emissies plaatsvinden. Voor minimaal de ammoniak, fosfaat en GHG-emissies wordt een opsplitsing gemaakt naar emissies binnen Nederland en de emissies in het buitenland.

## 3.3 Referentiesystemen

Om de effecten van de geselecteerde klimaatmaatregelen op de N en P-footprint en LCA-impacts te beoordelen is het nodig verschillende referentiesituaties te definiëren. De maatregelen kunnen namelijk verschillende effecten hebben afhankelijk van het specifieke melkveehouderij systeem. Op basis van het type maatregelen dat gekozen is in hoofdstuk 2, is nagedacht over goede referentiesystemen om deze te kunnen kwantificeren en eventueel verschillen tussen deze systemen duidelijk te kunnen maken.

### Maatregelen gericht op vee en bodem

Voor de maatregelen gericht op het vee en de bodem (maatregel nummer 1, 2 en 7 uit tabel 1) zullen verschillende effecten hebben afhankelijk van het gekozen referentiesysteem. Voor het bepalen van referentiesystemen is gebruik gemaakt van *Kosteneffectiviteit reductiemaatregelen emissie broeikasgassen zuivel* (Pol-dasselaar et al., 2013). Hierbij is onderscheid gemaakt in vier groepen op basis van grondsoort en de mate van intensiteit (kg melk per hectare voedergewas): veengrond, extensief, gemiddeld en intensief landgebruik. Hierbij zijn gegevens gebruikt van melkveebedrijven uit het Bedrijven-Informatienet die voldoen aan het criterium gespecialiseerde melkveebedrijven.

Aangezien bij onze selectie van maatregelen niet specifiek een ander effect wordt verwacht op veengronden, wordt deze niet als apart referentiesysteem meegenomen. De volgende referentiesystemen zijn dan gedefinieerd voor het huidige project:

- Extensief (<12.500 kg meet melk per ha)
- Gemiddeld (12.500 – 16.000 kg meet melk per ha)
- Intensief (>16.000 kg meet melk per ha)

Deze referentiesystemen zullen in grote mate de parameters bepalen zoals weergegeven in figuur 1:

- Verhouding tussen grasland en mais (**A**)
- Verhouding tussen tijd binnen en buiten de stal (**B**)

En de inputs en outputs van het systeem:

- Meer dierlijke mest per ha → minder kunstmest
- Minder eigen gras en/of mais → meer en andere (meng)voer
- Meer mestproductie → meer mest dat de boerderij verlaat
- Minder buiten grazen → invloed op emissies uit mest

## Maatregelen gericht op mestmanagement

Voor het berekenen van de effecten van maatregelen gericht op mestmanagement (**C**) wordt uitgegaan van een baseline scenario en wordt geanalyseerd welke effecten de maatregelen hebben ten opzichte van het baseline scenario.

Als referentiesysteem gebruiken we een baseline mestmanagement scenario gebaseerd op mestgebruik gegevens van de Koeien-en-Kansen-bedrijven in 1999 en 2000 (de Mol & Hilhorst, 2003). Hierbij bestaat een weideperiode vanaf mei tot en met oktober (6 maanden). In de weideperiode gaat 50% van de mest naar de kelder. De niet-weidemest gaat altijd eerst naar de kelder (inhoud 400 m<sup>3</sup>). Als de kelder vol is, wordt de mest overgepompt naar de silo. Bij het uitrijden van mest wordt eerst mest uit de kelder gehaald, alleen als kelder bijna leeg wordt mest uit de silo gehaald

## 3.4 Modelling

Over het algemeen wordt voor emissies op de boerderij de emissiefactoren uit de NIR (Ruysenaars et al., 2019) toegepast. Ook voor de teelt van gewassen op de eigen boerderij.

De emissiefactoren voor mestmanagement van NIR/IPCC zijn minder geschikt voor het berekenen van verschillende interventies op de mest aangezien dit is gebaseerd op een 'statisch' model met een vaste verblijfstijd van de mest in de kelder. Er is een meer geavanceerd model nodig. Voor emissieberekeningen van mestmanagement gebruiken we het 'dynamisch model' uit (de Mol & Hilhorst, 2003). De mestkelder is een zogeheten accumulatiesysteem: er is een constante voeding van mest naar de 'reactor' (= kelder) en het mestvolume in de kelder neemt toe. De methaanemissie in dergelijke systemen hangt af van de verblijfsduur en de inoculatie.

## 3.5 Tools

Voor het uitvoeren van de analyses heeft Blonk Consultants verschillende tools tot zijn beschikking die zullen worden toegepast in dit project.

1. Animal Production System (APS) footprint tool is een compleet ingericht LCA-model dat gebruikt kan worden voor het monitoren van dierlijke productieketens en het onderzoeken van het effect van innovaties in die ketens. De tool is modulair opgebouwd op basis van diertype en productieschakels. Voor de melkveehouderij is de tool gereed. De achtergronddata voor voeders en voedergrondstoffen (Agri-footprint, Feedprint, GFLI) zijn gekoppeld aan de tool.
2. Het Nitrogen en Phosphate footprint model. Dit is een Excel model dat het mogelijk maakt om interventies in het dierlijk productiesysteem waaronder zuivel te beoordelen op N en P-efficiency en een set van LCA-impacts gerelateerd aan N en P.

Daarnaast zullen we wellicht voor specifieke interventies, die niet of moeilijk te modelleren zijn in onze bestaande tools, een Excel model ontwikkelen.

# Referenties

- [Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., & Zechmeister-Boltenstern, S. \(2006\). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. \*Agriculture, Ecosystems and Environment\*, 112\(2–3\), 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.030>](#)
- [Bannink, A. \(2014\). \*Methaanemissie op het melkveebedrijf\*.](#)
- [Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P., & Amon, B. \(2006\). Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. \*Agriculture, Ecosystems and Environment\*, 112\(2–3\), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.016>](#)
- [Commissie Deskundigen Meststoffenwet. \(2015\). Nut en risico's van covergisting. \*WOT-Technical Report 32\*.](#)
- [de Mol, R. M., & Hilhorst, M. a. \(2003\). \*Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest. Business\*.](#)
- [De Vries, M., Hoving, I., Van Middelkoop, J., Ten Napel, J., Van Der Weide, R., Verhagen, J., & Vellinga, T. \(2018\). \*Klimaatlimme melkveehouderij: Een routekaart voor implementatie van mitigatie-en adaptatiemaatregelen\*. <https://doi.org/10.18174/463803>](#)
- [Groenestein, K., Mosquera, J., Schils, R., Hoeksma, P., Velthof, G., & Hummelink, E. \(2010\). Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding, \(December\), 47.](#)
- [Huijbregts, M., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., ... Zelm, R. Van. \(2016\). \*ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization\*.](#)
- [Kuikman, P., Schils, R. ., & et. al. \(2016\). \*Nitrificatieeremmers in de Nederlandse Landbouw\*.](#)
- [Massé, D. I., Jarret, G., Hassanat, F., Benchaar, C., & Saady, N. M. C. \(2016\). Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure fugitive methane emissions. \*Agriculture, Ecosystems and Environment\*, 221, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.018>](#)
- [Petersen, S. O., Andersen, A. J., & Eriksen, J. \(2012\). Effects of cattle slurry acidification on Ammonia: And methane evolution during storage. \*Journal of Environmental Quality\*, 41\(1\), 88–94. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0184>](#)
- [Pol-dasselaar, A. Van Den, Blonk, H., Dolman, M., Evers, A., Haan, M. De, Reijs, J., ... Wemmenhove, H. \(2013\). \*Kosteneffectiviteit reductiemaatregelen emissie broeikasgassen zuivel. Lelystad\*.](#)
- [Ruysenaars, P. G., Coenen, P. W. H. G., Zijlema, P. J., Arets, E. J. M. M., Baas, K., Dröge, R., ... van Zanten, M. C. \(2019\). \*Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990 - 2017 National Inventory Report 2019\*. Bilthoven, the Netherlands. <https://doi.org/10.1002/9781119040934.ch16>](#)
- [Schils RHM, Oudendag DA, Van der Hoek KW, De Boer JA, Evers AG, & De Haan MA. \(2006\). \*Broeikasgasmodule BBPR\*.](#)
- [Thijmensen, M. J. A. \(2002\). \*Mestvergisting op boerderijschaal in bestaande opslagssystemen\*.](#)

## Appendix 1. Preselectie klimaatmaatregelen

Type maatregel	Gericht op	Maatregel	Inschatting CO <sub>2</sub> -reductie (gram CO <sub>2</sub> / kg melk)			Inschatting effect op stikstof emissies/ kg melk	Inschatting effect op fosfaat emissies/ kg melk	Kwantificeerbaarheid	Uitvoerbaarheid/ kosten
			min.	max.	gem.				
Efficiëntie verhogen									
	Vee	Hogere melkproductie per koe (+500-1000 kg melk/koe)	33	55	44	+	+	++	+
	Vee	Levensduur verlenging (per jaar extra levensduur)	10	20	15	+	+	++	+
	Vee	Verbetering diergezondheid			24	+	+	++	+
	Nutriënten	Grasklaver			20	+	+	?	0/-
	Nutriënten	Bemesting efficiëntie			31	++	+	+	+
	Nutriënten	Voorjaarsmeststof (>ammoniumstikstof en <nitraatstikstof)			6	-	0	?	-
	Nutriënten	Korte periode mest uitrijden	2	8	5	+	+	?	-
	Nutriënten	Opbrengstverhoging ruwvoerproductie (+1000 kg DS/ha)			2	-		+	+
	Nutriënten	Verbeteren ruwvoer conservering	2	14	8	+	+	+	0/-
	Energie	Energie besparen (gas, elektriciteit, diesel)			19	0	0	+	+
Emissie verminderen (bron)	Vee	Rantsoenaanpassing: verhouding eiwit/energie			3	+	0	+	+
	Vee	Rantsoenaanpassing: hoger vetgehalte			9	0	0	+	+

	Vee	Rantsoenaanpassing: additieven	32	48	40	0	0	+	-
	Vee	Fokkerij: genetische selectie			?	?	?	?	
	Mest	Primaire mestscheiding, frequente afvoer, gesloten opslag, afvangen gassen	50	150	100	++	0	+	0/-
	Mest	Koudeopslag mest			?	+	0	?	-
	Mest	Aanzuren mest	20	50	35	?+	0	?	-
	Bodem	Nitrificatieremmers	30	60	45	?	0	?	-
	Bodem	Onderwaterdrainage veen/ peilverhoging	100	167	133.5	+	0	+	--
	Energie	Zon - en windenergie			48	+	0	+	+
Emissie verminderen (end-of-pipe)	Mest	Vergisting	100	130	115	+	?	+	--
	Mest	Methaanoxidatie (62% reductie van methaan uit mest)			?	0	0	?	-



FR  
25 2447  
2210

FR  
25 2447  
2233

FR  
25 2447  
2240

FR  
25 2447  
2240