

Integrale evaluatie van klimaatmaatregelen in de Nederlandse melkveehouderij

Milieu-impact analyse volgens de LCA-methodologie



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 de Nederlandse melkveehouderij
Datum 11-5-2021
Plaats Gouda, NL
Auteurs Janjoris van Diepen
Nicoló Braconi
Hans Blonk

Integrale evaluatie van klimaatmaatregelen in de Nederlandse melkveehouderij

Milieu-impact analyse volgens de LCA-methodologie

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	1
2.	Methodologie.....	2
2.1	De LCA-methode.....	2
2.2	Functionele eenheid.....	2
2.3	Systeemgrenzen.....	2
2.4	Emissie berekeningen.....	3
2.5	Allocatie.....	5
2.6	Referentiesystemen.....	5
2.7	Milieu-impact categorieën.....	6
2.8	Beperkingen.....	7
3.	Omschrijving maatregelen.....	8
3.1	Voeradditieven ter verbetering van voederconversie.....	8
3.2	Voeradditieven gericht op verlagen van enterische emissies.....	8
3.3	Nitrificatieremmers.....	8
3.4	Aanzuren mest.....	9
3.5	Frequente afvoer.....	10
3.6	Primaire mestscheiding.....	10
3.7	Drijfmest beluchten.....	11
3.8	Gesloten opslag.....	11
3.9	Vergisting.....	12
3.10	Bemesting efficiëntie.....	12
4.	Resultaten.....	13
4.1	Interpretatie.....	13
4.2	Combinatie van maatregelen.....	14
4.3	Stikstof efficiency.....	19
4.4	Verschillen tussen referentiesystemen.....	21
5.	Conclusies & aanbevelingen.....	22
	Referenties.....	23
	Bijlage 1 Selectie klimaatmaatregelen.....	25
	Werkgroep bijeenkomst.....	27
	Definitieve maatregelen lijst.....	27
	Bijlage 2 Milieu-impact referentiesystemen.....	28
	Bijlage 3 Milieu-impact maatregelen.....	30
	1. Voeradditieven ter verbetering van voederconversie.....	31
	2. Voeradditieven gericht op verlagen van enterische emissies.....	33
	3. Nitrificatieremmers.....	35

4.	Aanzuren mest	37
5.	Frequente afvoer	39
6.	Primaire mestscheiding.....	41
7.	Drijfmest beluchten	43
8.	Gesloten opslag.....	45
9.	Vergisting	47
10.	Bemesting efficiëntie	49

1. Inleiding

De Nederlandse melkveehouderij is qua klimaatimpact op nationaal en ketenniveau de grootste agrarische sector in Nederland (Blonk, 2017). 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 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 (M. 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 milieu-indicatoren (Kool, Kuling, & Blonk, 2018). Dit model is doorontwikkeld tot een integrale LCA- tool voor dierlijke productie en kan nu voor een set van 16 milieu-indicatoren de impact van maatregelen berekenen. In dit project wordt deze tool gebruikt voor de toetsing van een pakket aan maatregelen die bedacht zijn om de klimaatimpact te reduceren.

De doelstellingen van dit project zijn:

- 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 milieuthema's, zoals die gerelateerd aan de stikstof- en fosforstromen.

Voor dit project is een werkgroep samengesteld bestaande uit verschillende stakeholders. Met de werkgroep is een lijst samengesteld zoals weergegeven in tabel 1 van relevante klimaatmaatregelen die is meegenomen voor analyse in deze studie. Zie *Bijlage 1 Selectie klimaatmaatregelen* voor meer informatie over het proces van selectie van maatregelen.

Tabel 1 Klimaatmaatregelen die in deze studie zijn meegenomen ter analyse van milieu-impact

Maatregel	Type maatregel
1. Voeradditieven (gericht op prestatieverbetering)	Efficiëntie verhogen
2. Voer additieven (gericht op reductie van enterische emissies)	Emissie verminderen (bron)
3. Nitrificatieremmers	Emissie verminderen (bron)
4. Aanzuren mest	Emissie verminderen (bron)
5. Frequente afvoer	Emissie verminderen (bron)
6. Primaire mestscheiding	Emissie verminderen (bron)
7. Drijfmest beluchten	Emissie verminderen (bron)
8. Gesloten opvang + oxidatie	Emissie verminderen (end-of-pipe)
9. Vergisting	Emissie verminderen (end-of-pipe)
10. Bemesting efficiëntie	Efficiëntie verhogen

Op basis van gesprekken met de werkgroep en literatuuronderzoek zijn de effecten van deze maatregelen in kaart gebracht. De milieu-impact van deze effecten is vervolgens gemodelleerd en worden in deze rapportage gepresenteerd.

Hoofdstuk 2 beschrijft de toegepaste methodologie voor het bepalen van de milieu-impact. Hoofdstuk 3 beschrijft de geselecteerde maatregelen en effecten. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de analyse en hoofdstuk 5 benoemt de belangrijkste conclusies. In bijlage 3 is een compleet overzicht gegeven van de milieu-impact resultaten van de verschillende maatregelen.

2. Methodologie

Om de effecten van klimaatmaatregelen op verschillende milieu-impacts te beoordelen is het nodig om de specifieke scope van het geanalyseerde systeem en een referentiesituatie te definiëren. De omschrijving van de scope en het referentiesysteem wordt verder beschreven in dit hoofdstuk. Allereerst wordt een korte introductie gegeven van de toegepaste methodologie.

2.1 De LCA-methode

In dit project is de levenscyclusanalyse (LCA) methodologie toegepast. LCA is een methode voor het evalueren en kwantificeren van de milieu-impact van een product of dienst. Vaak wordt LCA toegepast op productniveau maar LCA kan ook toegepast worden op een groter of kleiner deelsysteem. Daarbij wordt elke individuele fase van de levenscyclus meegenomen. We kunnen hiermee diverse milieu-indicatoren berekenen, bijvoorbeeld uitstoot van broeikasgassen, waterverbruik en uitputting van fossiele bronnen. De resultaten van een LCA geven inzicht in de milieu-impact van een productiesysteem en kunnen gebruikt worden om dat systeem te verbeteren.

ISO standaarden 14040 en ISO 14044 (ISO, 2006a, 2006b) zijn het vertrekpunt voor het uitvoeren van een LCA. Daarnaast is de Europese standaard voor het uitvoeren van een LCA van een dairy product, de PEFCR Dairy (European Commission, 2018a), zoveel mogelijk gevolgd.

Belangrijk is dat het systeem en de functionaliteit van dat systeem eenduidig is gedefinieerd. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

2.2 Functionele eenheid

De functionele eenheid is de gekwantificeerde functionaliteit ofwel prestatie van een product en zijn productiesysteem. Om de functionele eenheid te standaardiseren wordt er over het algemeen een gestandaardiseerde referentiehoeveelheid gedefinieerd zoals die op een bepaalde plaats beschikbaar is. Voor melkveehouderij is de meest toegepaste functionele eenheid 1 liter vet en eiwit gecorrigeerde melk af boerderij, oftewel 1 kg FPCM.

2.3 Systeemgrenzen

De systeemgrenzen van de analyse zijn van cradle-to-farm gate. Dit betekent dat alle activiteiten met betrekking tot het voeren, telen en huisvesten van melkvee en het oogsten van de dierlijke producten op de boerderij in scope zijn. Het melkveehouderij systeem is een gemengd gewas-veeteeltsysteem waarbij de productie van een deel van het diervoeder op het bedrijf plaatsvindt. Met name ruwvoer wordt grotendeels bemest met mest afkomstig van de stal (na eventuele opslag). Eenmaal geoogst, kan ruwvoer een verwerkingsstap doorlopen op de boerderij (bijv. kuilvoerproductie) en vervolgens aan het dier worden gevoerd. Een nog kortere cyclus is weiland: dieren geven mest af op grasland en voeden zichzelf direct met vers gras.

De veestapel is gemodelleerd als een gesloten systeem in stabiele toestand, waarbij het aantal melkkoeien constant blijft en er geen aankoop van dieren plaatsvindt. In *Tabel 2* is een overzicht gegeven van de activiteiten in scope van deze studie.



Figuur 1. Levenscyclusanalyse methode

Tabel 2 Overzicht van activiteiten in scope van het melkveehouderij systeem

Activiteit	In scope	Out of scope
Teelt van voedingrediënten	<ul style="list-style-type: none"> • Brandstofverbruik • Elektriciteit verbruik • N, P, K kunstmest gebruik • Dierlijke mest • Kalkmeststoffen • Organische meststoffen • Pesticide gebruik • Irrigatiewater • Zaden • Afschrijving kapitaalgoederen • Verpakking van kunstmest en pesticiden 	<ul style="list-style-type: none"> • Andere input in teeltfase • Activiteiten in boerenwoning • Andere bedrijfsactiviteiten (zoals windenergie opwekking)
Verwerken van voedingrediënten	<ul style="list-style-type: none"> • Marktmix van landen van oorsprong • Transport (afstand en transporttype) • Brandstofverbruik • Warmte en elektriciteitsverbruik • Water verbruik • Afvalwaterzuivering • Organisch afval en verliezen • Hulpmaterialen (chemicaliën) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hulpmaterialen <1% (cumulatief) van totale massa • Inputs niet direct gebruikt voor product (bv. schoonmaakmiddelen) • Afschrijving van kapitaalgoederen
Boerderij (exclusief teelt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vervangende dieren • Voer ingrediënt • Transport van voer (afstand en type) • Brandstofverbruik • Elektriciteitsverbruik • Waterverbruik 	<ul style="list-style-type: none"> • Inputs niet direct gebruikt voor product (bv. schoonmaakmiddelen) • Afschrijving van kapitaalgoederen

Mestmanagement wordt gemodelleerd als mest vrijgekomen op stal, erf en weiland (EMEP/EEA, 2016). Na het modelleren van de emissies (en verandering van nutriëntensamenstelling) tijdens huisvesting en eventuele mestopslag, wordt verondersteld dat het gebruik van mest altijd aanwending op land is. Impact van mest die het bedrijf verlaat wordt niet meegenomen in het melkproductiesysteem maar toegerekend aan de teelt van gewassen. Emissies van mest die vrijkomt op erf of weiland worden wel meegenomen.

2.4 Emissie berekeningen

Het model voor melkveehouderij in de APS-footprint tool is gebaseerd op de emissiefactoren voor mestmanagement van NIR/IPCC. Deze zijn minder geschikt voor het berekenen van de verschillende maatregelen op de mest aangezien ze zijn 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).

We gaan uit van een weideperiode van 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 m³). 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. 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.

Voor de emissies op de boerderij is (Lagerwerf et al., 2019) gebruikt, ontwikkeld voor de National Inventory Report (NIR) (Ruyssenaars et al., 2019). Een volledig overzicht van emissiemodellering is te vinden in *Tabel 3* en *Tabel 4*.

Tabel 3 Toegepaste emissiemodellerings per type emissie ten gevolge van excretie

Type emissie	Toegepaste methodologie
N excretie	IPCC TIER 2 – massabalans met behulp van de N in voer, N in het dier en N in de melk
TAN excretie	(Lagerwerf et al., 2019) – gebaseerd op een massabalans met gebruikmaking van de verteerbaarheid van het ruwe eiwit in de ontlasting en de stikstof die wordt vastgehouden in het dier en de melk (aangenomen dat het allemaal TAN is)
Mass excretie	Massabalans inclusief voeropname, wateropname, massa lichaamsgroei, massa melk en uitgaande van 20% massaverlies door verdamping van water (zowel van koe als mest)
CH ₄ enterisch	IPCC TIER 3 zoals geïmplementeerd in (Schroder, Oenema, Conijn, & Boer, 2019)
CH ₄ mest	(de Mol & Hilhorst, 2003) – dynamisch emissie model van mest in de stal door modellering van afvoertijden en daarmee samenhangende mestophoping + een vaste emissiefactor voor opslag
Directe N ₂ O emissies in de stal	(Lagerwerf et al., 2019)
Directe N ₂ O emissies op gras- en bouwland	(Lagerwerf et al., 2019)
Indirecte N ₂ O emissies in de stal	IPCC TIER 2
Indirecte N ₂ O emissies op gras- en bouwland	IPCC TIER 2
Ammoniak in de stal	(Lagerwerf et al., 2019) – gebaseerd op Regeling ammoniak en veehouderij (RAV)
Ammoniak op gras- en bouwland	EMEP/EEA TIER 2
NO _x in de stal	(Lagerwerf et al., 2019)
NO _x op gras- en bouwland	(Lagerwerf et al., 2019)
NMVOG	EMEP/EEA TIER 1
PM 2.5	(Lagerwerf et al., 2019)
PM 10	(Lagerwerf et al., 2019)
P uitloging op gras- en bouwland	10% uitloging

Tabel 4 Toegepaste emissiemodellerings van de teelt emissies ten gevolge van mesttoediening

Type emissie	Bron	Toegepaste methodologie
Directe N ₂ O emissies	Gewasresten	(Lagerwerf et al., 2019)
	Kunstmest	IPCC 2006
	Mest	(Lagerwerf et al., 2019)
Indirecte N ₂ O emissies	Gewasresten	(Lagerwerf et al., 2019) voor uitloging en IPCC (2006) voor emissiefactor van uitloging
	Kunstmest	(Lagerwerf et al., 2019) voor uitloging en IPCC (2006) voor emissiefactor van uitloging + IPCC (2006) voor indirecte N ₂ O emissies van NH ₃ +NO vervluchtiging
	Mest	(Lagerwerf et al., 2019) voor uitloging en IPCC (2006) voor emissiefactor van uitloging + IPCC (2006) voor indirecte N ₂ O emissies van NH ₃ +NO vervluchtiging
Ammoniak	Gewasresten	(Lagerwerf et al., 2019)
	Kunstmest	(Lagerwerf et al., 2019)
	Mest	(Lagerwerf et al., 2019)
NO _x	Gewasresten	(Lagerwerf et al., 2019)
	Kunstmest	(Lagerwerf et al., 2019)
	Mest	(Lagerwerf et al., 2019)
NO ₃ ⁻	Gewasresten	(Lagerwerf et al., 2019)
	Kunstmest	(Lagerwerf et al., 2019)

	Mest	(Lagerwerf et al., 2019)
CO ₂	Lime	(Lagerwerf et al., 2019)
P	Kunstmests	10% uitloging
	Mest	10% uitloging

Emissies van achtergrondprocessen worden gehaald uit Agri-Footprint 5.0 (Blonk Consultants, 2019) en EcoInvent 3.5 (Ecoinvent, 2018).

2.5 Allocatie

Allocatie is een methode voor het oplossen van multifunctionele problemen. In het geval van de melkveehouderij systeem gaat het om het alloceren van de milieu-impact naar de producten melk, vlees en mest. Er zijn verschillende manieren van allocatie mogelijk zoals alloceren op basis van het droge stofgehalte (massa allocatie), de energie-inhoud (energie allocatie), de biofysische productie energie (biofysische allocatie) of de prijs van producten (economische allocatie). In dit project is biofysische allocatie gebruikt zoals voorgeschreven in PEFCR Dairy (European Commission, 2018a). In de achtergrond datasets zoals die van voeder ingrediënten productie is economische allocatie toegepast.

2.6 Referentiesystemen

Uitgangspunt voor de referentiesystemen is het Nederlandse melkveehouderij systeem gebruikt in de APS Footprint tool (Blonk Consultants, 2020) waarbij KWIN 2017-2018 (Wageningen UR, 2017) als basis is gebruikt.

Om de effecten van de geselecteerde klimaatmaatregelen op de LCA-impacts te beoordelen hebben we 3 verschillende referentiesituaties gedefinieerd. De maatregelen kunnen namelijk verschillende effecten hebben afhankelijk van het specifieke melkveehouderij systeem. Voor het bepalen van de 3 referentiesystemen is gebruik gemaakt van *Kosteneffectiviteit reductie maatregelen emissie broeikasgassen zuivel* (Pol-dasselaar et al., 2013). Hierbij is onderscheid gemaakt in vier groepen melkveehouderijssystemen op basis van grondsoort en de mate van intensiteit (kg melk per hectare voedergewas): veengrond, extensief, gemiddeld en intensief landgebruik. Aangezien bij onze selectie van maatregelen niet specifiek een ander effect wordt verwacht op veengronden, is deze niet als apart referentiesysteem meegenomen. De volgende 3 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)

De belangrijkste parameters van deze referentiesystemen uit (Pol-dasselaar et al., 2013) zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Kentallen van de drie gedefinieerde referentiesystemen

	Extensief	Gemiddeld	Intensief
Aantal melkkoeien	63,6	81,1	100,7
Aantal jongvee <1 jaar	23,1	30,7	38,4
Aantal jongvee >1 jaar	27,2	33,0	36,6
Oppervlak totaal (ha)	44,3	49,5	46,0
Oppervlak grasland (ha)	37,3	39,8	34,7
Oppervlak bouwland (ha)	7,0	9,6	11,3
Melkproductie totaal (kg meetmelk)	482.594	701.992	933.837
Melkproductie per koe (kg meetmelk)	7.588	8.656	9.273
Melkproductie per ha (kg meetmelk)	10.894	14.182	20.301

Voor overige parameters die zullen variëren in deze referentiesystemen maar waarvan geen informatie beschikbaar was, zijn inschattingen gemaakt (zie *Tabel 6*). De verandering van verblijftijd buiten de stal is gebaseerd op de verandering van oppervlak eigen grasland. De hoeveelheid krachtvoer is aangepast op basis van de totale hoeveelheid droge stof inname.

Tabel 6 Inschatting parameters van de drie gedefinieerde referentiesystemen

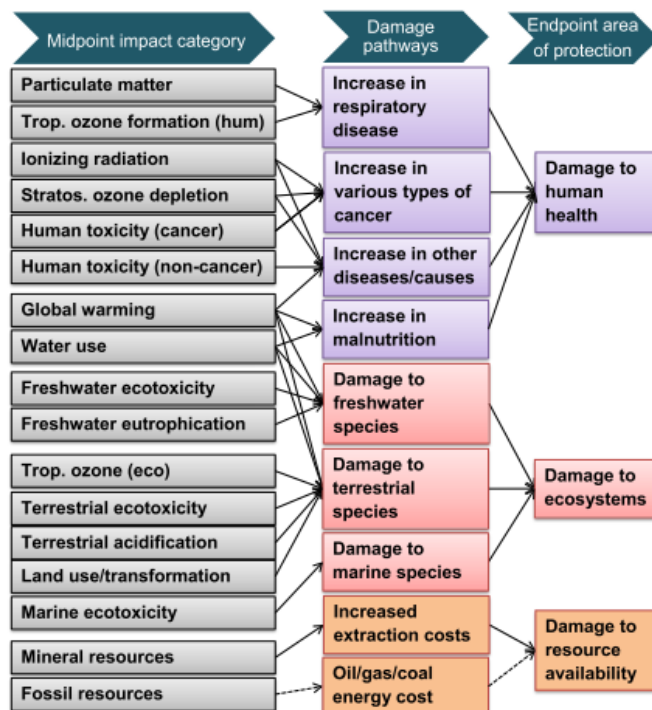
	Extensief	Gemiddeld	Intensief
Verblijftijd buiten de stal	15.4%	13.5%	10.1%
Hoeveelheid vers gras (kg DM/koe)	983	862	646
Hoeveelheid kuilgras (kg DM/koe)	3050	2676	2007
Hoeveelheid mais (kg DM/koe)	1546	1356	1017
Hoeveelheid krachtvoer (kg DM/koe)	1351	2036	3259

De *samenstelling* van het krachtvoer is niet aangepast voor de verschillende referentiesystemen omdat daarvoor geen informatie was.

Voor deze verschillende referentiesystemen is de baseline milieu-impact bepaald. Deze is weergegeven in *Bijlage 2 Milieu-impact referentiesystemen*.

2.7 Milieu-impact categorieën

In dit project worden verschillende milieu-impacts berekend. Voor het berekenen van de milieu-impacts zijn de “midpoint impact categorieën” van de ReCiPe impact assessment methode 2016 V1.04 gebruikt (Huijbregts et al., 2016). De ReCiPe methode omvat de milieu-indicatoren zoals weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Overzicht van de ReCiPe impact categorieën

Niet alle gerapporteerde ReCiPe impacts zijn even robuust. De Europese Commissie heeft een categorisering gemaakt voor de robuustheid van de verschillende impact indicatoren (JRC, 2019). Op basis van deze robuustheid en ook relevantie van milieu-indicatoren voor voedselproductie, concentreren we ons in de rapportage en interpretatie van de resultaten op de volgende indicatoren:

- Global Warming (kg CO₂-eq)

- Fine particulate matter formation (kg PM2.5-eq)
- Terrestrial acidification (kg SO₂-eq)
- Marine eutrophication (kg N-eq)
- Freshwater eutrophication (kg P-eq)
- Land use (m²a crop-eq)
- Water consumption (m³)

In *Bijlage 3 Milieu-impact maatregelen* worden alle ReCiPe milieu-impact indicatoren gerapporteerd. Specifiek voor de Global Warming impact wordt de bijdrage van CO₂, CH₄, N₂O emissies op de boerderij en Land-use-change (LUC) aan de totale Global Warming impact apart gerapporteerd.

In het presenteren van de verschillende milieu-impacts is een contributie analyse opgenomen en is onderscheid gemaakt waar in het systeem de emissies plaatsvinden:

- Boerderij emissies
- Emissies van voerproductie in Nederland
- Emissies van voerproductie in het buitenland
- Overige emissies

Onder overige emissies vallen emissie van de productie van energie, water, zaagsel voor stal en additieven die tijdens een maatregel toegepast kunnen worden. Ook de vermeden emissies van kunstmestproductie of biogasproductie vallen in deze categorie.

Op deze manier is ook inzichtelijk gemaakt of de (reductie van) emissies in Nederland of in het buitenland plaatsvinden.

Daarnaast is ook gekeken naar de stikstofefficiency van het systeem.

2.8 Beperkingen

Bij het lezen en interpreteren van de resultaten van dit rapport, moet rekening gehouden worden met de volgende beperkingen van het model en de gebruikte data:

- Voor het doorrekenen van de maatregelen is gebruik gemaakt van bestaande literatuurbronnen. Er is geen nieuw onderzoek gedaan naar de effecten van de maatregelen. De resultaten van de maatregelen die gerapporteerd zijn in de literatuurbronnen zijn als input gebruikt voor het model in deze studie. De effecten van de maatregelen die gerapporteerd worden, zijn niet geverifieerd.
- De samenstelling van het krachtvoer die gebruikt is in het referentiesysteem is gedateerd (2013). De samenstelling van krachtvoer heeft grote invloed op de totale milieu footprint en stikstofbalans. We verwachten echter dat de milieu-impact van de verschillende maatregelen die in deze studie berekend zijn, waarschijnlijk niet wezenlijk veranderen door een andere samenstelling van het krachtvoer.
- De samenstelling van het krachtvoer is gelijk voor alle referentiesystemen terwijl verwacht mag worden dat de samenstelling varieert voor het intensieve systeem en het extensieve systeem. Er was echter geen data beschikbaar van de samenstelling van het krachtvoer in de verschillende referentiesystemen.
- Deze studie is gericht op het inzichtelijk maken van de milieu-impact van bepaalde maatregelen op het Nederlandse melkveehouder systeem. Er wordt geen rekening gehouden met de variatie van emissiecijfers van de Nederlandse melkveehouderij over de jaren (Zijlstra et al., 2019).
- Het milieuvoordeel van de productie van biogas is bepaald door uit te gaan van de huidige vermeden emissies van productie en verbranding van fossiel gas. Dat is op dit moment een goede veronderstelling. Echter, wanneer fossiel gas steeds minder gebruikt gaat worden als warmtebron en vervangen wordt door biogas dan zal in de toekomst ook het milieuvoordeel kleiner worden.

3. Omschrijving maatregelen

In dit hoofdstuk worden de maatregelen en hoe deze gemodelleerd zijn verder toegelicht.

3.1 Voeradditieven ter verbetering van voederconversie

Toevoeging van additieven aan het rantsoen kan de voederconversie verbeteren. Industriepartners in het netwerk van Blonk Consultants en deelnemers aan de stakeholderbijeenkomst is gevraagd om data te leveren van effecten van additieven om deze te kunnen analyseren. Delacon, een multinational in diervoederadditieven heeft data gedeeld over hun additief Actifor. Actifor verbetert de prestaties van de melkkoeien door de melkproductie te verhogen en de samenstelling te veranderen. In het algemeen verhoogt het vet en vermindert het eiwitgehalte. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de effecten van het additief. In dit project is een Franse case als bron (AgroParisTech, 2011) gebruikt aangezien van de beschikbare literatuur de beschreven situatie het meest aansluit bij de Nederlandse situatie waarbij het melkvee een relatief hoge melkproductie heeft.

In deze studie staat het volgende effect beschreven van Actifor die het uitgangspunt vormt voor de milieuanalyse:

- Stijging van vetgehalte +1.92%
- Daling van eiwitgehalte -2.24%
- Stijging van melkproductie +4.37%

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.

Ook de milieu-impact van de productie van het additief zijn meegenomen in de analyse. Hierbij is uitgegaan van een hoeveelheid van 30 gram/koe/dag (São Paulo State University, 2018). Voor de milieu-impact van de productie van het additief is een default waarde voor additieven, mineralen en vitamines uit Agri-footprint 5.0 (Blonk Consultants, 2019) gebruikt. Uit ervaring weten we dat de impact van additieven in werkelijkheid sterk varieert. Dit is niet meegenomen in de analyse.

3.2 Voeradditieven gericht op verlagen van enterische emissies

Toevoeging van additieven aan het rantsoen kan enterische methaanemissies reduceren. Ook voor deze maatregel zijn industriepartners in het netwerk van Blonk Consultants en deelnemers aan de stakeholderbijeenkomst gevraagd om data te leveren van effecten van additieven om deze te kunnen analyseren. DSM heeft verschillende openbaar gepubliceerde en gereviewde bronnen beschikbaar over de impact van hun additief Bovaer®. Voor dit project zijn de resultaten gebruikt uit een 4-tal studies over de effecten van Bovaer® die het beste aansluiten op de Nederlandse melkveehouderij. Hierbij werden methaanreducties gevonden van 30% (Hristov et al., 2015), 26% (Melgar et al., 2020), 39% +/- 5% (Dijkstra, Bannink, France, Kebreab, & van Gastelen, 2018) en 23% en 28% (Van Wesemael et al., 2019).

Op basis hiervan is het uitgangspunt van de analyse:

- gemiddelde methaanreductie van 30% ($\pm 10\%$) voor melkvee en varzen.

In dit scenario wordt 0,006% (droge stof) Bovaer® toegevoegd aan het rantsoen. DSM heeft data beschikbaar over de milieu-impact van de productie van Bovaer® die meegenomen is in de analyse.

3.3 Nitrificatieremmers

Nitrificatieremmers toegevoegd aan (kunst)mest remmen de omzetting van ammonium naar nitraat, en voorkomen daarmee de emissies van lachgas. Er zijn drie groepen nitrificatieremmers die in de praktijk gebruikt

worden: pyridines (nitrapyrin), dicyaandiamide (DCD) en pyrazolen (DMPP). Er is 50-70% reductie van lachgasemissie op het land mogelijk (M. De Vries et al., 2018).

Er worden door kunstmest leveranciers en/of producenten nitrificatieremmers aangebracht. De boer mengt zelf niet of nauwelijks. Het gaat hier om een beperkte hoeveelheid meststoffen ten opzichte van het totaal.

Als bron voor de analyse van de milieu-impact is gebruikt *Nitrificatieremmers in de Nederlandse landbouw: potentiële vermindering van lachgasemissie* (Kuikman, Schils, & et. al., 2016). Hierin worden de volgende effecten gerapporteerd:

- Reductie van lachgas emissies uit gewasresten: 3%
- Reductie van lachgas emissies uit kunstmest toediening: 10.7%
- Reductie van lachgas emissies uit dierlijke mest toediening: 17%

De hoeveelheid toegediende werkzame stof wordt niet gerapporteerd. Hiervoor zijn we uitgegaan van 5,04 kg/ha (SKW Piesterietz, 2020). Voor de milieu-impact van de productie van het additief is een default waarde voor additieven, mineralen en vitaminen uit Agri-footprint 5.0 (Blonk Consultants, 2019) gebruikt.

3.4 Aanzuren mest

Het aanzuren van mest in de opslag vermindert NH₃ emissies en CH₄ emissies. Door het aanzuren verschuift de NH₃ + H₂O ↔ NH₄⁺ + OH⁻ balans naar rechts en vindt er minder vervluchtiging van NH₃ plaats.

Als bron is *Effects of cattle slurry acidification on Ammonia and methane evolution during storage* (Petersen, Andersen, & Eriksen, 2012) gebruikt. Hierin wordt het volgende effect gerapporteerd bij toediening van 8,7 gram kaliumsulfaat per kg dierlijke mest. In de bron worden nog effecten van verschillende zuren geanalyseerd, die resultaten zijn vergelijkbaar.

- Reductie van NH₃ emissies in de stal: 93.4%
- Reductie van CH₄ emissies in de stal: 63%

Niet alleen vindt er reductie van NH₃ emissies en CH₄ emissies plaats in de opslag. Ook bij aanwending van de mest. In (Baky, 2019) zijn in verschillende landen meerdere scenario's doorgerekend waarbij 2 – 5 kg zwavelzuur per ton mest is toegevoegd en is gekeken naar de emissie reductie op het veld:

- Reductie van NH₃ emissies op het veld: 70%
- Reductie van NO_x emissies op het veld: 70%
- Reductie van indirecte N₂O emissies op het veld: 70%

Deze emissiereductie op het veld is toegepast bij de productie van eigen gras en mais.

Daarnaast heeft de mest een hoger stikstofgehalte waardoor minder kunstmest nodig is. In het model hebben we op basis van de hogere stikstof output in de mest en de werkingscoëfficiënt van mest (RVO, 2019), een vermeden emissie van N-kunstmest productie aangenomen.

- Reductie N-kunstmest gebruik: -448 ton N per jaar

De milieu-impact van de productie van het additief om de mest aan te zuren komt uit Agri-footprint 5.0.

Leden van de werkgroep gaven aan dat de aangezuurde mest, problemen kan geven doordat het de stalinfrastructuur aantast (Van Lent, 2000). Dit effect is verder niet meegenomen in de analyse.

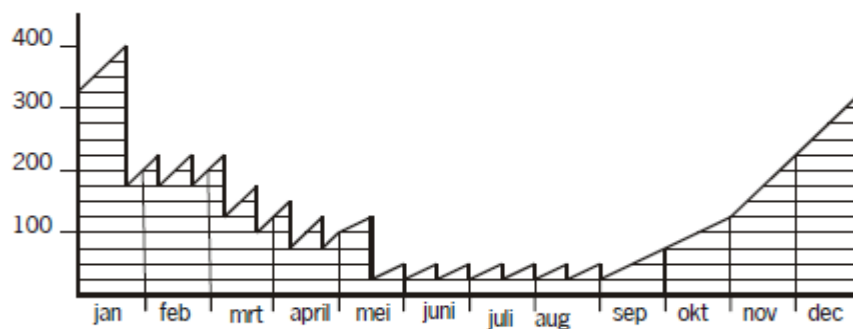
Uit onderzoek blijkt er geen effect te zijn van aangezuurde mest op de pH van de bodem. De pH van de bodem bleef bij aangezuurde mest gelijk aan die bij onbehandelde mest aangevuld met kunstmeststikstof of alleen kunstmeststikstof (Van Lent, 2000). Indien verzuring van de bodem gecompenseerd zou moeten worden door toevoegen van kalkmeststoffen, zal dit een negatieve invloed hebben op de milieu-impact (de milieu-impact zou stijgen).

Aangezien er minder stikstof emissies plaatsvinden naar de lucht, zal er in de mest meer stikstof beschikbaar komen voor de plant maar ook voor potentiële emissies naar het oppervlaktewater en grondwater via emissies bij toediening. Dit effect is echter niet verder onderzocht in deze studie.

3.5 Frequente afvoer

De verblijfstijd van mest in de opslag is van grote invloed op de hoeveelheid methaanemissie. Door meer frequente afvoer, wordt deze significant gereduceerd. Startpunt is het dynamisch model voor het berekenen van methaanemissies afhankelijk van temperatuur en verblijfstijd (de Mol & Hilhorst, 2003). Er worden in deze studie verschillende mestmanagementsystemen omschreven.

Als baseline scenario wordt ervan uitgegaan dat in de zomer meer beweiding plaatsvindt en zich dus minder mest in de mestkelder bevindt. In de winter loopt de hoeveelheid mest in de mestkelder op en vanaf het voorjaar wordt de mest regelmatig uit de mestkelder gehaald om het veld te bemesten (zie *Figuur 2*).



Figuur 2 Baseline scenario voor verblijf van mest in de mestkelder

Terwijl in het baseline scenario de mest zich in de winter laat ophopen in de mestkelder, wordt in het geïntervenieerde systeem (frequente afvoer) de mest regelmatig uit de mestkelder verwijderd en buiten opgeslagen. Dit wordt elke 25 dagen gedaan (zowel in de zomer als in de winter). De uitstoot van CH₄ emissies van de opgeslagen mest is lager dan die in de mestkelder (vanwege temperatuur en anaerobe omstandigheden). Het resultaat is een reductie van CH₄ emissies in de stal van 57%.

Het uitgangspunt voor de modellering van deze maatregel:

- Reductie van CH₄ emissies in de stal: -57%.

3.6 Primaire mestscheiding

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 stikstof 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.

Mestscheiding kan op verschillende manieren. De meest voorkomende is dat nadat de mest in de mestkelder komt, deze mechanisch wordt gescheiden. Andere manieren (bijvoorbeeld een koe toilet, stimulatie) worden onderzocht, maar worden nog niet als praktisch toepasbaar beschouwd en er zijn nog geen kwantitatieve resultaten om de milieu-impact te bepalen.

Van de dunne fractie is na toediening een lagere ammoniakemissie emissie te verwachten t.o.v. drijfmest en van dikke fracties een hogere, op basis van de N-gehalten en droge stofgehalte in de fracties en in de drijfmest. Het effect zal minimaal zijn indien beide fracties emissiearm worden toegediend. Gegevens over ammoniakemissies na toediening van gescheiden mestfracties zijn evenwel niet eenduidig. Ook wat betreft methaan en lachgas emissies zijn de literatuurgegevens niet eenduidig (Groenestein et al., 2010). Latere studies over de impact van

mestscheiding zijn gebaseerd op het varkenssysteem of geven geen gekwantificeerde CH₄ reductie (J. W. De Vries, Aarnink, Groot Koerkamp, & De Boer, 2012).

Als bron voor de modellering is (Groenestein et al., 2010) gebruikt waarbij mest wordt gescheiden in 85% 'liquid/slurry' en 15% 'solid storage' (stikstof wordt gescheiden, 92% in liquid/slurry en 8% in solid). De dunne fractie wordt op het gras toegediend en het vaste deel op het bouwland.

Het resultaat is hogere NH₃-emissies (en hogere indirecte N₂O-emissies) en lagere directe N₂O-emissies en lagere NO_x-emissies. CH₄-emissies bij opslag zijn lager, gebaseerd op (de Mol & Hilhorst, 2003). Toepassing van deze mest op gras leidt tot hogere N₂O-emissies (+72%) en toepassing op akkerland tot 0 N₂O- en NH₃-emissies. De milieu-impact van het eigen gras en mais is hierop aangepast in het model.

De energie voor scheiding is relatief laag en hebben we niet ingerekend in deze studie.

3.7 Drijfmest beluchten

De mest wordt belucht door omgevingslucht door de mestkelder te blazen. Dit gebeurt door middel van ventilatie. Dit resulteert in minder anaërobe omstandigheden, dus lagere CH₄-emissies maar veel hogere NH₃-emissies.

Als bron voor deze maatregel gebruiken we *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). Hierin worden de volgende emissies gerapporteerd als gevolg van het beluchten van de drijfmest:

- Reductie van CH₄ emissies: -57%
- Toename van NH₃ emissies: +509%

Aangezien er groter stikstofverlies is door de toename van ammoniakemissies, blijft er minder stikstof in de mest opgeslagen. Voor bemesting van het gras- en bouwland is, rekening houdend met de werking coëfficiënt van dierlijke mest van 0.45 (RVO, 2019), dan ook extra kunstmest nodig.

- Toename van N-kunstmest gebruik: 2078 kg N per jaar.

Dit vertaalt zich ook in extra emissies voor de kunstmestproductie.

Het energieverbruik van ventilatie wordt als verwaarloosbaar beschouwd.

In veel recente onderzoeken wordt overigens het omgekeerde effect onderzocht waarbij de stal ontlicht wordt met als doel het verminderen van NH₃-emissies.

3.8 Gesloten opslag

De geproduceerde mest wordt zo snel mogelijk in een gesloten opslag gebracht zodat de methaanproductie pas goed op gang komt als de mest al in de gesloten opslag is. Vervolgens kunnen de (methaan)gassen afgevangen en verbrand worden.

De belangrijkste vermindering van de impact komt door het vaker verzamelen van mest (gemodelleerd overeenkomstig met maatregel 'frequente afvoer'). Oxidatie van mest (affakkelen) kan niet alle CH₄ elimineren, aangezien in koude maanden de dichtheid in lucht zo laag is dat het affakkelen minder efficiënt wordt. 81% reductie van methaan uit opslag is gemodelleerd volgens (Wightman & Woodbury, 2016). Uitstoot van CO₂-uitstoot ten gevolge van de verbranding van methaan is als biogene koolstof (korte cyclus) beschouwd en heeft dus geen Global warming impact.

3.9 Vergisting

Mono-vergisting (alleen mest) en co-vergisting (mest samen met ander organisch materiaal) leiden tot minder (met name) methaanemissie doordat mest direct uit de stallen wordt verwijderd, en er wordt gebruik van fossiel gas vermeden door de productie van biogas.

In de gesprekken met stakeholders bleek dat in co-vergisting bijna niet meer geïnvesteerd wordt. Er is dan verder ook alleen naar mono-vergisting gekeken bij het analyseren van deze maatregel.

Als belangrijkste bron is gebruik gemaakt van (Evers, Buissonjé, Melse, Verdoes, & de Haan, 2019). Hierbij is het scenario doorgerekend waarbij de verse mest wordt vergist aangezien dit economisch de meest rendabele variant blijkt.

De verse mest wordt constant vanuit een kleine opvangput in de stal naar de vergister gepompt. Dit resulteert in veel lagere emissies in de stal (-94% ten opzichte van bijvoorbeeld -56% bij 'frequente afvoer'). In de studie wordt het geproduceerde methaan uit de vergister verbrand in een WKK om duurzame warmte en elektriciteit op te wekken. In het model dat is toegepast in de huidige studie gaan we er van uit dat het methaan direct wordt verkocht en hiermee de productie van fossiel gas wordt vermeden. Er wordt rekening gehouden met methaan lekkage in de vergister van 3% bij de biogasproductie).

- Reductie van NH₃ emissies in de stal en opslag: -11.1%
- Reductie van CH₄ emissies in de stal: -94%
- Productie biogas: 71.000 m³ CH₄ per 4319 ton mest

Door de reductie van N emissies in de stal, blijft er meer stikstof in de mest en uiteindelijk in het digestaat achter. Rekening houdend met de werkingscoëfficiënt van digestaat (RVO, 2019) is minder kunstmest nodig op het land.

- Reductie van N-kunstmest productie: -53 kg N per jaar

3.10 Bemesting efficiëntie

Door het verbeteren van de bemestingsefficiëntie (bijvoorbeeld door beter af te stemmen op specifieke perceelbehoefte) is minder kunstmest nodig, en daarmee minder emissies door productie en aanwending van kunstmest. Er is een verzoek gedaan bij ZuivelNL om data op te vragen van Nederlandse melkveehouders om deze te analyseren en iets te kunnen zeggen over de potentie van deze maatregelen. Aangezien men hier niet (binnen de projecttermijn) antwoord aan heeft kunnen geven, is op basis van beschikbare literatuur gekeken naar potentie. In (Zijlstra et al., 2019) is een overzicht gegeven van data van 11.217 Nederlandse melkveehouders uit de KringloopWijzer. Hierin staat een overzicht van prestatie indicatoren van boeren die wat betreft N-bodemoverschot 25% laagste, gemiddeld en 25% hoogste scores.

N-bodemoverschot is een goede indicatie van N-bemesting efficiëntie. Om te kijken naar de potentie van verbeteringen van bemestingsefficiëntie (en de reductie van milieu-impact) is naar het verschil gekeken in prestatie (kpi's) tussen de 25% best presterende boeren wat betreft N-bodemoverschot ten opzichte van de gemiddeld presterende boeren. Hierbij zijn de volgende parameters meegenomen:

- Organische bemesting grasland (kg N/ha) - 2,6%
- Kunstbemesting grasland (kg N/ha) - 15,7%
- Opbrengst grasland (kg DS/ha) + 11,4%
- Organische bemesting mais (kg N/ha) - 2,5%
- Kunstbemesting mais (kg N/ha) - 18,2%
- Opbrengst mais (kg DS/ha) + 7,4%

Het aandeel gras en krachtvoer verschilt nauwelijks tussen deze twee groepen. Er is aangenomen dat de hoeveelheid N in gras en krachtvoersamenstelling niet is veranderd (meestal zorgt een hogere N gehalte van het krachtvoer tot een hogere milieu-impact).

4. Resultaten

In eerste instantie worden de resultaten van de maatregelen bij het gemiddelde referentiesysteem gepresenteerd. De resultaten van alle maatregelen zijn samengevat in *Tabel 7* (voor de milieu impact indicatoren die in paragraaf 2.7 als meest relevant zijn geïdentificeerd). De volledige contributie analyse per maatregel is te vinden in *Bijlage 3 Milieu-impact maatregelen*.

Tabel 7 Verandering van milieu-impacts ten opzichte van (gemiddeld) referentiesysteem voor de geanalyseerde maatregelen

Milieu-impact ↓ \ Maatregel →	1. Voeradditieven (prestatieverbetering)	2. Voeradditieven (enterische emissies)	3. Nitrificatieremmers	4. Aanzuren mest	5. Frequente afvoer	6. Primaire mestscheiding	7. Drijfmest beluchten	8. Gesloten opvang + oxidatie	9. Vergisting	10. Bemesting efficiëntie
Global Warming	-3.1%	-9.2%	-0.7%	-5.3%	-4.8%	0.8%	-3.8%	-5.2%	-17.0%	-1.5%
Fine particulate matter formation	-3.3%	0.0%	0.0%	-55.4%	0.0%	-12.1%	65.6%	0.0%	-2.1%	-8.0%
Terrestrial acidification	-3.4%	0.0%	0.0%	-59.1%	0.0%	-12.9%	69.6%	0.0%	-1.8%	-8.4%
Marine eutrophication	-3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	-10.3%
Freshwater eutrophication	-3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	-9.6%
Land use	-3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	0.0%
Water consumption	-3.1%	0.8%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	-0.7%	0.0%

Hieronder worden de meest belangrijke resultaten toegelicht en worden ook de resultaten van 2 combinaties van maatregelen gepresenteerd. Bij combinaties van maatregelen kunnen belangrijke reducties van milieu-impact worden behaald.

4.1 Interpretatie

De maatregel met de grootste reductie van Global warming impact is mono-vergisting (-17%) zowel door de reductie van methaan emissies in de stal als het vermijden van de productie van fossiel gas. De overige relevante milieu-impact indicatoren wijzigen niet significant.

Terwijl de additieven gericht op reductie van pensfermentatie voornamelijk zorgen voor een reductie van Global warming impact (-9,2%), is hier weinig effect te zien op de andere milieu-impacts. Bij het additief gericht op verbeteren van de voederconversie, dalen bijna alle relevante milieu-impacts met ongeveer 3% (door een verbeterde efficiency van het systeem).

De resultaten laten zien dat er over het algemeen weinig 'trade-offs' zijn als je kijkt naar de meest relevante milieu-impacts. De maatregelen gericht op CO₂-reductie die zijn beoordeeld, laten meestal ook een daling zien op de andere milieu-indicatoren, of in ieder geval geen significante stijging.

Zo daalt bij de maatregel 'aanzuren mest' de CO₂-emissie met 5,3% maar dalen ook vooral de Terrestrial acidification met 59% en de Fine particulate matter formation met 55% doordat naast de methaan emissies niet alleen de ammoniak emissies in de stal sterk dalen maar ook de stikstof gerelateerde emissies bij aanwending

van de mest op het veld. Daarentegen stijgt de water consumption impact (+0,5%) enigszins door de productie van het kaliumsulfaat dat toegepast wordt.

Bij de maatregel 'frequente afvoer' daalt de Global warming impact met 4,8%. De overige milieu-impacts wijzigen nauwelijks. Een vergelijkbaar effect zien we bij de maatregel 'gesloten opvang' (-5,2% voor Global warming impact). De maatregel 'primaire mestscheiding' heeft vrijwel geen netto effect op de totale CO₂ emissies (+0,8%) aangezien de toediening van de vloeibare mest op het grasland tot een hogere lachgasemissies leidt. Wel dalen de Fine particulate matter formation (-12%) en Terrestrial acidification (-13%) door een daling van de N gerelateerde emissies op het eigen bouwland.

De maatregel 'nitrificatieremmers' heeft alleen een klein effect op Global warming impact (-0,7%). De overige relevante milieu-impact indicatoren wijzigen nauwelijks. Bij de maatregel 'bemestingsefficiëntie' verbeteren logischerwijs vooral de milieu-impacts gerelateerd aan vermessing zoals marine eutrophication (-10,3%) en terrestrial eutrophication (-9,6%). Andere impacts die significant dalen zijn Fine particulate matter (-8,0%) en Terrestrial acidification (-8,4%). Ook de Global Warming impact daalt licht (-1,5%). Deze reducties zijn allemaal gerelateerd aan de gras en mais productie van eigen land.

Bij sommige maatregelen zien we echter wel trade-offs op verschillende indicatoren. Bij de maatregel 'drijfmest beluchten' dalen de CO₂-emissies met 3,8% maar stijgen de fine particulate matter impact (+66%), terrestrial acidification (+70%) fors door de extra ammoniakemissies door het beluchten. In veel recente onderzoeken wordt daarom juist het omgekeerde effect onderzocht waarbij de stal ontlucht wordt met als doel het verminderen van NH₃-emissies.

4.2 Combinatie van maatregelen

In de voorgaande paragraaf zijn de resultaten gepresenteerd van de verschillende maatregelen. We hebben ook exploratief gekeken naar het totale reductie potentieel door een aantal combinaties van maatregelen te nemen. Niet alle maatregelen kunnen gecombineerd worden, zo worden er verschillende mogelijke maatregelen op het mestmanagement geanalyseerd die niet gelijktijdig geïmplementeerd kunnen worden. In deze paragraaf worden de resultaten van de analyse van twee combinaties van maatregelen gepresenteerd die ook in werkelijkheid mogelijk zouden zijn. De combinaties zijn weergegeven in *Tabel 8*.

Tabel 8 Combinatie van maatregelen

Maatregel	Combinatie 1	Combinatie 2
1. Voeradditieven voederconversie	✓	✓
2. Voeradditieven enterische emissies	✓	✓
3. Nitrificatieremmers	✓	✓
4. Aanzuren mest		✓
9. Vergisting	✓	

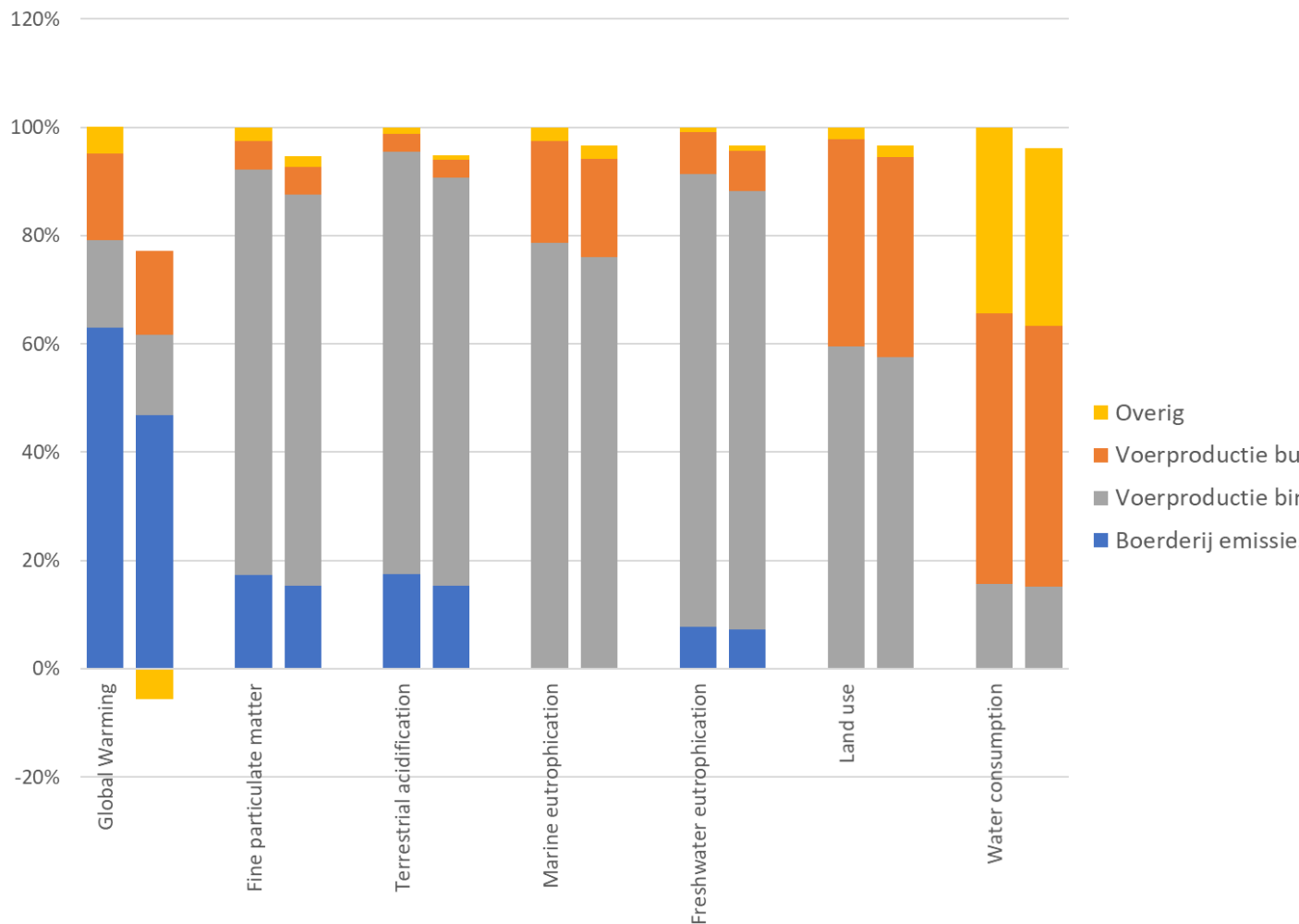
Het verschil bij de twee maatregelen is mestmanagement maatregel. Vergisting is gekozen als maatregel omdat deze maatregel de grootste impact heeft op reductie van broeikasgassen van de mestmanagement maatregelen en eigenlijk een combinatie is van de maatregel 'frequente afvoer' en het vergisten zelf. De maatregel 'aanzuren mest' is gekozen omdat deze op de stikstof gerelateerde emissies 'terrestrial acidification' en 'marine eutrophication' de grootste reductie geeft.

Combinatie 1

Bij de combinatie van maatregelen voer additieven + nitrificatieremmers + vergisting is de totale Global warming impact 28,5% lager dan in het referentiesysteem (gemiddeld bedrijf). De meeste andere milieu-impacts dalen ook, alhoewel minder

sterk. Bijvoorbeeld de N- en P-gerelateerde milieu-indicatoren Marine eutrophication en Freshwater eutrophication dalen met 3,3% en Terrestrial acidification daalt met 5,1%. Er zijn geen significante trade-offs te zien bij andere milieu-impacts (zie

Milieu-impact van melk vóór en na interventie (combinatie 1)



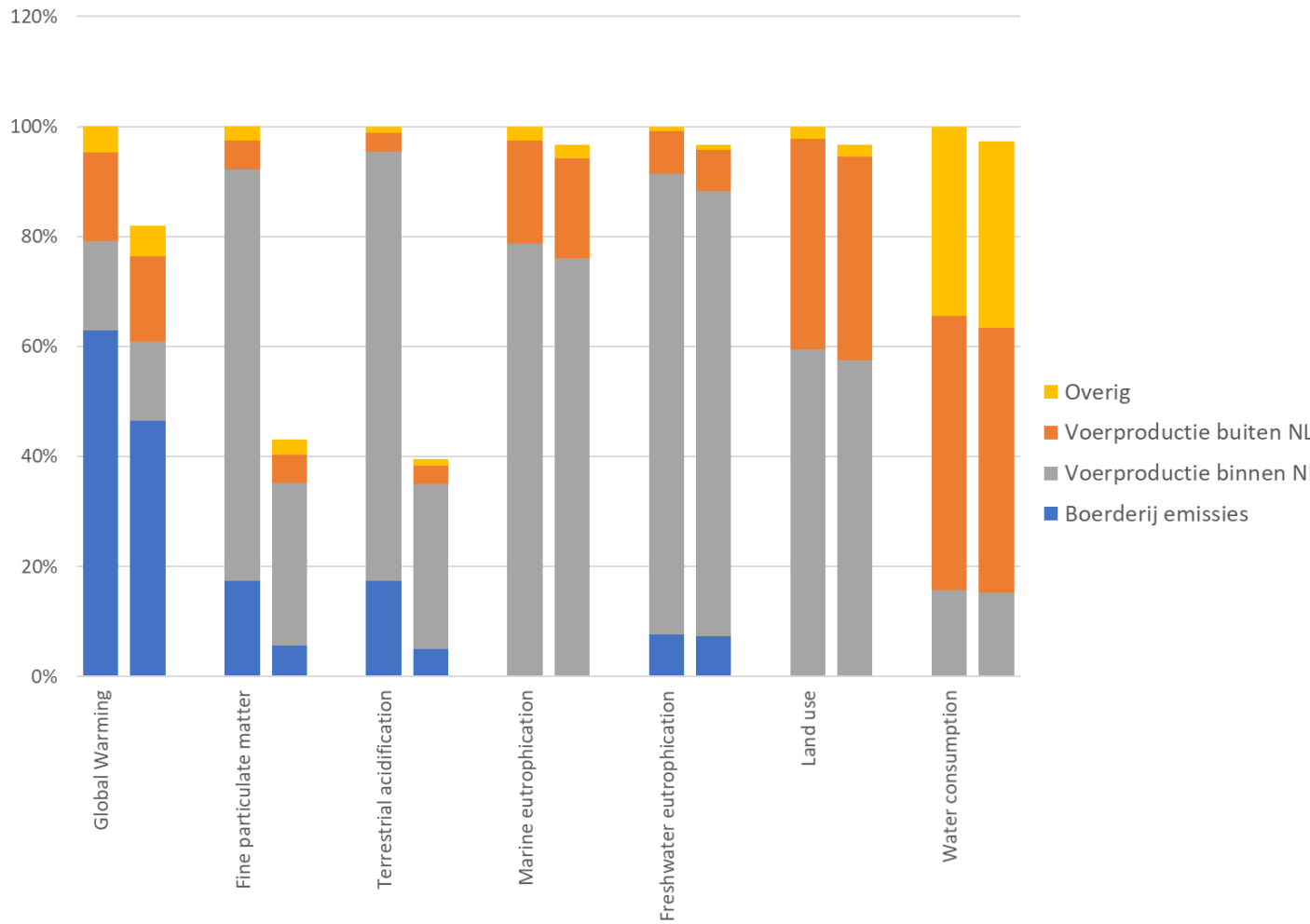
Figuur 3).

Combinatie 2

Bij combinatie 2 van maatregelen voer additieven + nitrificatieremmers + aanzuren mest daalt de totale global warming impact minder dan in combinatie 1, namelijk met 18,0% ten opzichte van het referentiesysteem (gemiddeld bedrijf). De

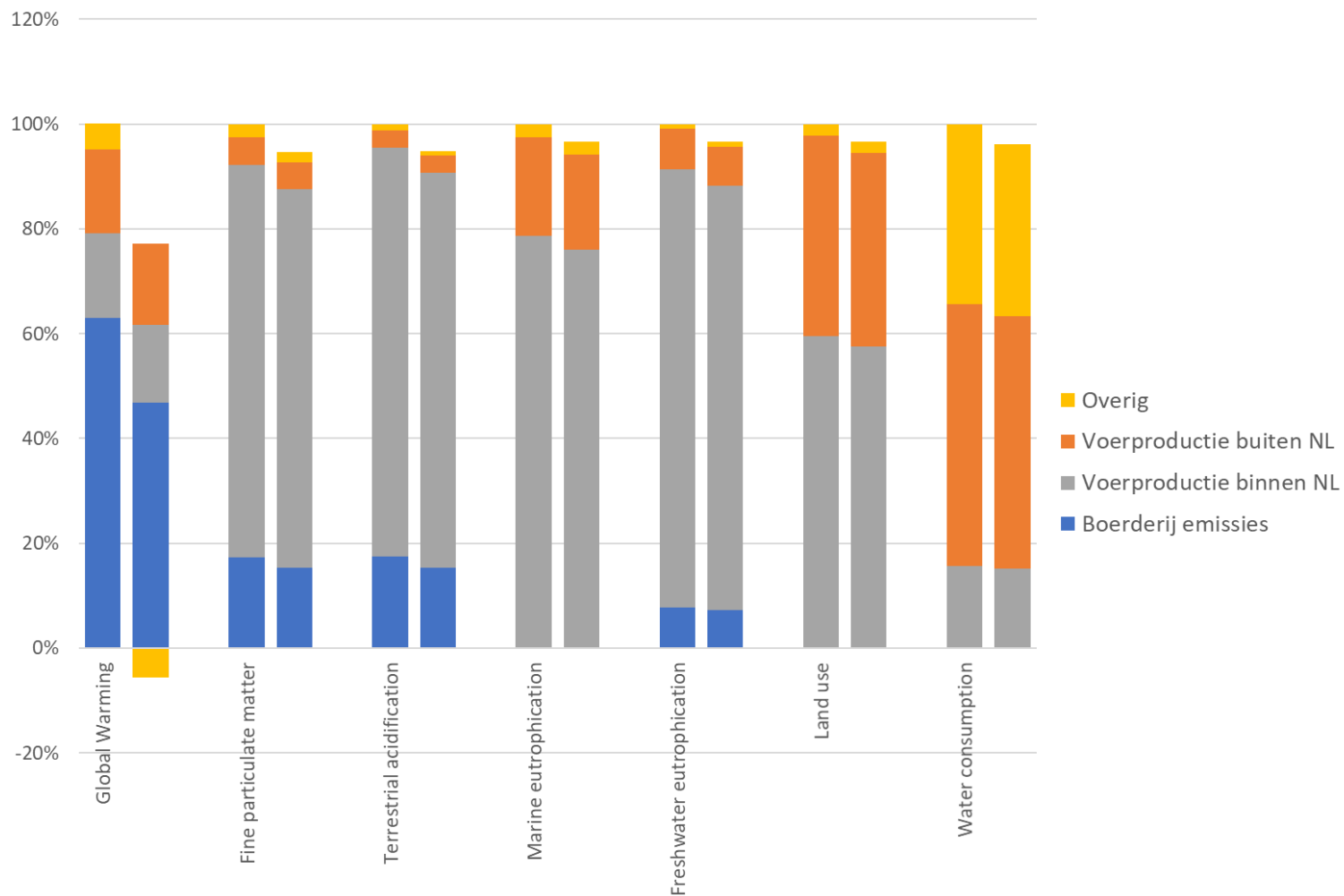
indicatoren voor fijnstof en verzuring dalen daarentegen fors met respectievelijk -57% en -60% (zie

Milieu-impact van melk vóór en na interventie (combinatie 2)



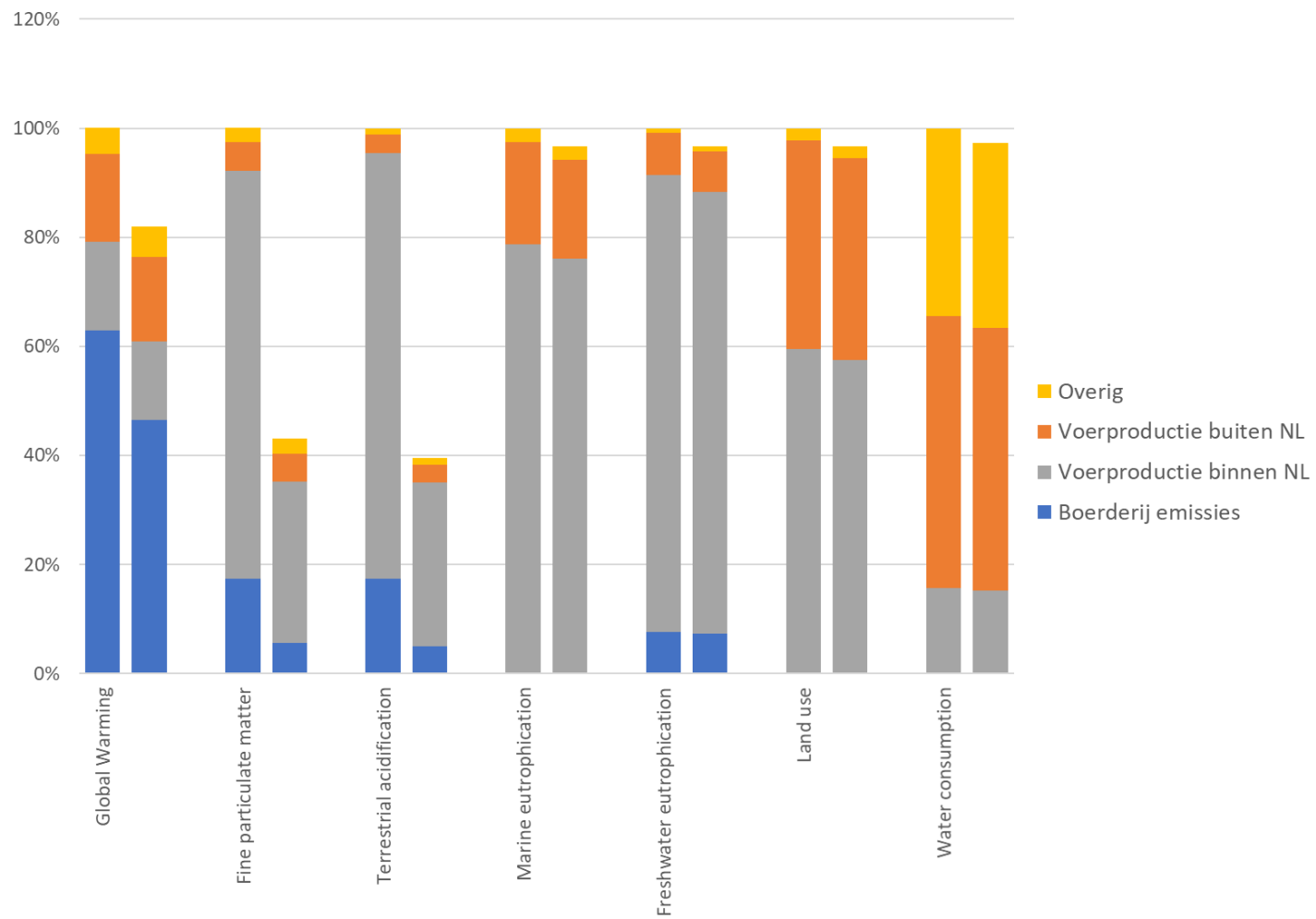
Figuur 4). De daling van fijnstof en verzuring wordt voornamelijk veroorzaakt door 'aanzuren mest'.

Milieu-impact van melk vóór en na interventie (combinatie 1)



Figuur 3 Milieu-impact van melk vóór en na maatregelen (combinatie 1)

Milieu-impact van melk vóór en na interventie (combinatie 2)



Figuur 4 Milieu-impact van melk vóór en na maatregelen (combinatie 2)

4.3 Stikstof efficiency

Naast de verschillende milieu-impacts is ook de stikstof efficiency van het systeem geanalyseerd. In *Tabel 9* zijn de resultaten van de stikstofefficiency van het referentiesysteem en de twee combinaties van maatregelen weergegeven. Ter informatie is in

Tabel 10 de stikstofbalans van het grasland weergegeven.

De NUE-indicator geeft de verhouding weer tussen de N-output en input van een voedselproductiesysteem. In dit geval van de N-output van melk en vlees. De NUE-indicator is na maatregel combinatie 1 gestegen met 1,9% en bij combinatie 2 met 10,6%. Bij combinatie 2 zorgen vooral de lagere stikstofemissies op de weide als gevolg van de maatregel 'aanzuren mest' voor een hogere efficiency van het systeem.

De LCNUE-indicator geeft de totale N-efficiency weer waarbij naar het stikstofgehalte in alle (bij)producten wordt gekeken dus melk, vlees maar ook mest, diermeel en andere co-producten in de voerproductie. De LCNUE is gestegen na maatregel combinatie 1 met 0,8% en bij combinatie 2 met 14,1%.

De benodigde hoeveelheid stikstof per kg FCCM is gedaald van 50,9 gram naar 48,7 gram (-4,3%) na maatregel combinatie 1 ten opzichte van het referentiesysteem. En bij combinatie 2 naar 44,9 gram (-11,8%).

De maatregel 'aanzuren mest' heeft veruit de grootste impact op de stikstofefficiency van het systeem doordat er minder stikstof verloren gaat als gevolg van ammoniakemissies in de stal en op het land en het stikstofgehalte van de mest toeneemt. Aantekening bij deze conclusie is wel dat geen rekening is gehouden met eventuele extra N uitloging op het grasland door het verhoogde stikstofgehalte in de mest.

Tabel 9 Stikstof efficiëntie in de melkproductieketen voor referentiesysteem en combinatie 1 en 2

	Referentie	Combinatie 1	Combinatie 2
N verliezen			
Bij kunstmestproductie	1,4%	1,4%	1,5%
Bij de teelt	37,5%	37,4%	32,1%
Op de boerderij	4,4%	4,0%	1,7%
<i>Totale verliezen</i>	<i>43,3%</i>	<i>42,8%</i>	<i>35,3%</i>
N in product			
N in mest	39,0%	39,2%	45,3%
N in melk	11,3%	11,6%	12,5%
N in levende dieren	1,3%	1,3%	1,4%
N in dode dieren (bv. diermeel)	0,1%	0,1%	0,1%
N in co-producten voer productie	4,9%	4,9%	5,4%
TOTAAL	35.733 kg N/jaar 100%	35.710 kg N/jaar 100%	32.892 kg N/jaar 100%
Nitrogen Use Efficiency (NUE)*	12.6%	12.9%	14.0%
Life cycle NUE (LCNUE)**	56.7%	57.2%	64.7%
N-input per kg melk	0.0509	0.0487	0.0449

*NUE: verhouding tussen de N-output en input van een voedselproductiesysteem (in dit geval van de N-output van melk en vlees)

**LCNUE: de totale N-efficiency waarbij naar het stikstofgehalte in alle (bij)producten wordt gekeken (dus melk, vlees maar ook mest, diermeel en andere co-producten in de voerproductie)

Tabel 10 Stikstof balans grasland

	N emissies	N input & output	Balans
Stikstoffixatie bodem (BNF) (kg N/ha)		5.0	
Stikstof depositie (kg N/ha)		21.0	
Toegebrachte N uit kunstmest (kg N/ha)		197.5	
Toegebrachte N uit dierlijke mest (kg N/ha)		250.0	
Totale N input			473.5
N in grasopbrengst (kg N/ha)		403.0	
Totale N ₂ O-N emissies (kg N/ha)	5.3		
Totale NH ₃ -N emissies (kg N/ha)	133.2		
Totale NO ₃ -N uitloging (kg N/ha)	72.2		
Totale N in emissies (kg N/ha)		210.7	
Totale N output			613.7
Verandering stikstof in bodem (kg N/ha)			-140.2

4.4 Verschillen tussen referentiesystemen

Hierboven zijn de resultaten van de maatregelen bij het gemiddelde referentiesysteem gepresenteerd. Bij de verschillen tussen gemiddeld, intensief en extensief referentiesysteem zien we geen heel grote verschillen. Over het algemeen hebben de meeste maatregelen een kleinere impact op het intensieve systeem omdat het de milieu-impact van het intensieve systeem meer afhankelijk is van de milieu-impact van het ingekochte voer en maatregelen op de eigen bodem of de mest dan relatief minder effect hebben.

Bij maatregelen gericht op eigen bodem zoals bemestingsefficiëntie is er een verschil te zien bij bijvoorbeeld Global warming impact -1,7% voor een extensief systeem ten opzichte van -1,2% voor een intensief systeem, Marine eutrophication -11,2% voor een extensief systeem ten opzichte van -8,5% voor een intensief systeem.

Zelfs bij de maatregel 'vergisten' waarbij het intensieve systeem door zijn hogere mestoutput een hogere biogasproductie heeft, is de reductie van Global warming impact (-15,9%) lager dan voor het extensieve systeem (-18,1%).

5. Conclusies & aanbevelingen

In het vorige hoofdstuk zijn de belangrijkste resultaten terug te vinden. Hieronder wordt nog een samenvatting gegeven van de belangrijkste conclusies en worden enkele aanbevelingen gedaan.

- De resultaten laten zien dat er over het algemeen weinig 'trade-offs' zijn tussen de meest relevante milieu-impacts. De maatregelen gericht op CO₂-reductie die zijn beoordeeld, laten meestal ook een daling zien op de andere milieu-indicatoren, of in ieder geval geen significante stijging. Een uitzondering hierop is de maatregel 'drijfmest beluchten'.
- Hoewel de milieu-impact van de verschillende referentiesystemen (intensief, gemiddeld of extensief bedrijf) verschilt, blijken de maatregelen vrijwel dezelfde milieu-impact te hebben voor ieder referentiesysteem.
- De stikstofefficiency verbetert het meest bij de maatregel 'aanzuren mest' als gevolg van de reductie van ammoniakemissies in de stal en op het veld en het verhoogde stikstofgehalte in de mest.
- De twee maatregelen met de grootste reductie op veel relevante milieu-impact indicatoren zijn 'vergisten' en 'aanzuren mest'.
- De twee bovengenoemde maatregelen konden in ons model niet gecombineerd worden aangezien het beide maatregelen zijn op het mestmanagement. Maar gezien de potentie van beide maatregelen, is het interessant om te bekijken of het in de praktijk mogelijk is een combinatie van de twee maatregelen te combineren door bijvoorbeeld het digestaat wat uit de vergister komt aan te zuren voordat dit op het land wordt aangewend.

Referenties

- AgroParisTech. (2011). Effect of Actifor® Pro on milk performances of lactating dairy cows, 0–4.
- 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>
- Baky, A. (2019). Environmental assessment of slurry acidification technologies. Retrieved from http://balticslurry.eu/wp-content/uploads/2019/06/Environmental-assessment-of-SATs_WP5_Baky_final.pdf
- Blonk Consultants. (2019). *Agri-footprint 5.0 - Part 2 - Description of data*.
- Blonk Consultants. (2020). *APS footprint methodology dairy*. Gouda, the Netherlands.
- Blonk, H. (2017). Voetafdruk van eiwitconsumptie en -productie. Retrieved from <https://www.blonkconsultants.nl/wp-content/uploads/2017/11/Voetafdruk-van-eiwitconsumptie-en-productiedocx-finaal.pdf>
- de Mol, R. M., & Hilhorst, M. a. (2003). *Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest*. Business.
- De Vries, J. W., Aarnink, A. J. A., Groot Koerkamp, P. W. G., & De Boer, I. J. M. (2012). Environmental consequences of segregating pig urine and feces - A life cycle perspective. *ASABE - 9th International Livestock Environment Symposium 2012, ILES 2012*, (January 2012), 299–304. <https://doi.org/10.13031/2013.41538>
- De Vries, M., Hoving, I., Van Middelkoop, J., Ten Napel, J., Van Der Weide, R., Verhagen, J., & Vellinga, T. (2018). Klimaatslimme melkveehouderij: Een routekaart voor implementatie van mitigatie-en adaptatiemaatregelen. <https://doi.org/10.18174/463803>
- Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., & van Gastelen, S. (2018). Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9041–9047. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14456>
- Ecoinvent. (2018). *Ecoinvent 3.5*. Retrieved from <http://www.ecoinvent.org/>
- EMEP/EEA. (2016). Chapter 3.B Manure Management. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016*, 62.
- European Commission. (2018a). Product Environmental Footprint Category Rules for Dairy Products, 168. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/eusds/msgp/pdf/PEFCR-DairyProducts_2018-04-25_V1.pdf
- European Commission. (2018b). *Product Environmental Footprint Category Rules Guidance. PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, December 2017*. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/eusds/msgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf
- Evers, A., Buissonjé, F. de, Melse, R., Verdoes, N., & de Haan, M. (2019). *Scenario studie mono-vergisten op melkveebedrijf met veengrond. Wageningen Livestock Research*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 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.
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., ... Duval, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663–10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
- 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.

- ISO. (2006a). *ISO 14040 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.*
- ISO. (2006b). *ISO 14044 - Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.* ISO.
- JRC. (2019). *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method.* <https://doi.org/10.2760/424613>
- Kool, A., Kuling, L., & Blonk, H. (2018). *Trendanalyse broeikaseffect Nederlandse agro-productie Not published.* Gouda.
- Kuikman, P., Schils, R. ., & et. al. (2016). *Nitrificatieeremmers in de Nederlandse Landbouw.*
- Lagerwerf, L. A., Bannink, A., Bruggen van, C., Groenestein, C. M., Huijsmans, J. F. M., Kolk van der, J. W. H., ... Vonk, J. (2019). *Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands.*
- Melgar, A., Harper, M. T., Oh, J., Giallongo, F., Young, M. E., Ott, T. L., ... Hristov, A. N. (2020). Effects of 3-nitrooxypropanol on rumen fermentation, lactational performance, and resumption of ovarian cyclicity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *103*(1), 410–432. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17085>
- 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>
- RVO. (2019). *Werkingscoefficient.* Retrieved from <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/01/Tabel-3-Werkingscoefficient-2019-2021.pdf>
- São Paulo State University. (2018). *Effect of Actifor® Pro on milk performances of lactating dairy cows*, 12, 0–5.
- Schroder, J. J., Oenema, J., Conijn, J. G., & Boer, J. De. (2019). *Rekenregels van de KringloopWijzer 2018*, 1010.
- SKW Piesterietz. (2020). *Piadin the liquid manure refiner.* Retrieved from [https://www.piadin.de/en/#environment-\(3\)](https://www.piadin.de/en/#environment-(3))
- Van Lent, A. (2000). *Door aanzuren 70% minder ammoniakemissie*, 10–13.
- Van Wesemael, D., Vandaele, L., Ampe, B., Cattrysse, H., Duval, S., Kindermann, M., ... Peiren, N. (2019). Reducing enteric methane emissions from dairy cattle: Two ways to supplement 3-nitrooxypropanol. *Journal of Dairy Science*, *102*(2), 1780–1787. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14534>
- Wageningen UR. (2017). *Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2017-2018* (33rd ed.). Wageningen UR Livestock Research.
- Wightman, J. L., & Woodbury, P. B. (2016). *New York dairy manure management greenhouse gas emissions and mitigation costs.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zijlstra, J., Timmerman, M., Reijs, J., Plomp, M., Haan, M. De, Sebek, L., & van Eekeren, N. (2019). *Doelwaarden op bedrijfsniveau voor de KPI's binnen de Biodiversiteitsmonitor Melkveehouderij.* Retrieved from <https://edepot.wur.nl/471202>

Bijlage 1 Selectie klimaatmaatregelen

In deze bijlage is omschreven hoe tot de selectie van te evalueren klimaatmaatregelen is gekomen. Als bron is in eerste instantie (M. De Vries et al., 2018) gebruikt. Hierin worden 5 typen klimaatmaatregelen onderscheidt:

1. Maatregelen gericht op efficiëntie verhogen (voeromzetting en teelt voergewassen)
2. Maatregelen gericht op emissievermindering (bron)
3. Maatregelen gericht op emissievermindering (end-of-pipe)
4. Maatregelen die koolstofvastlegging bevorderen
5. Structurele maatregelen (natte veehouderij etc, natuur, verplaatsing)

In dit project focussen we op de eerste 3 maatregelen. Maatregelen die koolstofvastlegging bevorderen zijn moeilijk te kwantificeren onder andere omdat er nog geen overeenstemming is over de toe te passen methodologie daarvoor in LCA-kader (*verwijzing naar C-opslag project*). Ook structurele maatregelen (zoals natte veehouderij etc, natuur, verplaatsing) zijn niet meegenomen in de beoordeling aangezien deze maatregelen lokaal gedefinieerd en beoordeeld moeten worden. In dit project is gefocust op maatregelen die in de breedte in de Nederlandse melkveehouderij toepasbaar zijn.

Vervolgens is de totale lijst van de eerste drie type maatregelen beoordeeld 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 CO₂-reductie (gram CO₂/ 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 (M. De Vries et al., 2018) en eigen expert judgement. De volledige lijst van maatregelen en de beoordeling zijn te vinden in onderstaande tabel.

Type maatregel	Gericht op	Maatregel	Inschatting CO ₂ -reductie (gram CO ₂ / 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	?	-

Werkgroep bijeenkomst

Nadat de preselectie van maatregelen is gemaakt, heeft in het voorjaar van 2020 een bijeenkomst met de werkgroep plaatsgevonden. De werkgroep bestond uit:

- Leo Oprel – Ministerie van LNV
- Koos van Wissen – Ministerie van LNV
- Arnoud Smit – Friesland Campina
- Willemien van de Kandelaar - LTO Nederland
- Auke Jan Veenstra – LTO Nederland
- Albert Moerkerken – RVO
- Hans Blonk – Blonk Consultants
- Nicolás Braconi – Blonk Consultants
- Janjoris van Diepen – Blonk Consultants

Het doel van deze werkgroep bijeenkomst was om:

- Preselectie van maatregelen beoordelen
- Voorgestelde literatuurbronnen te beoordelen
- Voorgestelde methodologie te beoordelen

Op basis van de resultaten van deze bijeenkomst is de lijst van maatregelen nog iets aangepast. Sommige van deze maatregelen zijn opgesplitst in verschillende scenario's die worden doorgerekend.

Daarnaast is contact gezocht met experts op specifieke thema's om actuele literatuur te vinden voor de verschillende maatregelen.

Definitieve maatregelen lijst

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.

Tabel 11 Selectie van te beoordelen maatregelen in project

Maatregel	Type maatregel
1. Voeradditieven (gericht op prestatieverbetering)	Efficiëntie verhogen
2. Voer additieven (gericht op reductie van enterische emissies)	Emissie verminderen (bron)
3. Nitrificatieremmers	Emissie verminderen (bron)
4. Aanzuren mest	Emissie verminderen (bron)
5. Frequente afvoer	Emissie verminderen (bron)
6. Primaire mestscheiding	Emissie verminderen (bron)
7. Drijfmest beluchten	Emissie verminderen (bron)
8. Gesloten opvang + oxidatie	Emissie verminderen (end-of-pipe)
9. Vergisting	Emissie verminderen (end-of-pipe)
10. Bemesting efficiëntie	Efficiëntie verhogen

Bijlage 2 Milieu-impact referentiesystemen

Tabel 12 Milieu-impact referentiesysteem gemiddeld bedrijf

Emissies per kg FPCM (NL gemiddelde)	Boerderij	Voer productie buiten NL	Voer productie in NL	Overig	Totaal
Global Warming	1.05E+00	2.68E-01	2.72E-01	8.09E-02	1.68E+00
Ozone formation, Human health	8.95E-04	4.22E-04	1.01E-03	3.40E-04	2.67E-03
Fine particulate matter formation	5.16E-04	1.58E-04	2.22E-03	7.69E-05	2.97E-03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	1.23E-03	4.27E-04	1.01E-03	3.44E-04	3.02E-03
Terrestrial acidification	3.99E-03	7.80E-04	1.78E-02	2.66E-04	2.29E-02
Marine eutrophication	0.00E+00	2.77E-04	1.16E-03	3.80E-05	1.48E-03
Stratospheric ozone depletion	3.35E-06	9.09E-07	6.20E-06	1.36E-07	1.06E-05
Ionizing radiation	0.00E+00	1.07E-03	3.68E-04	1.45E-03	2.89E-03
Freshwater eutrophication	2.48E-05	2.49E-05	2.70E-04	2.66E-06	3.22E-04
Terrestrial ecotoxicity	0.00E+00	2.33E-01	2.84E-02	2.04E-02	2.82E-01
Freshwater ecotoxicity	0.00E+00	1.44E-02	1.48E-03	3.66E-04	1.62E-02
Marine ecotoxicity	0.00E+00	2.84E-03	9.74E-04	1.25E-04	3.94E-03
Human carcinogenic toxicity	0.00E+00	7.31E-05	3.32E-05	5.06E-05	1.57E-04
Human non-carcinogenic toxicity	0.00E+00	1.69E-01	1.96E+00	8.57E-02	2.22E+00
Land use	0.00E+00	2.38E-01	3.71E-01	1.40E-02	6.23E-01
Mineral resource scarcity	0.00E+00	8.23E-05	1.01E-04	2.10E-05	2.04E-04
Fossil resource scarcity	0.00E+00	2.87E-02	2.44E-02	2.10E-02	7.40E-02
Water consumption	0.00E+00	5.92E-03	1.87E-03	4.09E-03	1.19E-02

Tabel 13 Milieu-impact referentiesysteem intensief bedrijf

Emissies per kg FPCM (NL gemiddelde)	Boerderij	Voer productie buiten NL	Voer productie in NL	Overig	Totaal
Global Warming	9.23E-01	4.05E-01	2.16E-01	8.18E-02	1.63E+00
Ozone formation, Human health	8.40E-04	6.37E-04	7.83E-04	3.48E-04	2.61E-03
Fine particulate matter formation	4.73E-04	2.39E-04	1.73E-03	7.74E-05	2.52E-03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	1.16E-03	6.44E-04	7.86E-04	3.51E-04	2.94E-03
Terrestrial acidification	3.66E-03	1.18E-03	1.39E-02	2.64E-04	1.90E-02
Marine eutrophication	0.00E+00	4.19E-04	9.33E-04	3.59E-05	1.39E-03
Stratospheric ozone depletion	2.98E-06	1.37E-06	4.92E-06	1.30E-07	9.41E-06
Ionizing radiation	0.00E+00	1.61E-03	2.96E-04	1.47E-03	3.38E-03
Freshwater eutrophication	1.87E-05	3.77E-05	2.10E-04	2.52E-06	2.69E-04
Terrestrial ecotoxicity	0.00E+00	3.52E-01	3.68E-02	2.08E-02	4.09E-01
Freshwater ecotoxicity	0.00E+00	2.17E-02	1.58E-03	3.46E-04	2.37E-02
Marine ecotoxicity	0.00E+00	4.29E-03	8.41E-04	1.22E-04	5.25E-03
Human carcinogenic toxicity	0.00E+00	1.10E-04	2.73E-05	4.96E-05	1.87E-04

Human non-carcinogenic toxicity	0.00E+00	2.56E-01	1.57E+00	8.11E-02	1.91E+00
Land use	0.00E+00	3.59E-01	2.91E-01	1.32E-02	6.64E-01
Mineral resource scarcity	0.00E+00	1.24E-04	7.95E-05	2.10E-05	2.25E-04
Fossil resource scarcity	0.00E+00	4.30E-02	1.90E-02	2.13E-02	8.34E-02
Water consumption	0.00E+00	8.93E-03	1.42E-03	3.87E-03	1.42E-02

Tabel 14 Milieu-impact referentiesysteem extensief bedrijf

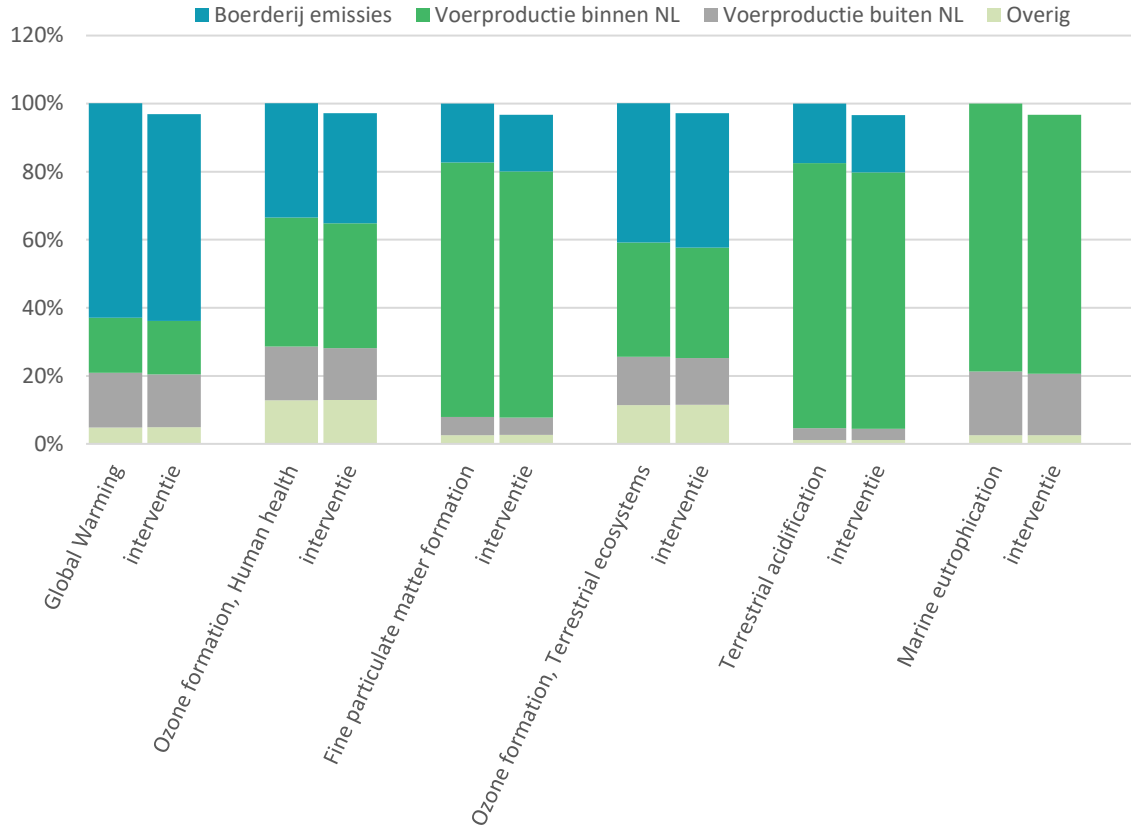
Emissies per kg FPCM (NL gemiddelde)	Boerderij	Voer productie buiten NL	Voer productie in NL	Overig	Totaal
Global Warming	1.22E+00	2.00E-01	3.27E-01	8.04E-02	1.83E+00
Ozone formation, Human health	9.99E-04	3.14E-04	1.23E-03	3.33E-04	2.88E-03
Fine particulate matter formation	6.00E-04	1.18E-04	2.70E-03	7.71E-05	3.50E-03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	1.37E-03	3.17E-04	1.24E-03	3.36E-04	3.26E-03
Terrestrial acidification	4.65E-03	5.79E-04	2.17E-02	2.74E-04	2.72E-02
Marine eutrophication	0.00E+00	2.06E-04	1.40E-03	4.24E-05	1.64E-03
Stratospheric ozone depletion	3.92E-06	6.74E-07	7.48E-06	1.50E-07	1.22E-05
Ionizing radiation	0.00E+00	8.00E-04	4.41E-04	1.42E-03	2.67E-03
Freshwater eutrophication	3.16E-05	1.85E-05	3.28E-04	2.97E-06	3.81E-04
Terrestrial ecotoxicity	0.00E+00	1.73E-01	2.50E-02	2.12E-02	2.19E-01
Freshwater ecotoxicity	0.00E+00	1.07E-02	1.51E-03	4.08E-04	1.26E-02
Marine ecotoxicity	0.00E+00	2.11E-03	1.13E-03	1.34E-04	3.37E-03
Human carcinogenic toxicity	0.00E+00	5.45E-05	3.95E-05	5.33E-05	1.47E-04
Human non-carcinogenic toxicity	0.00E+00	1.26E-01	2.36E+00	9.56E-02	2.58E+00
Land use	0.00E+00	1.77E-01	4.50E-01	1.56E-02	6.43E-01
Mineral resource scarcity	0.00E+00	6.11E-05	1.22E-04	2.09E-05	2.04E-04
Fossil resource scarcity	0.00E+00	2.15E-02	2.96E-02	2.07E-02	7.18E-02
Water consumption	0.00E+00	4.40E-03	2.30E-03	4.55E-03	1.13E-02

Bijlage 3 Milieu-impact maatregelen

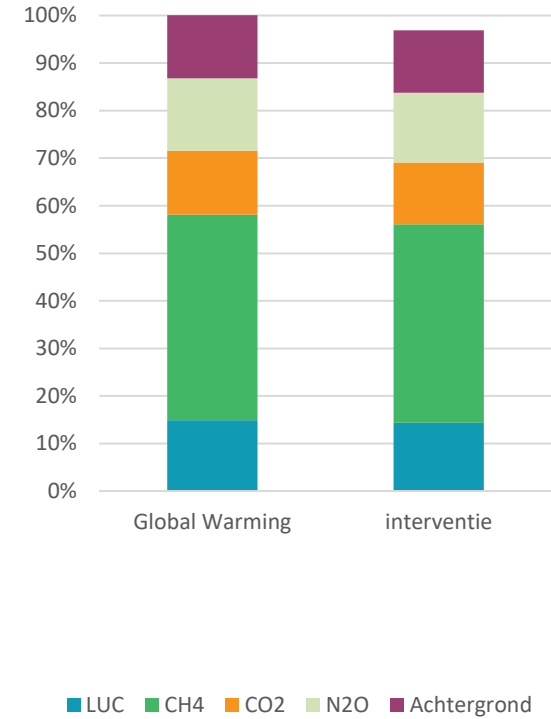
In deze bijlage worden alle milieu-impact indicatoren gerapporteerd. Specifiek voor de Global Warming impact wordt de bijdrage van CO₂, CH₄, N₂O emissies op de boerderij en Land-use-change (LUC) aan de totale Global Warming impact gerapporteerd.

1. Voeradditieven ter verbetering van voederconversie

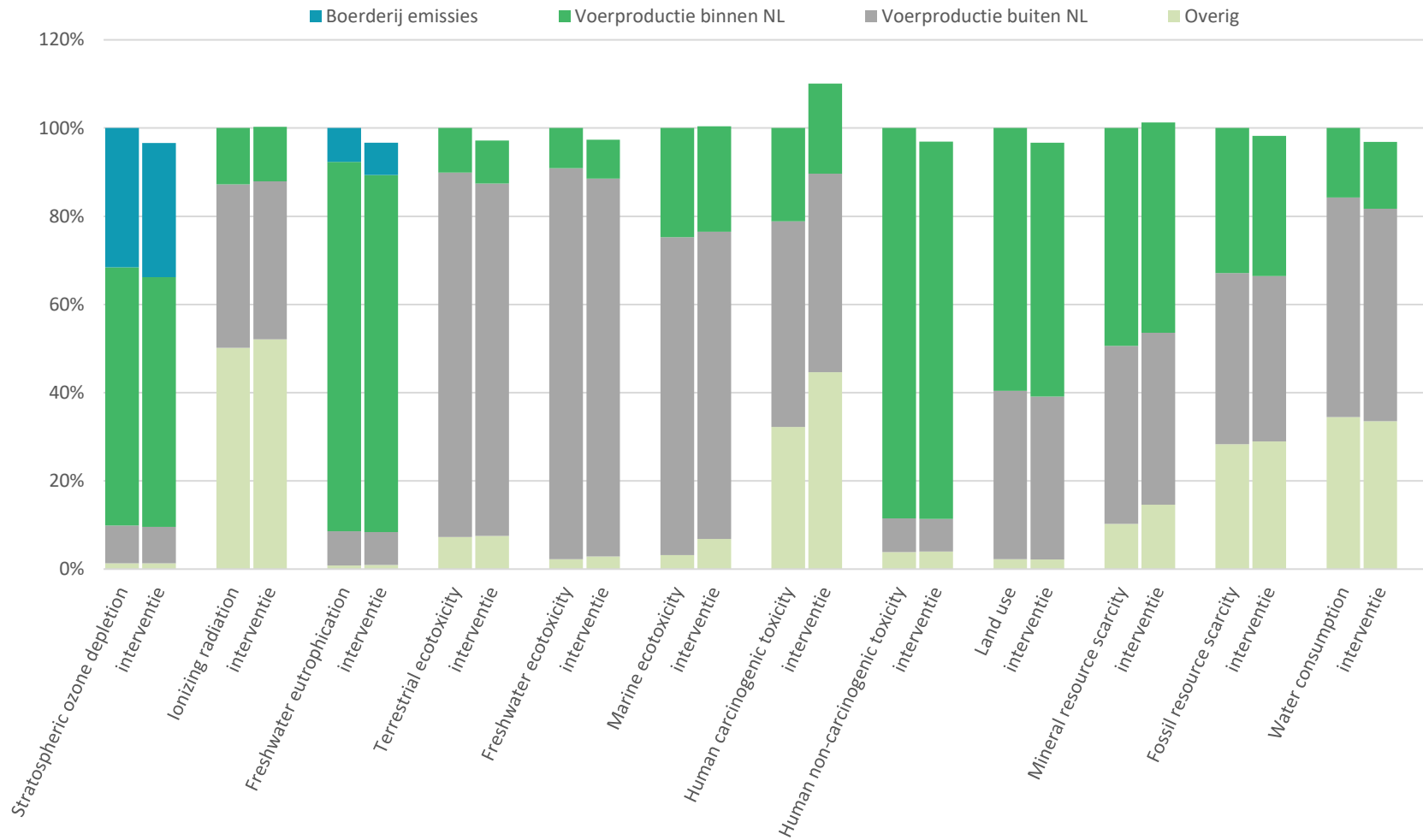
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies

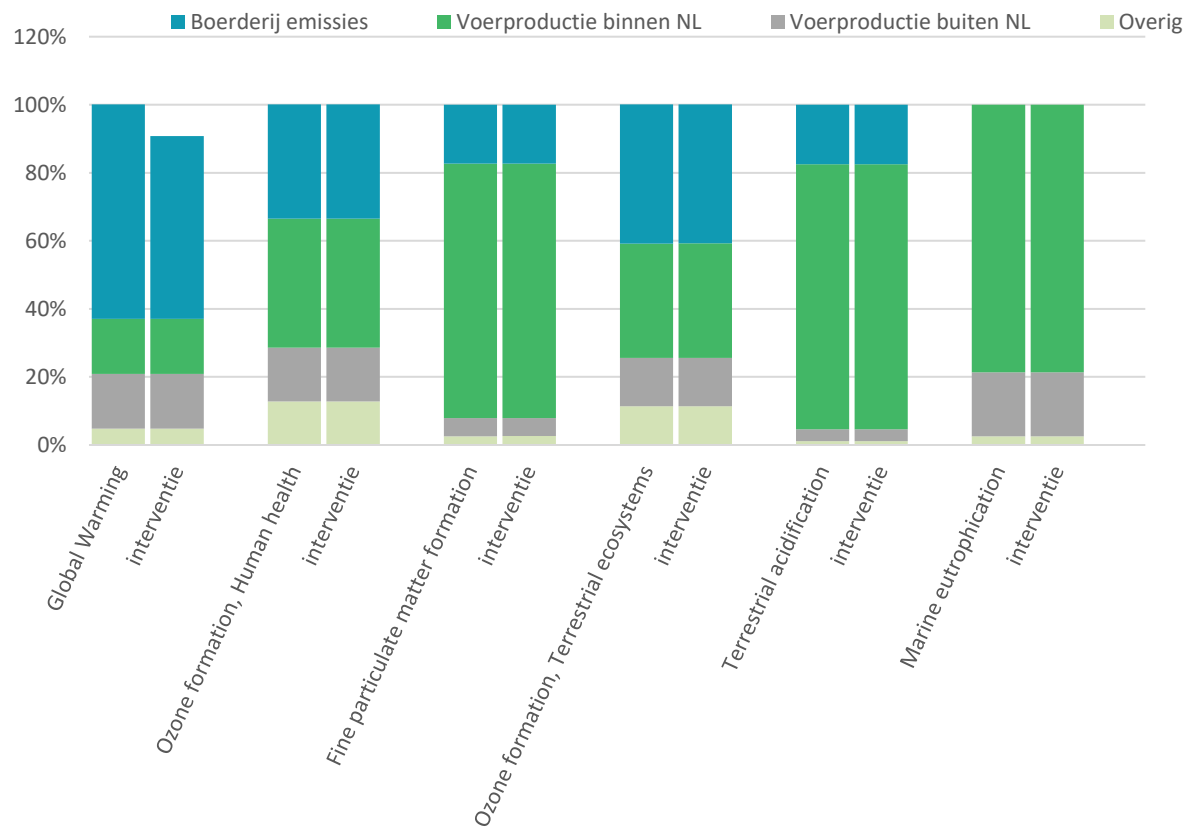


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

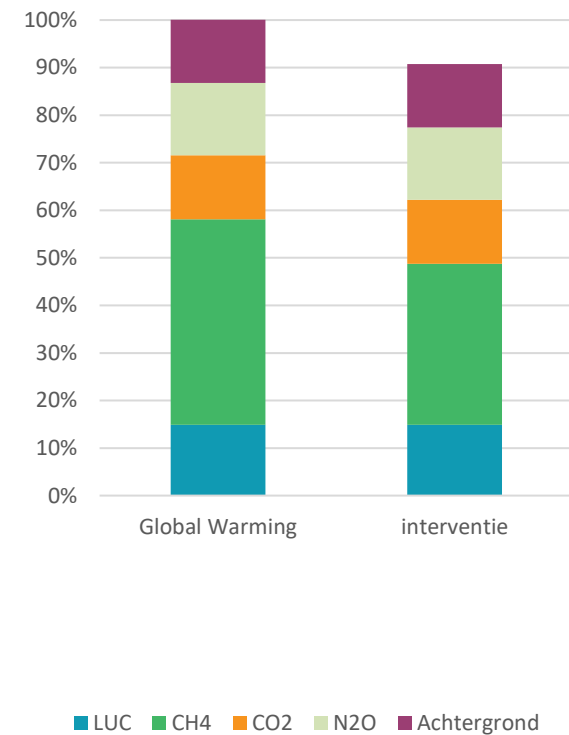


2. Voeradditieven gericht op verlagen van enterische emissies

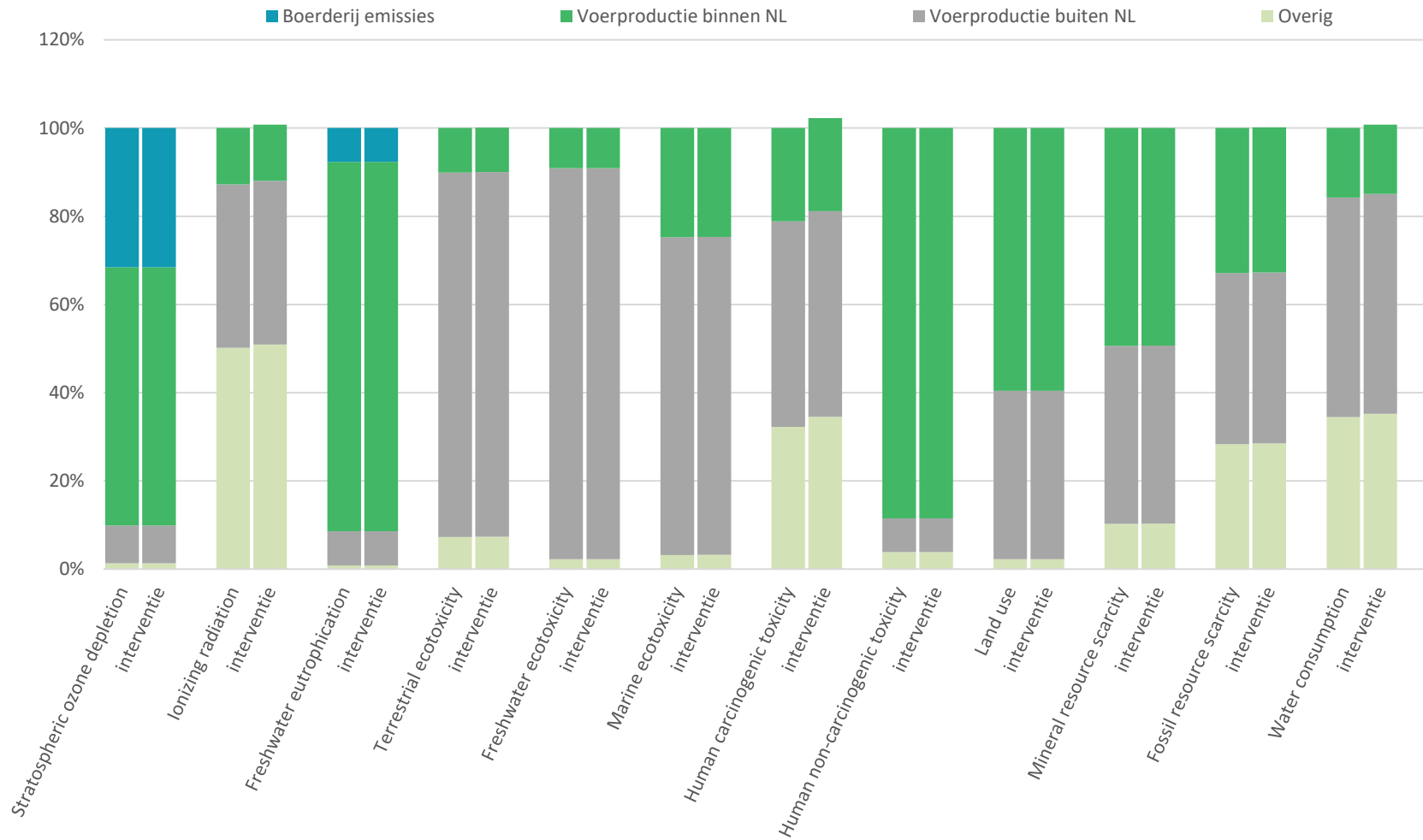
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies

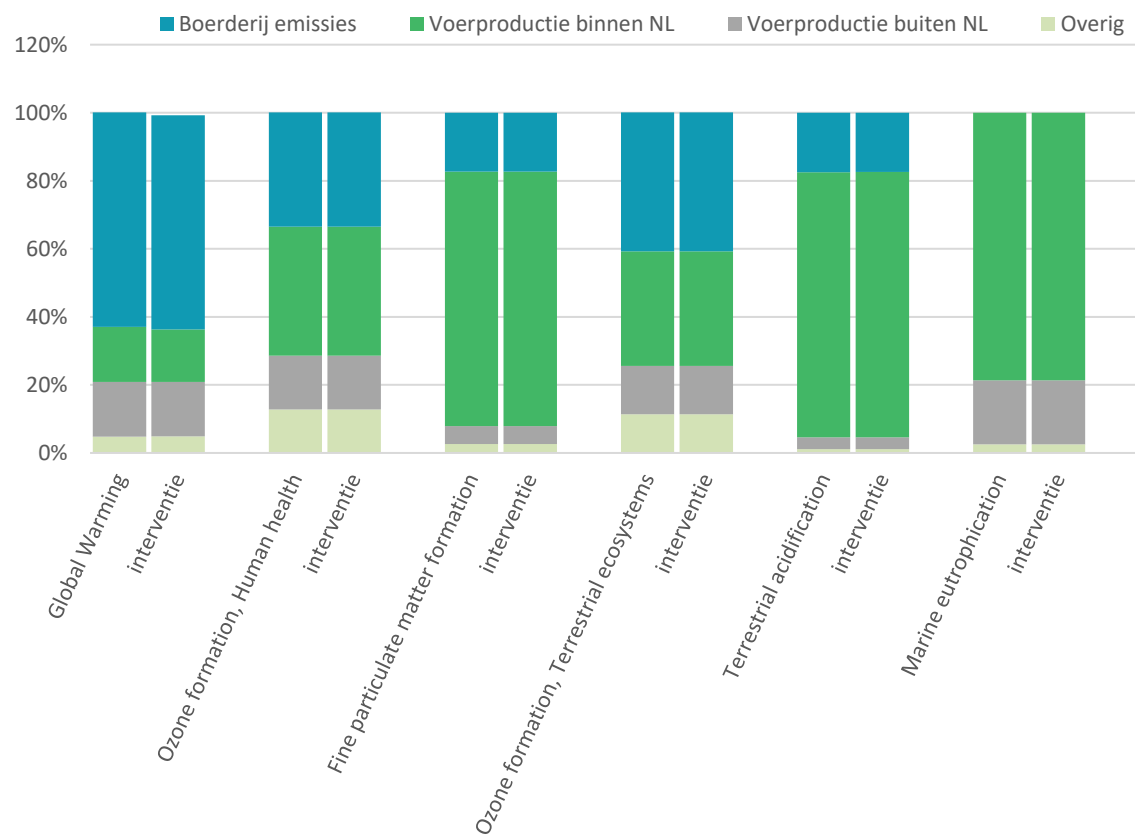


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

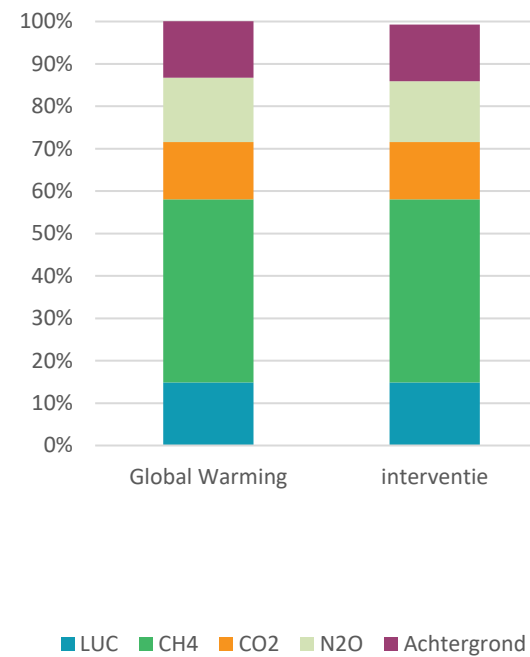


3. Nitrificatieremmers

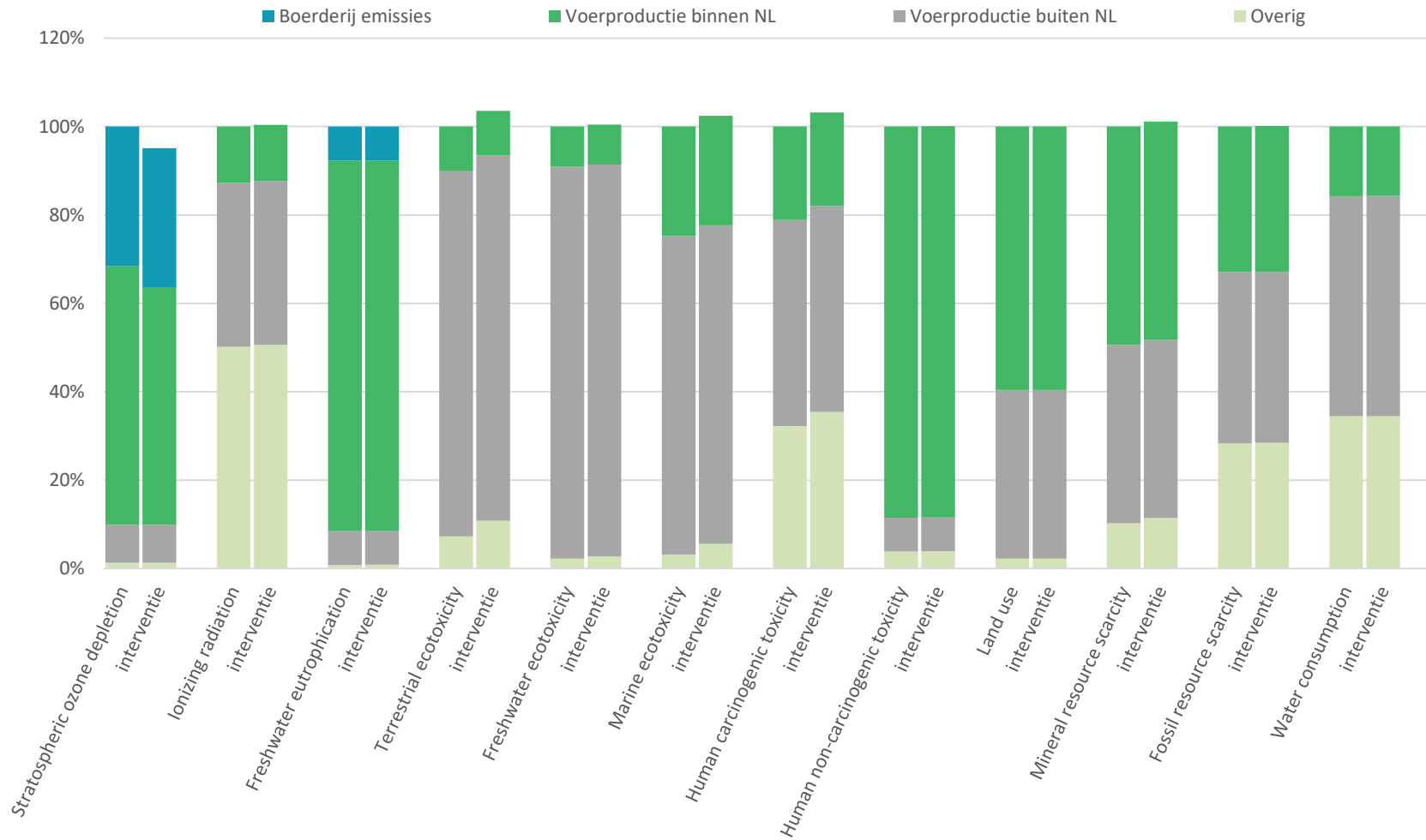
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies

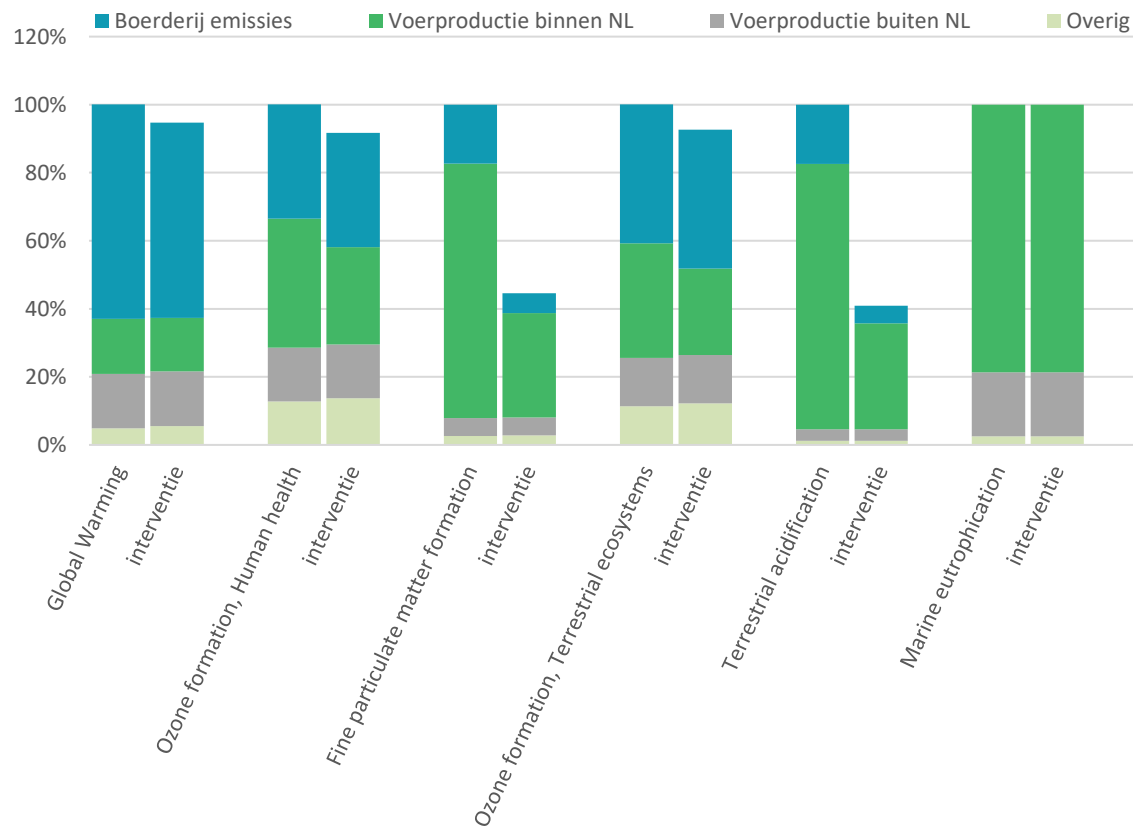


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

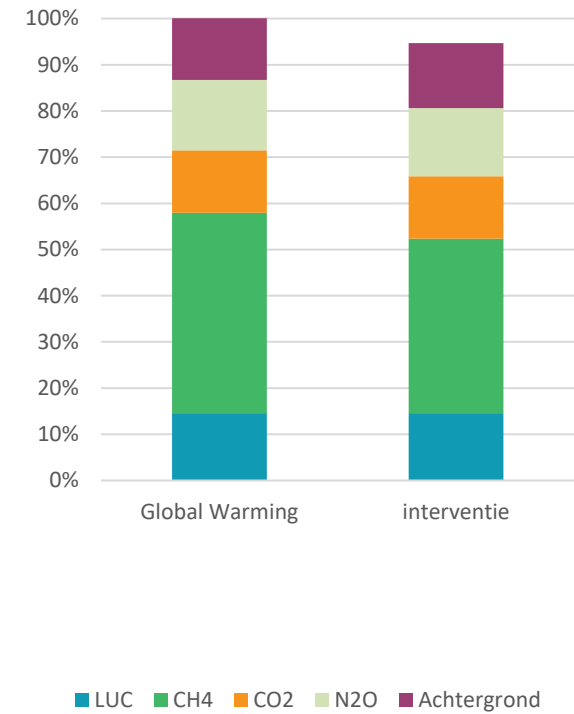


4. Aanzuren mest

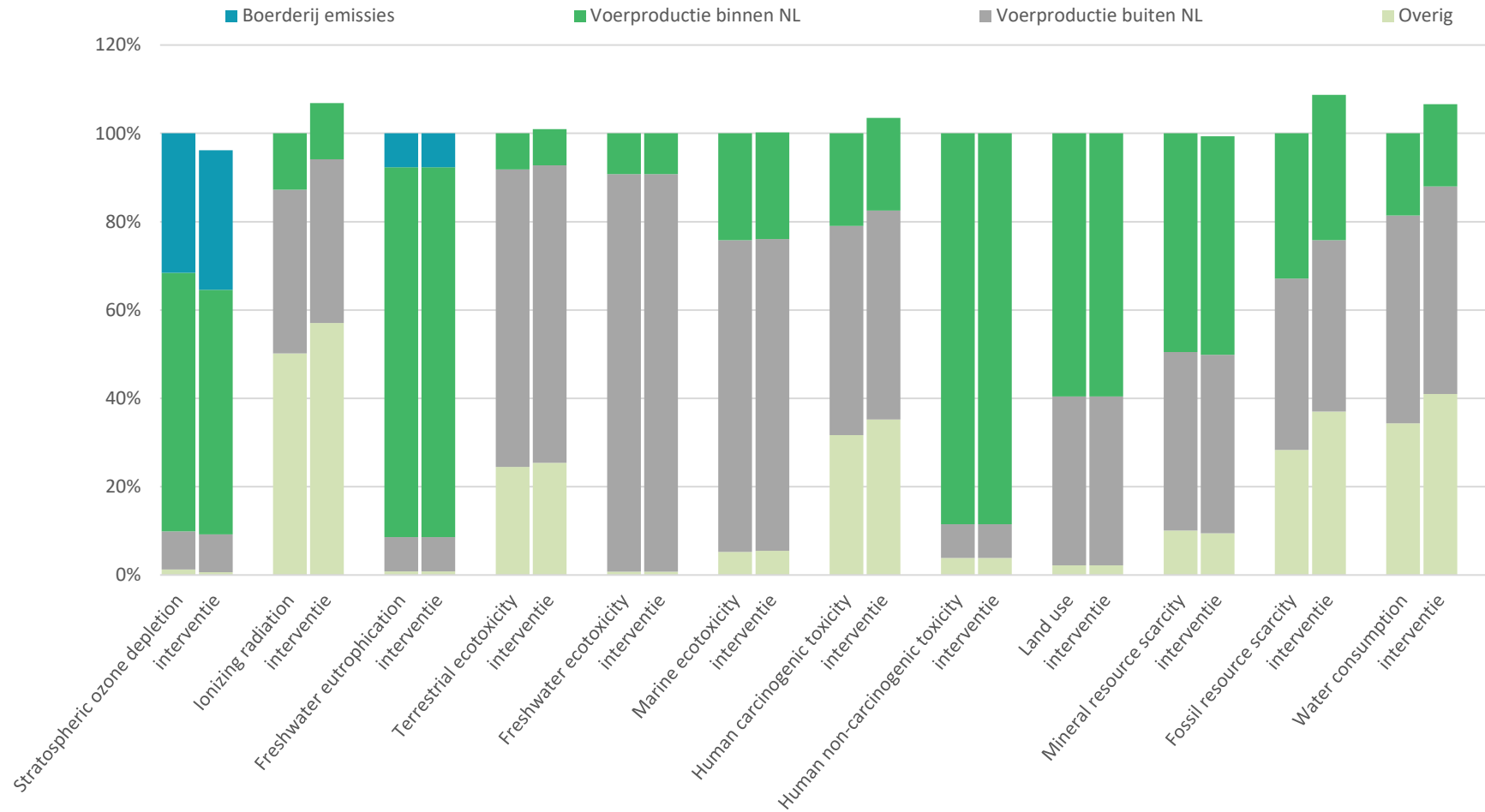
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



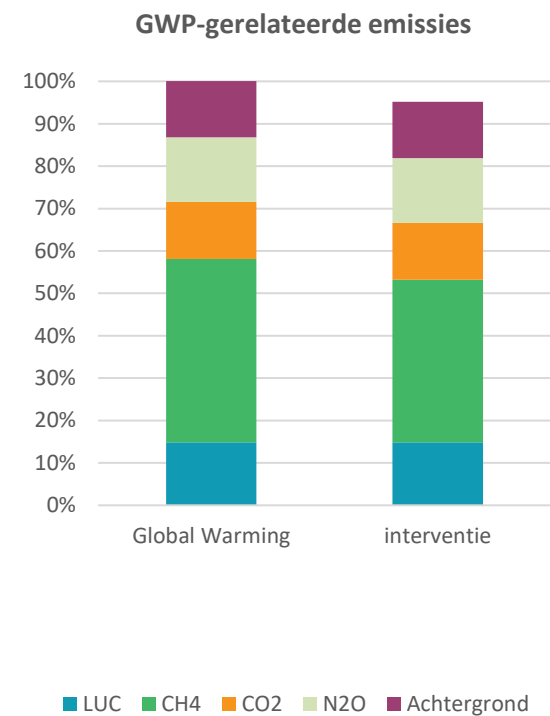
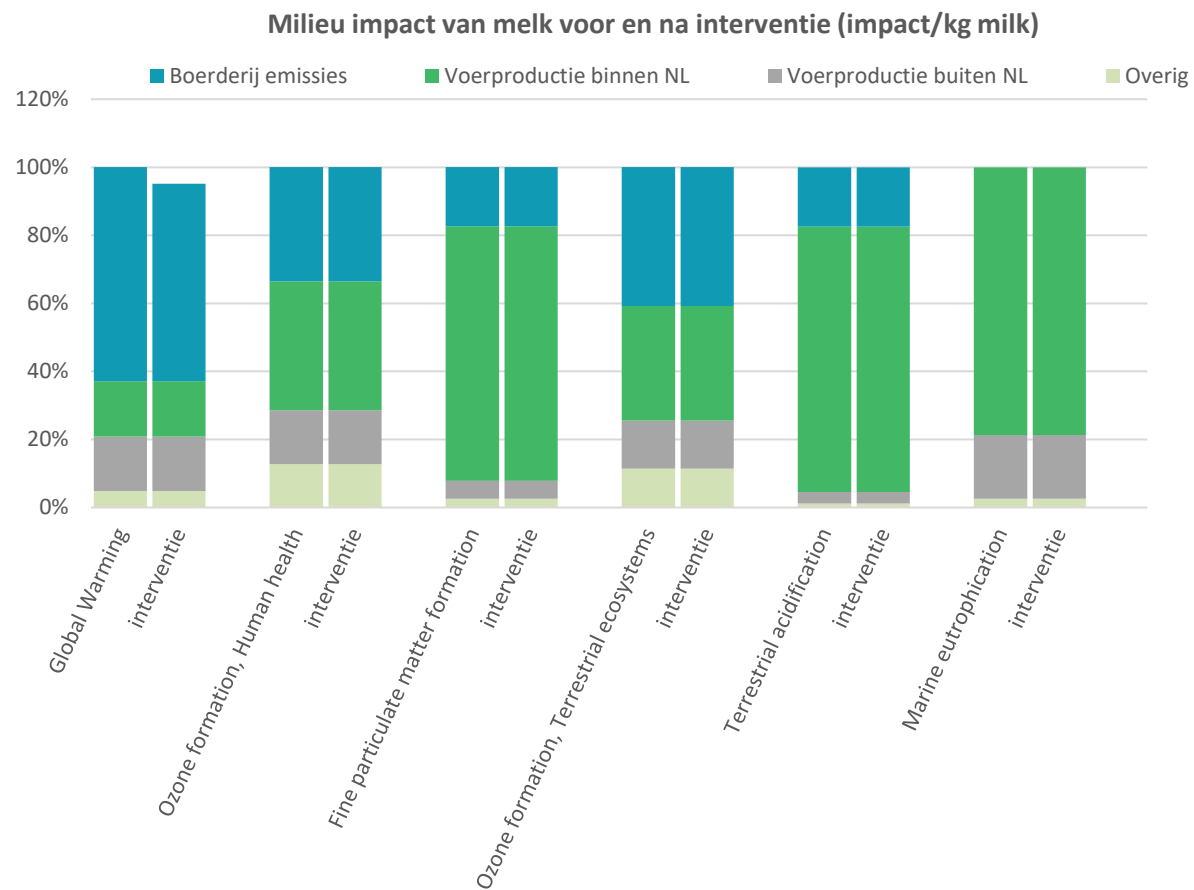
GWP-gerelateerde emissies



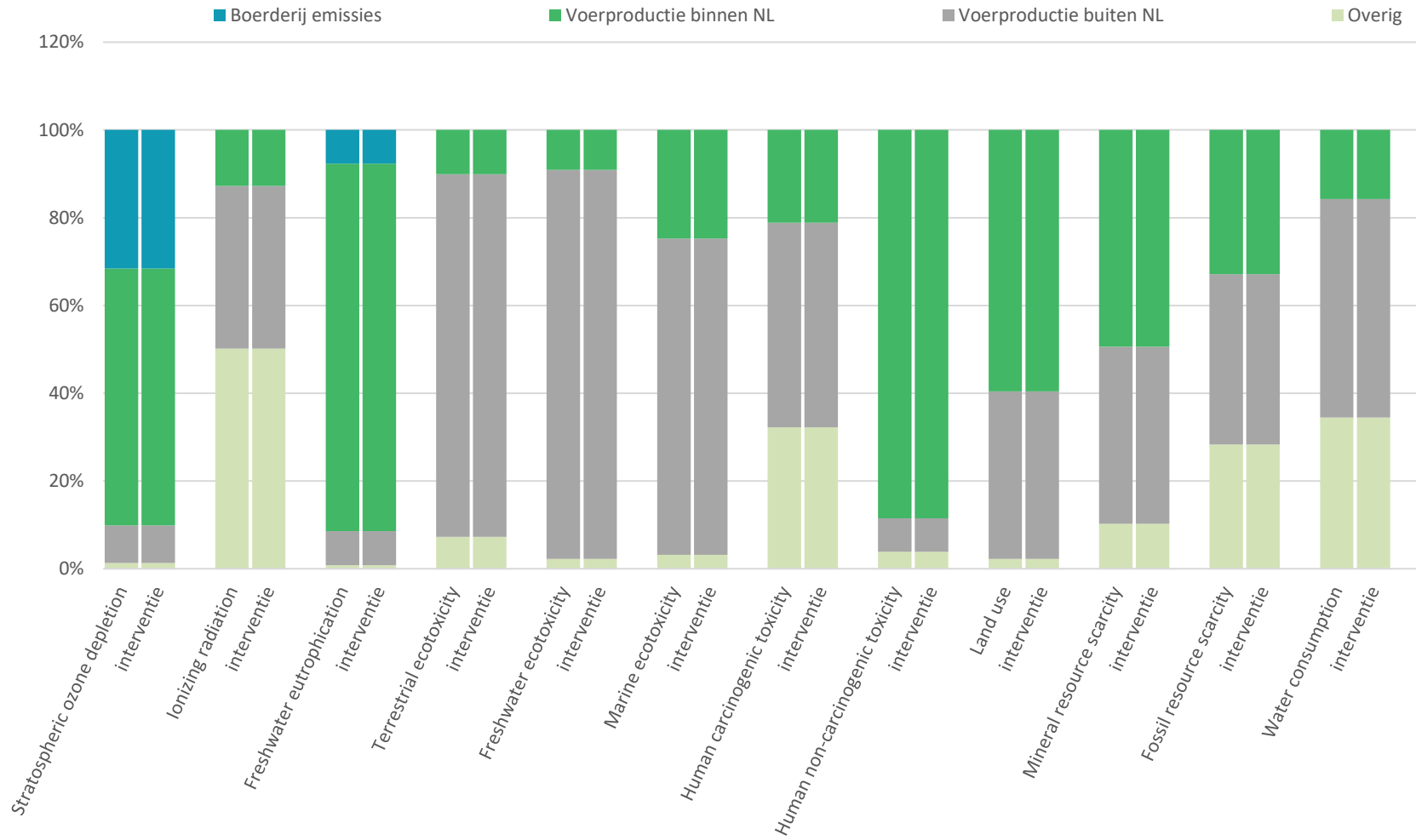
Milieu-impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



5. Frequente afvoer

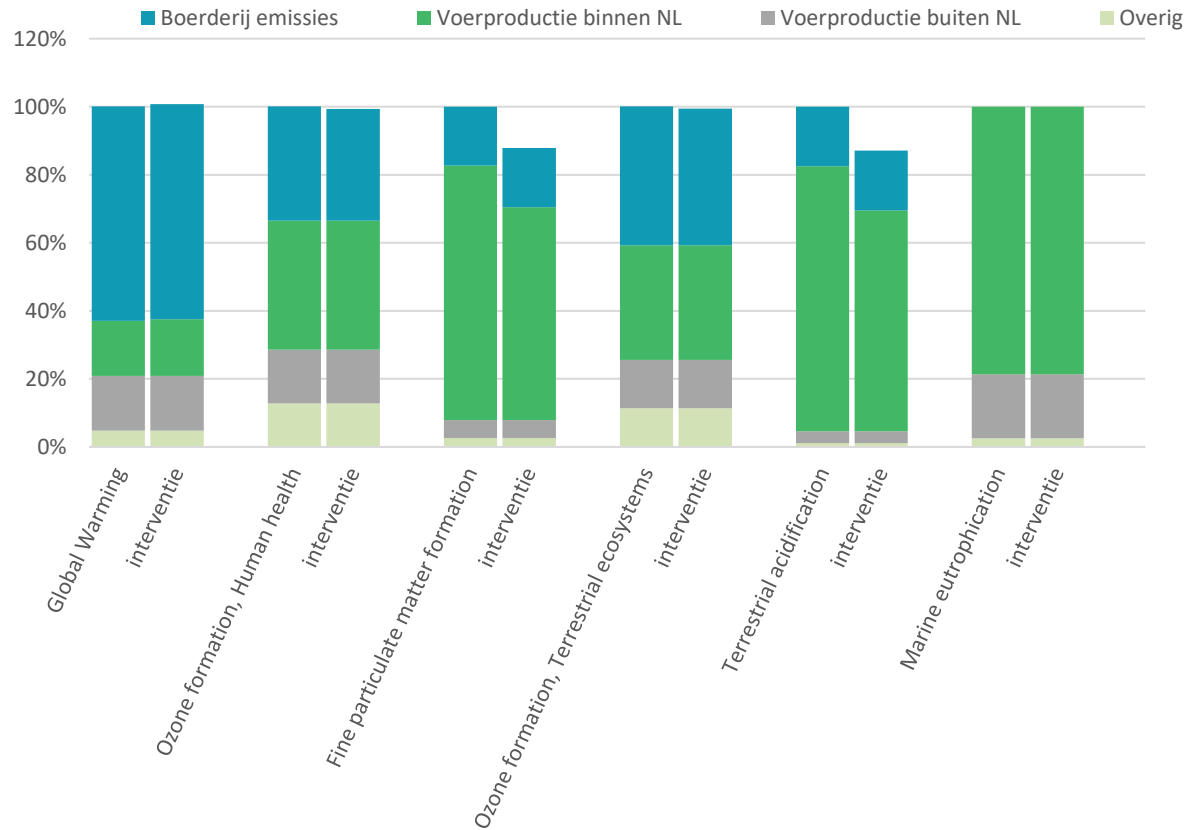


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

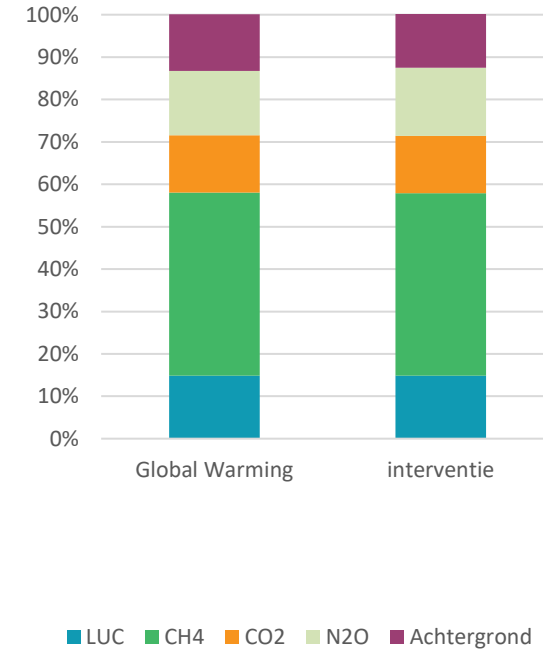


6. Primaire mestscheiding

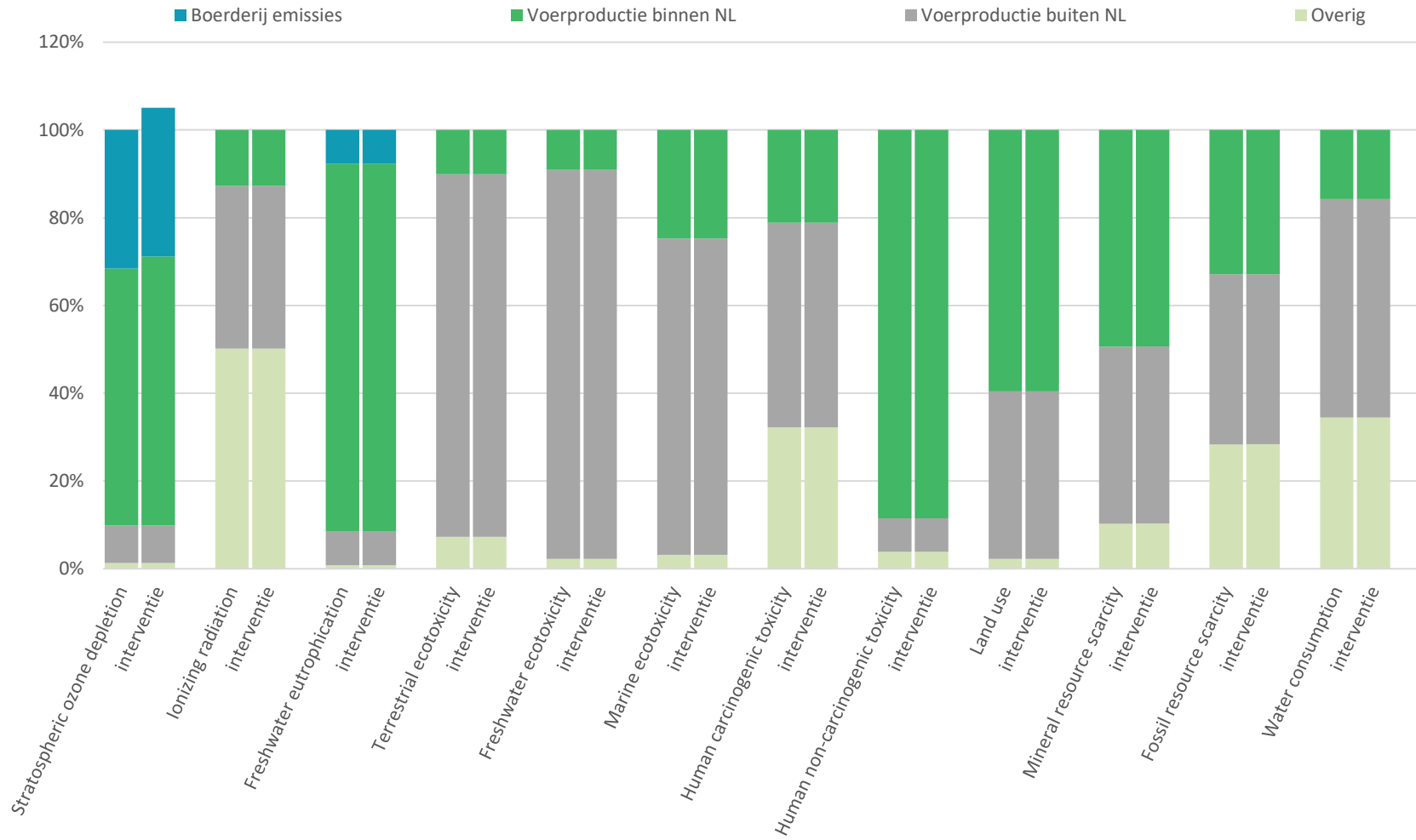
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies

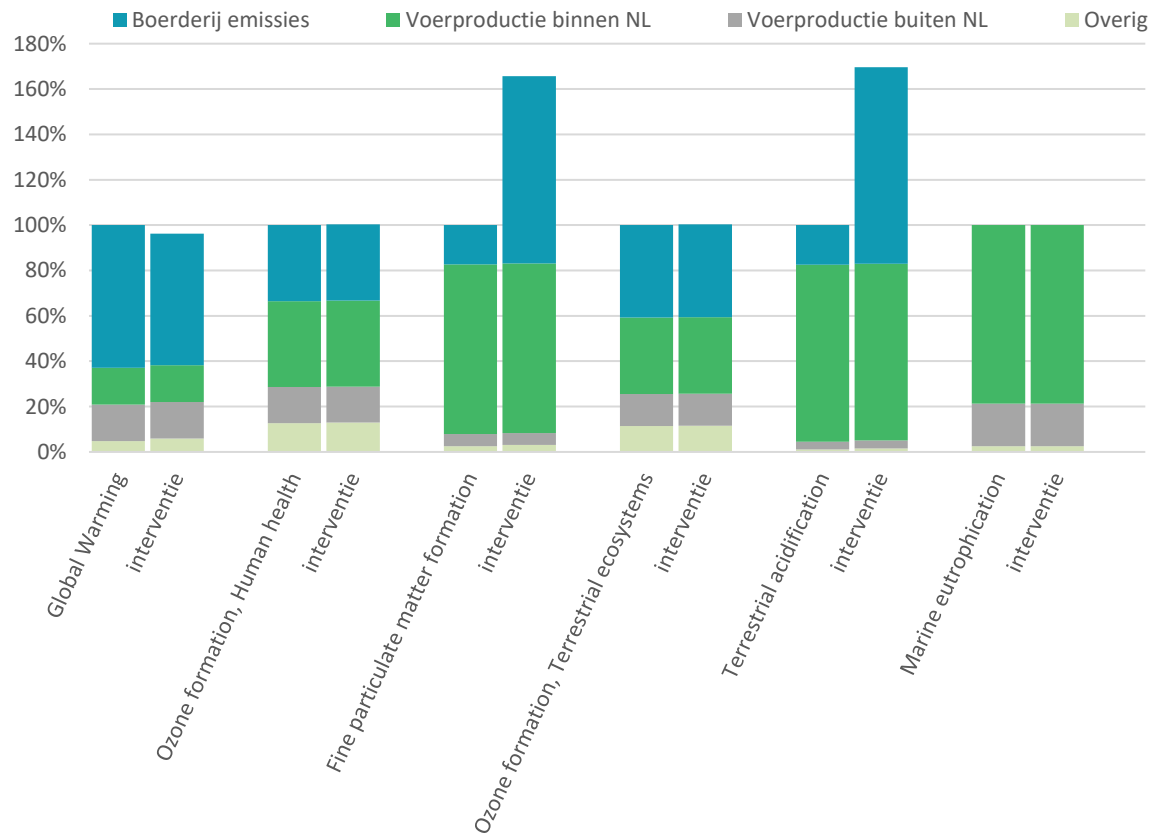


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

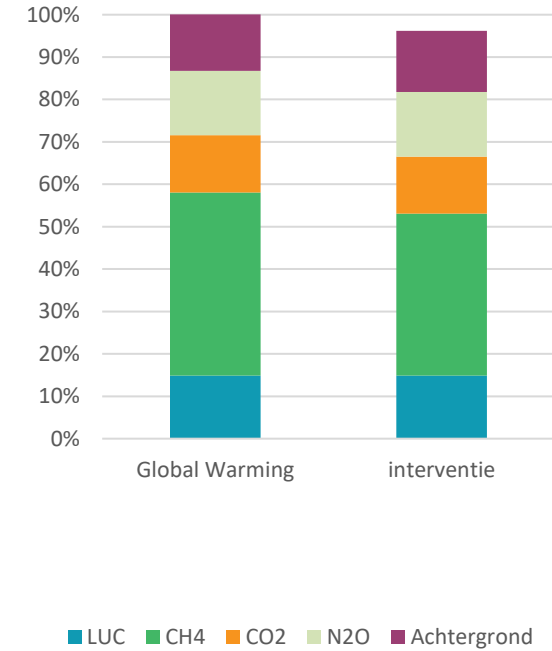


7. Drijfmest beluchten

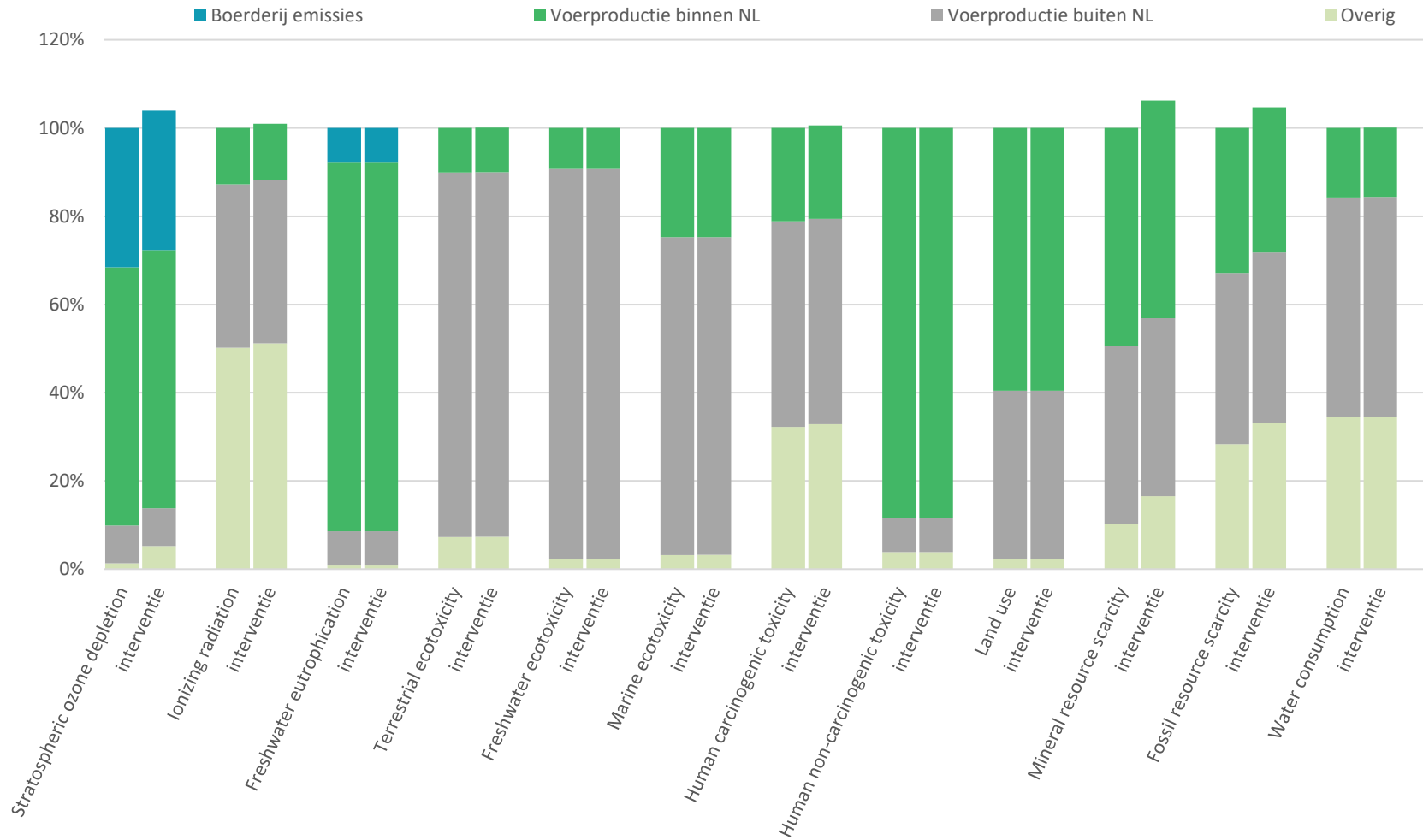
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies

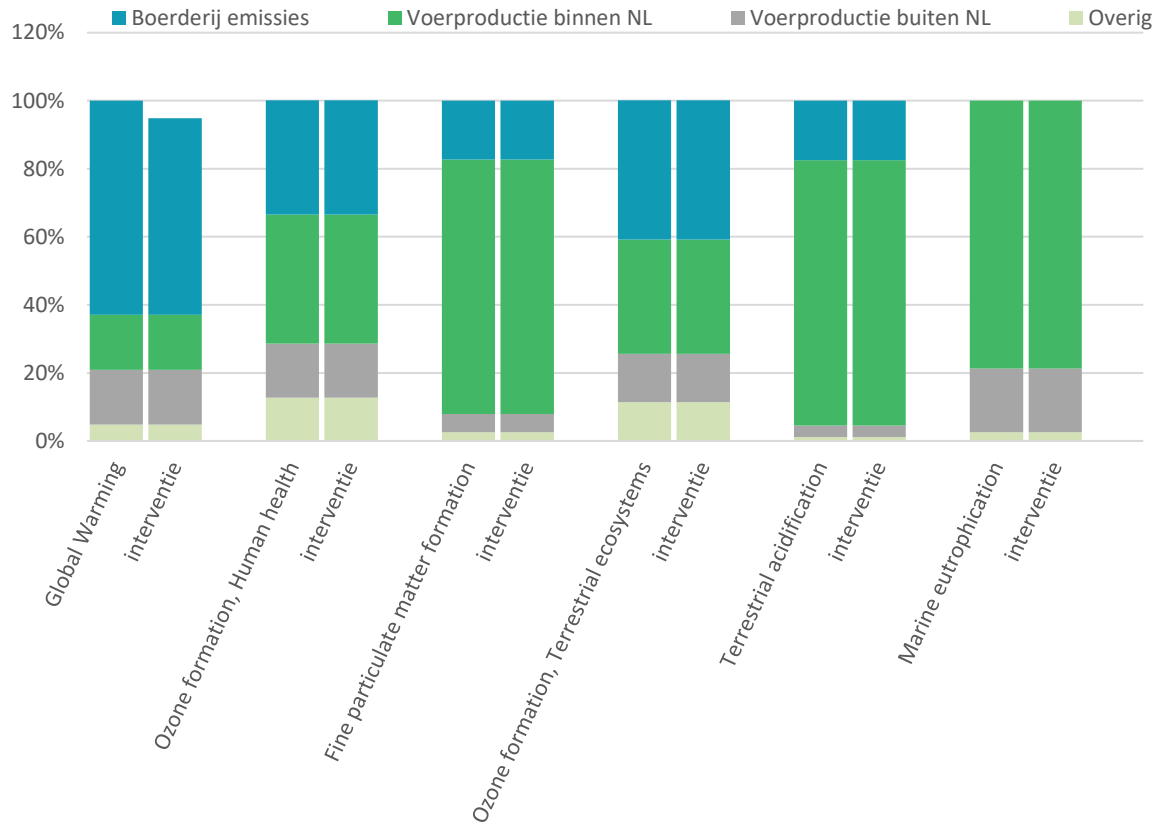


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

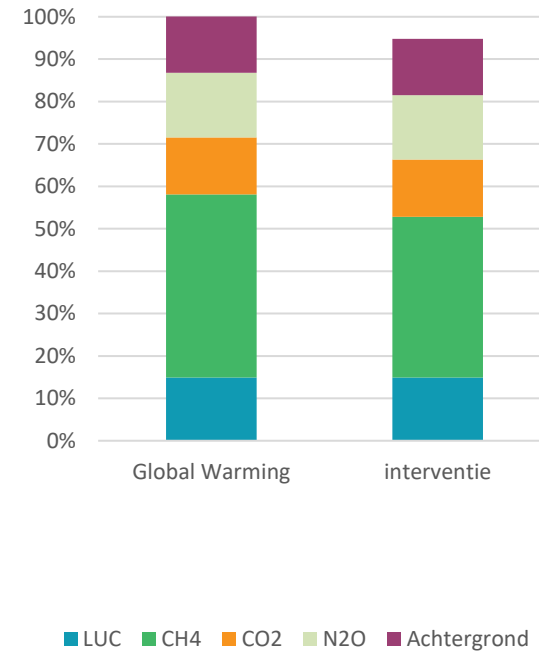


8. Gesloten opslag

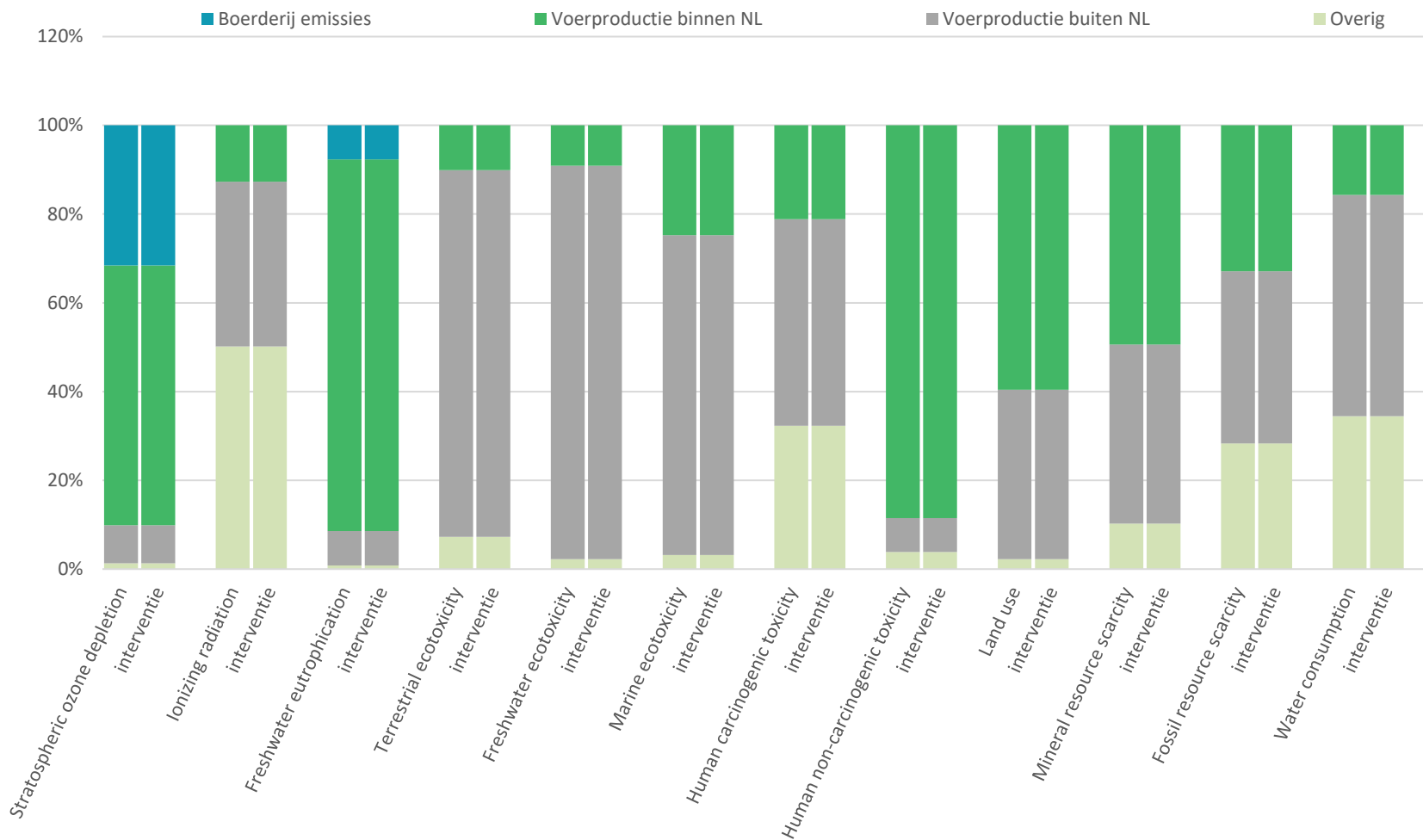
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies

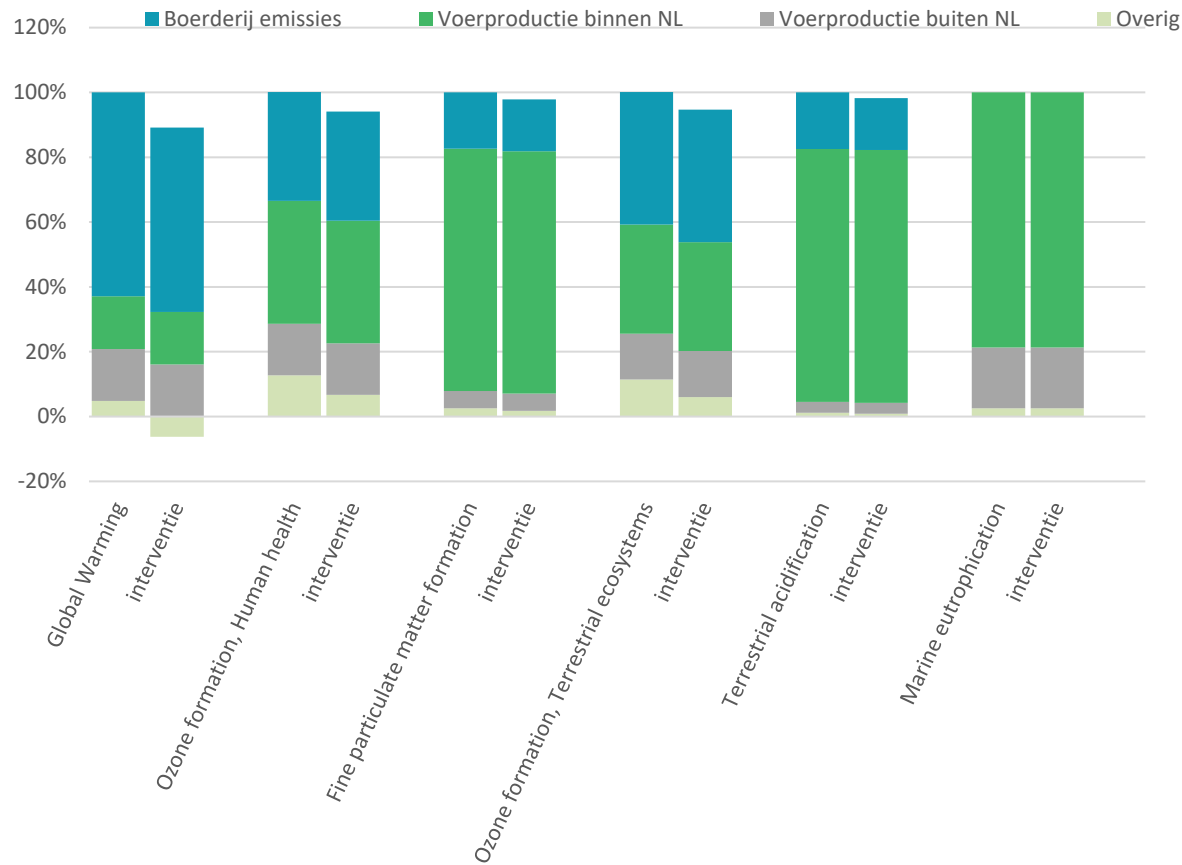


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

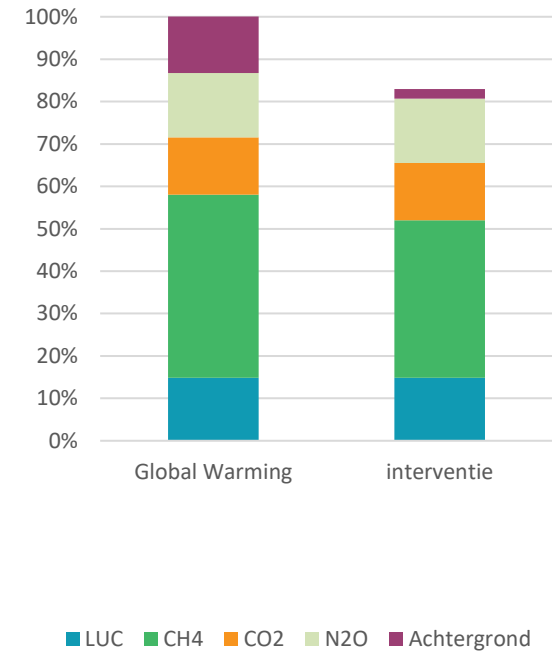


9. Vergisting

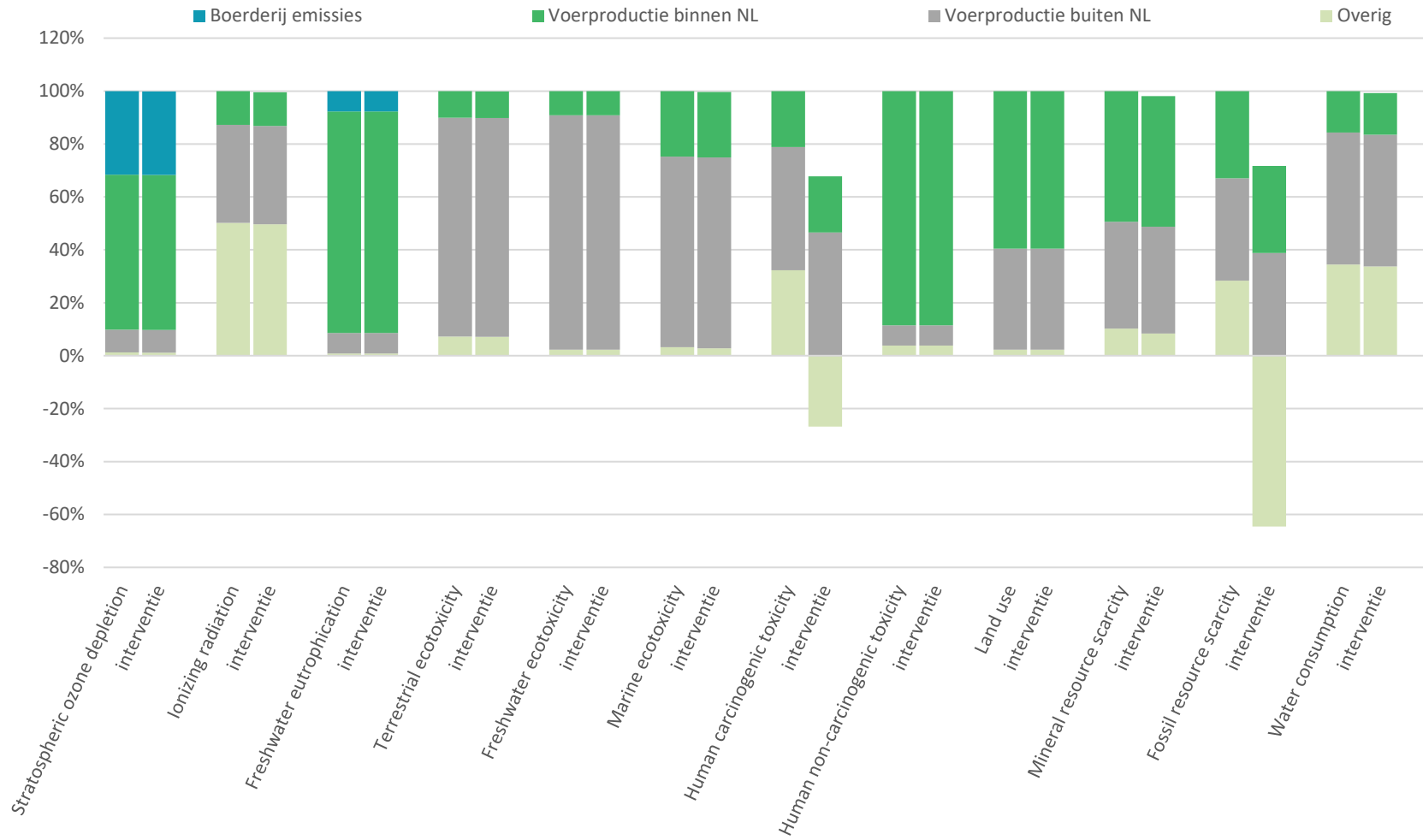
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg melk)



GWP-gerelateerde emissies

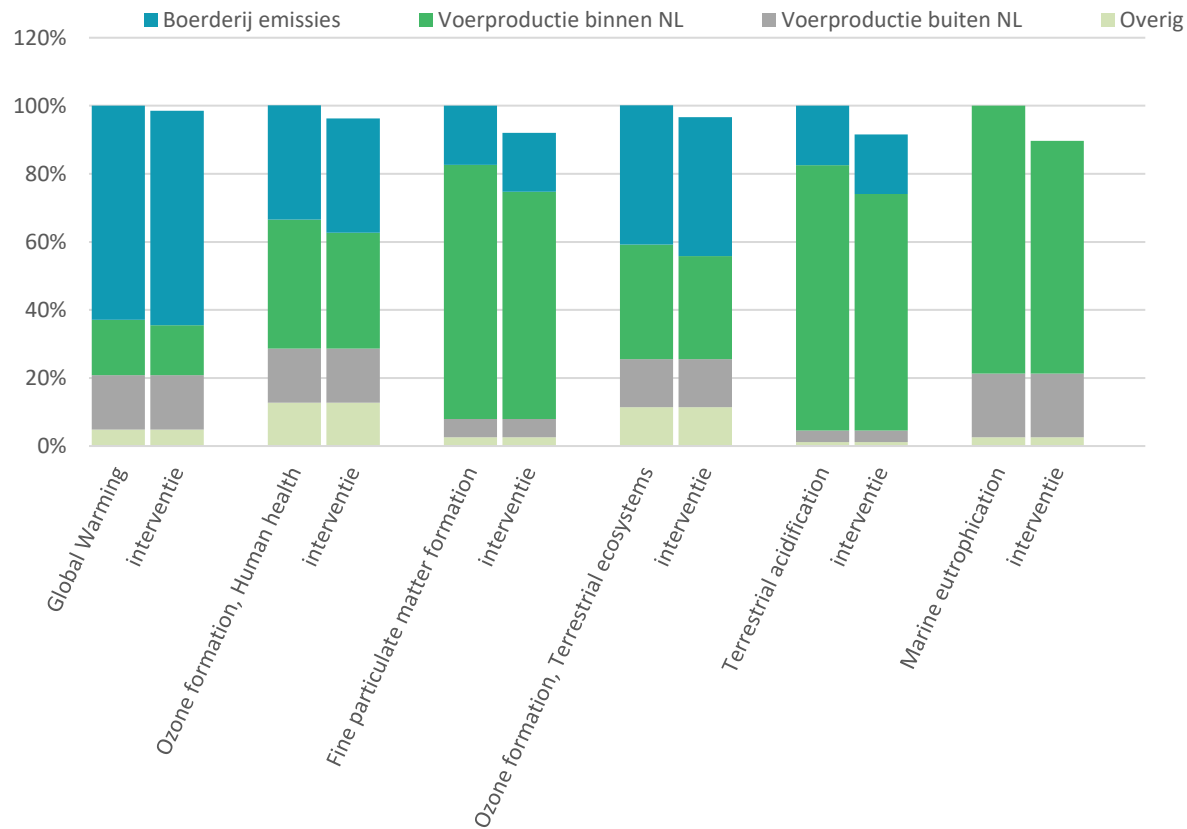


Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)

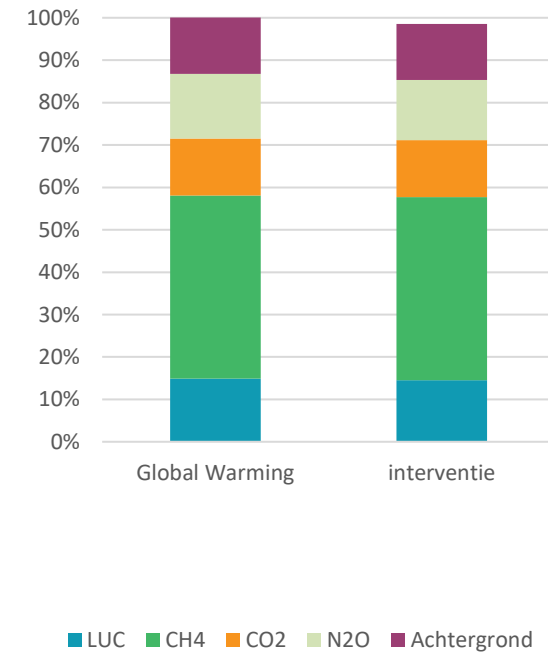


10. Bemesting efficiëntie

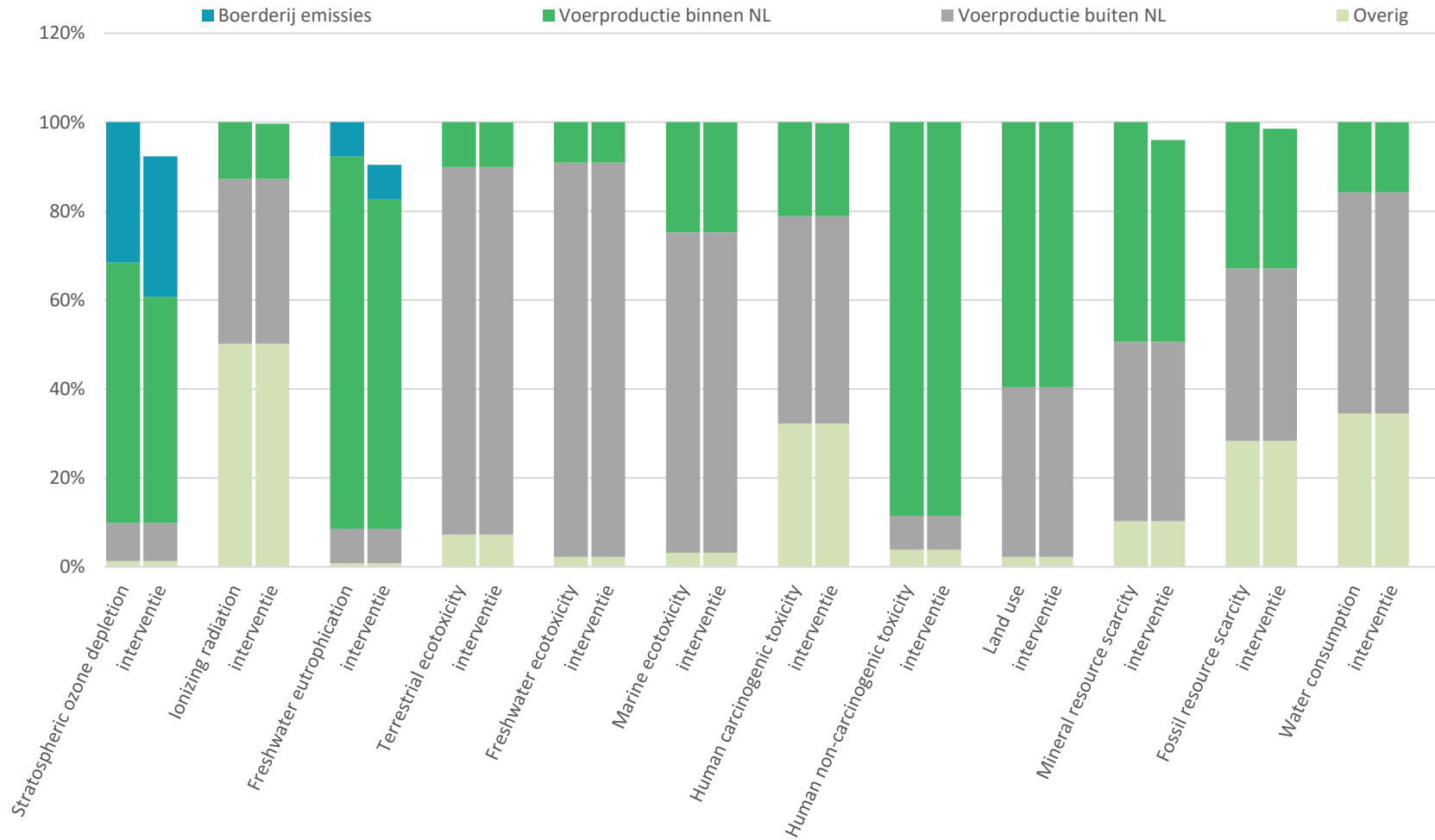
Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)



GWP-gerelateerde emissies



Milieu impact van melk voor en na interventie (impact/kg milk)





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.

Blonk Consultants

+31(0)182 579970

Groen van Prinsterersingel 45 www.blonkconsultants.nl

2805 TD Gouda

info@blonkconsultants.nl

blonk consultants