

Trendanalyse broeikaseffect dierlijke producten

Author: Lody Kuling en Hans Blonk

Date: 11-1-2016

Place: Gouda, NL

Blonk Consultants

☎ (+31) 0182 579970

Gravin Beatrixstraat 34

🏠 www.blonkconsultants.nl

2805 PJ Gouda

✉ info@blonkconsultants.nl

blonk consultants

Blonk Consultants helps companies, governments and civil society organisations put sustainability into practice. Our team of dedicated consultants works closely with our clients to deliver clear and practical advice based on sound, independent research. To ensure optimal outcomes we take an integrated approach that encompasses the whole production chain.

Trendanalyse broeikaseffect dierlijke producten

Authors: Lody Kuling en Hans Blonk

Date: 11-1-2016

Place: Gouda, NL

Samenvatting

Aanleiding

Voor de agrosectoren is bij RVO een klimaatbrochure in voorbereiding waarin effecten op de CO₂-uitstoot in beeld worden gebracht van maatregelen in de bedrijfsvoering van de agrarische sectoren. De gerealiseerde effecten zijn eerder in beeld gebracht in het rapport "Energie en klimaat in de agrosectoren" (RVO, 2014; figuren 24, 30, 36). De agrosectoren hebben de wens om niet alleen naar het verleden te kijken maar ook een indicatie van toekomstmogelijkheden op te nemen in deze klimaatbrochure.

De gegevens hiervoor ontbraken, daarom is aan Blonk Consultants gevraagd om de benodigde berekeningen voor de toekomst uit te voeren. De trendanalyse omvat de peiljaren 1990, 2012, 2020, 2030 en 2050 en moet beschouwd worden als een houtskoolschets hoe de productieketens zich kunnen ontwikkelen.

Methodiek

Blonk Consultants heeft een model ontwikkeld waarmee diverse trends verbonden kunnen worden, zodat een berekening kan worden gemaakt van het broeikas effect in de totale keten. Dit model is gebaseerd op de LCA methodiek.

Het broeikas effect van een dierlijk product wordt door een groot aantal variabelen bepaald. We maken onderscheid in generieke variabelen en specifieke variabelen. Generieke variabelen hebben betrekking op de broeikasintensiteit van generieke producten die gebruikt worden in het dierlijke productiesysteem zoals kunstmest of energieproductie, daarnaast zijn er variabelen die specifiek zijn voor het dierlijke productiesysteem, zoals het stalsysteem of de voederconversie. De emissiefactoren voor de broeikasgassen lachgas en methaan zijn constant gehouden in deze methode

Het model voor de berekening van de trendanalyses kan ook gebruikt worden voor een indicatieve vergelijking met andere landen. Op dit moment is dat maar beperkt mogelijk omdat voor veel variabelen de waarden niet gemakkelijk ingevuld kan worden voor andere landen. Voor een aantal sleutelvariabelen is echter wel informatie beschikbaar.

De modellering is specifiek ontworpen voor deze trendanalyse en de absolute resultaten kunnen niet simpel met resultaten van andere studies die gebaseerd zijn op een andere modellering worden vergeleken.

Resultaten

Varkens

De broeikas effectscore van de Nederlandse varkensvlees productie (vers, onverpakt en onbereid) daalt tussen 2012 en 2050 van ca. 3.2 kg CO₂e/kg naar 1,6 kg CO₂e/kg, oftewel een reductie van 50%. Ten opzichte van 1990 bedraagt deze reductie 70%.

Ongeveer 24% reductie is het resultaat van een verbetering van de performance van het achtergrondsysteem (de productie van generieke producten) waarin de Nederlandse varkensproductie plaatsvindt, het Business As Usual (BAU) Scenario 2050. Dit betreft een reductie in de productie van voer (grotendeels van Europese origine), de productie van energiedragers en een verbeterde efficiëntie van transport en logistiek. Binnen het Nederlandse dierhouderijsysteem zijn vooral een verlaagde voederconversie (15%), reductie van methaan door vergisting (12%) en verbetering van de slachterij efficiency (8%) de belangrijkste verbeteringen¹.

¹ De percentuele afnames zijn berekend door een 1-by-1 analyse waarin iedere factor onafhankelijk wordt gevarieerd tussen de BAU waarde voor 2050 en de waarde voor het reguliere 2050 scenario. De impacts van verschillende factoren kunnen elkaar (zowel positief als negatief) beïnvloeden en zijn daarom slechts indicatief voor een orde van grootte.

De Nederlandse varkenshouderij levert varkensvlees met een relatief lage broeikasimpact en het is waarschijnlijk dat Nederland zich bij de top bevindt in Europa, maar dat ze niet vooroploopt in de benutting van de calorische waarde van de mest en het beperken van methaanemissies van mestopslag.

Vleeskuikens

De broeikasimpactscore van de vleeskuiken productieketen in Nederland (vers product, overpakt en onbereid) neemt af van 2,1 kg CO₂e in 2012 naar 1,0 kg CO₂e in 2050. Dit is een reductie van 53% en ten opzichte van 1990 bedraagt het een reductie van 73%.

Ongeveer 26% reductie is het resultaat van een verbetering van de performance van het achtergrondstelsel waarin de Nederlandse vleeskuikenproductie plaatsvindt, het Business As Usual (BAU) Scenario 2050. Dit betreft een reductie in de productie van voer (grotendeels van Europese origine), de productie van energiedragers en een verbeterde efficiëntie van transport en logistiek. Binnen het Nederlandse dierhouderijstelsel zijn vooral een verlaagde voederconversie (20%), efficiëntieverbetering in de slachterij (8%) en energie uit zonnepanelen en windmolens (4%) de belangrijkste verbeteringen.

De voederconversie tussen de omliggende Europese landen ontloopt elkaar niet veel. Nederland behoort bij de best presterende landen. Ook qua benutting van de calorische waarde van vleeskuikenvoer behoort Nederland tot de beter presterende landen. Over het geheel genomen is het waarschijnlijk dat de Nederlandse vleeskuikenproductie qua broeikasimpactscore behoort tot de Europese top.

Melk

De broeikasimpactscore van de zuivelketen in Nederland (gemiddeld zuivel product onverpakt op melkgewichtsbasis) neemt af van 1,2 kg CO₂e in 2012 naar 0,8 kg CO₂e in 2050. Dit is een reductie van 35% en ten opzichte van 1990 bedraagt het een reductie van 59%.

Slechts 7% van de reductie is het resultaat van het achtergrondstelsel. Dit betreft de reductie in het broeikasimpact van de productie van voer en van kunstmest. Binnen de Nederlandse melkveehouderij zijn een verhoogde melkproductie (17%), mestvergisting (6%), zonnepanelen en windmolens (5%) en methaanreductie door voeradditieven de belangrijkste verbeteringen.

Nederland bevindt zich wat betreft de broeikasimpactscore per hoeveelheid melk bij de beter presterende landen (Hageman 2011). Wanneer een vergelijking gemaakt wordt met de ons omliggende landen dan lijkt er geen significant verschil te zijn.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	1
2. Vraagstelling.....	1
3. Methodiek.....	2
3.1 Productdefinities, systeemafbakening en allocatie bij co-productie	2
3.2 Variabelen in de trendanalyse	3
3.3 Constanten in het model.....	4
3.4 Vergelijking met andere landen	4
4. Resultaten trendanalyse	5
4.1 Algemene trends in achtergrondstelsel	5
4.1.1 N-kunstmestproductie	5
4.1.2 N-efficiency teelt voedergewassen	5
4.1.3 Transport en logistiek.....	5
4.1.4 Productie van elektriciteit en brandstoffen	6
4.1.5 Gebruik van energie gedurende processing.....	6
4.2 Specifieke trends varkensvlees (boerderij & slachterij)	7
4.2.1 Voerconversie.....	7
4.2.2 Stalsysteem	8
4.2.3 Mestverwerking en toepassing	8
4.2.4 Energiegebruik boerderij.....	9
4.2.5 Energieopwekking boerderij	9
4.2.6 Energiegebruik slachterij.....	10
4.2.7 Benutting bijproducten slachterij.....	10
4.3 Specifieke trends vleeskuikens (boerderij & slachterij)	11
4.3.1 Voerconversie.....	11
4.3.2 Stalsysteem	11
4.3.3 Mestverwerking en toepassing	12
4.3.4 Energiegebruik boerderij.....	12
4.3.5 Energieopwekking	13
4.3.6 Energiegebruik slachterij.....	13
4.3.7 Benutting bijproducten slachterij.....	13
4.4 Specifieke zuivel (boerderij & verwerking)	14
4.4.1 Voerconversie.....	14
4.4.2 Methaanemissiereductie door gebruik voederadditieven.....	15
4.4.3 Stalsysteem en mestopslag	15
4.4.4 Mestverwerking en toepassing	15

4.4.5 Energiegebruik.....	16
4.4.6 Energieopwekking boerderij	16
4.4.7 Energiegebruik zuivelverwerking	17
4.4.8 Benutting bijproducten	17
5. Broeikas effect trends Nederlandse dierlijke productieketens.....	18
5.1 Varken	18
5.2 Vleeskuikens.....	18
5.3 Melk	19
6. Vergelijking met andere landen	20
6.1 Varken	20
6.2 Vleeskuiken	21
6.3 Melk	22
7. Bronvermelding.....	23
Appendix 1	25

1. Inleiding

Voor de agrosectoren is een klimaatbrochure in voorbereiding bij RVO waarin effecten in beeld worden gebracht van maatregelen in de bedrijfsvoering van de agrarische sectoren op de CO₂-uitstoot. De gerealiseerde effecten zijn eerder in beeld gebracht in het rapport “Energie en klimaat in de agrosectoren” (RVO, 2014; figuren 24, 30, 36). De agrosectoren hebben de wens om niet alleen naar het verleden te kijken maar ook een indicatie van toekomstmogelijkheden op te nemen in deze klimaatbrochure.

De gegevens hiervoor ontbraken en Blonk Consultants die eerder ook de onderliggende berekeningen had gemaakt voor de gerealiseerde effecten, is gevraagd om de benodigde berekeningen voor de toekomst uit te voeren. Uit andere publicaties blijkt dat de voedselconsumptie in Nederland ca. 20% bijdraagt aan de totale klimaatbelasting, waarbij de grootste bijdragen komen van vlees- en zuivelconsumptie (PBL, 2016, Westhoek et al., 2013, WRR, 2014). Daarom zijn met name de vlees- en zuivelketen doorgerekend. Met het model van Blonk Consultants kunnen diverse trends zodanig worden verbonden, dat een berekening kan worden gemaakt van het broeikas effect in de totale keten. Het resultaat is een ‘houtschoolschets’, die uiteraard verder verfijnd kan worden.

2. Vraagstelling

Dit rapport is het resultaat van een trendanalyse van de broeikas effect scores van Nederlandse dierlijke productieketens, zuivel, varkens en pluimvee in relatie tot ingezet en nieuw beleid in Nederland en het buitenland. Ook is er een verkennende analyse gemaakt van hoe de broeikas effect scores van de Nederlandse dierlijke productieketens zich verhouden tot die in het buitenland.

De trendanalyse omvat de peiljaren 1990, 2012, 2020, 2030 en 2050 en moet beschouwd worden als een realistisch scenario waarbij de productieketens zich ontwikkelen naar meer milieu-efficiënte productie gestimuleerd door Europees en nationaal milieubeleid. Binnen Europa is dat het beleid gericht op reductie van het broeikas effect en binnen Nederland is dat het milieubeleid dat zich enerzijds richt op het voortgaand beperken van verzuring en vermesting door de landbouw en anderzijds op het stimuleren van energie-efficiëntie en productie van “groene” energie.

Het resultaat van de trendanalyse is een houtschoolschets die uiteraard verfijnd kan worden. Dit model kan hier en daar verfijnd worden maar is een goede basis voor een verdere monitoring van voortgang in broeikas effect van dierlijke productieketens.

3. Methodiek

De methodiek om het broeikaseffect van dierlijke producten te berekenen is in grote lijnen dezelfde als die wordt gehanteerd voor de resultaten in de figuren 24, 30 en 36 van het RVO rapport (Energie en Klimaat in agrosectoren 2AGRP1406). Hieronder wordt deze methodiek nader toegelicht.

3.1 Productdefinities, systeemafbakening en allocatie bij co-productie

De producten waarvan we hier het broeikaseffect in kaart brengen zijn abstracte eindproducten zoals die worden geproduceerd tot aan de retail exclusief de verpakking die nodig is om het product tussentijds te verpakken en aan te bieden aan de consument.

- 1000 kg “vers vlees” af slachterij zonder verpakking
- 1000 liter melk met gemiddelde verwerking zonder verpakking

Bij de berekening van het broeikaseffect van de dierlijke producten wordt de gehele keten van productie van veevoedergrondstoffen tot het hier beschouwde product meegenomen. Een aantal processen zijn conform da eerder gebruikte methodiek niet meegenomen in deze analyse. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de wel en niet meegenomen processen. Het ontbreken van de hier genoemde processen geeft naar schatting een onderschatting van ca. 5% van het broeikaseffect.

Tabel 1 Overzicht van wel en niet meegenomen processen in het gebruikte model.

Ketenstap	Wel meegenomen	Niet meegenomen
(Eigen) Voederproductie	<ul style="list-style-type: none"> • Energiegebruik voor teelt, processing, transport • Voor teelt productie en gebruik van N-meststoffen • Productieketens van niet plantaardige producten • Mengen en pelletiseren • Alle relevante emissies van lachgas en methaan, voor Nederland gebaseerd op NIR, voor rest wereld op basis van IPPC Tier 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Productie van P,K meststoffen • Productie van bestrijdingsmiddelen, • afschrijving van kapitaalgoederen
Boerderij in Nederland	Energiegebruik, alle relevante emissies van lachgas en methaan, voor Nederland gebaseerd op NIR, voor rest wereld op basis van IPCC Tier 2	<ul style="list-style-type: none"> • Productie van andere verbruiksgoederen dan energie • Afschrijving van kapitaalgoederen
Slachterij/Zuivelverwerking	Energiegebruik	<ul style="list-style-type: none"> • Productie van andere verbruiksgoederen dan energie • Afschrijving van kapitaalgoederen

In de dierlijke productieketens zijn er veel productieschakels waar meerdere producten tegelijkertijd worden geproduceerd. In dat geval zijn er verschillende oplossingen om de milieueffecten tot en met die schakel te verdelen over de co-producten.

Een eerste manier is de impact van een co-product te bepalen door een vermeden productiescenario vast te stellen. Stel bijvoorbeeld dat de stikstof in dierlijke mest niet beschikbaar zou zijn. Hoeveel extra N-kunstmest zou er dan geproduceerd moeten worden om dat te compenseren? Deze hoeveelheid hoefde niet geproduceerd te worden en de milieueffecten van deze vermeden productie worden vervolgens afgetrokken van de dierlijke productie keten. Deze manier van allocatie door vermeden productie is hier toegepast voor de productieschakels boerderij (vervanging van N-kunstmest productie op basis van N-kunstmestwerking dierlijke

mest en productie van energieproducten uit dierlijke mest en kadavers) en de productieschakel slachterij (productie van energieproducten, meststoffen en pet-food uit slachtbijproducten). Een meer uitgebreide beschrijving van deze methode is beschreven in (Kool, Plumiers, & Blonk, 2013b). De impact van vermeden productie verandert in de tijd omdat deze in de regel meer efficiënt wordt, zodat het vermeden effect per saldo minder wordt.

Een tweede manier van allocatie is door de milieueffecten tot en met de schakel van co-productie te verdelen op basis van een allocatiefactor. Eerst wordt dan een massabalans opgesteld van een productieschakel en de milieu-impact wordt dan verdeeld over alle massa die uit het proces komt en niet wordt beschouwd als afval. De massafracties van de verschillende outputs worden dan weer vermenigvuldigt met een allocatiefactor. Dit kan zijn de prijs, we praten dan over economische allocatie (of allocatie op bijdrage aan de omzet) of een fysische factor zoals de energie-inhoud van co-producten of de energie die nog was om de co-producten te genereren. Wanneer er een fysieke variabele is die een causaal verband heeft met de milieu-impact van het productieproces dan heeft deze de voorkeur boven economische allocatie. In de praktijk kan zo'n fysieke variabele vaak niet worden gevonden en wordt economische allocatie toegepast.

Allocatie is toegepast voor de toeleverende ketens aan Nederlandse dierlijke productie volgens de meest recente voorstellen in het Europese PEF (Product Environmental Footprint) project. Hier worden de rekenregels geformuleerd voor LCAs van specifieke productgroepen zoals diervoeder en melkveehouderij. Voor diervoeder is een economische allocatie toegepast (denk aan sojabonenolie en sojabonenmeel) en voor de melkveehouder een biofysische allocatie (verdeling over melk en dieren naar de slachterij).

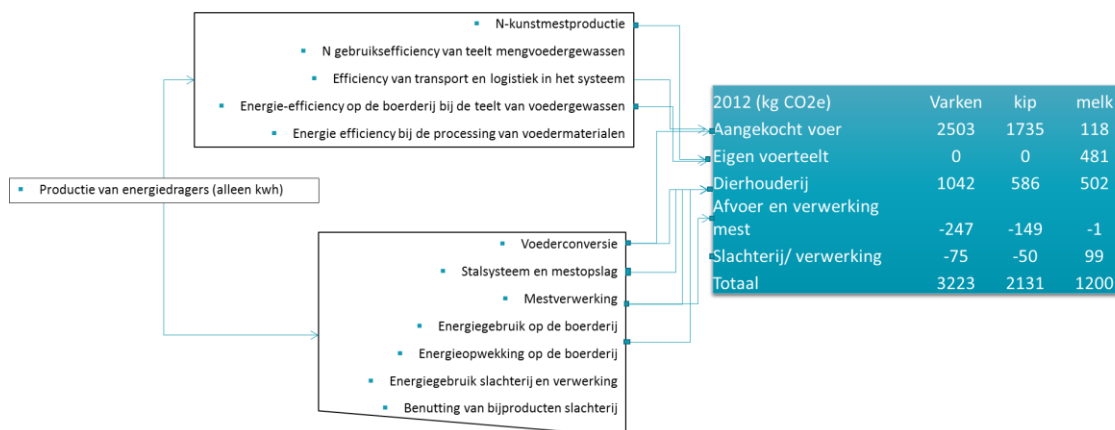
3.2 Variabelen in de trendanalyse

Het broeikas effect van een dierlijk product wordt door een groot aantal variabelen bepaald. We maken onderscheid in generieke variabelen en specifieke variabelen. Generieke variabelen hebben betrekking op de broeikasintensiteit van generieke producten die gebruikt worden in het dierlijke productiesysteem.

De belangrijkste generieke variabelen in het model zijn:

1. N-kunstmestproductie
2. N gebruiksefficiency van teelt voedergewassen (mengvoeder, ruw voer, gras)
3. Efficiency van transport en logistiek in het systeem
4. Productie van energiedragers
5. Energie efficiency bij de processing van voedermaterialen

Voor deze variabelen wordt een ontwikkeling aangenomen gestuurd door efficiencyverbetering en ingezet Europees broeikasgasreductiebeleid. De ontwikkeling wordt als autonoom beschouwd omdat ze onafhankelijk zijn van de inspanningen om de broeikasgasperformance van Nederlandse dierlijke productiesystemen te verbeteren.



Figuur 1: Overzicht van belangrijke generieke en specifieke variabelen voor de dierlijke productiesystemen.

Daarnaast zijn er variabelen die specifiek zijn voor het dierlijke productiesysteem, zoals:

1. De voederconversie
2. Stalsysteem en mestopslag
3. Mestverwerking
4. Energiegebruik op de boerderij
5. Energieopwekking op de boerderij
6. Energiegebruik slachterij (indien van toepassing) en verwerking
7. Benutting van bijproducten slachterij

De ontwikkeling in deze variabelen verschilt per dierlijk productiesysteem. Deels gaat het om autonome efficiency ontwikkeling zoals ten aanzien van een verbetering van de voederconversie. Deels gaat het om ontwikkelingen die vanuit Nederlands milieubeleid worden gestuurd zoals het reduceren van ammoniakemissies en het mestbeleid.

We zijn in deze studie er vanuit gegaan dat alle ontwikkelingen plaats vinden als gevolg op ingezet milieubeleid. Er worden geen aanvullende eisen gesteld aan dierenwelzijn. Diergezondheid wordt gehandhaafd op het huidige niveau of zelfs verbeterd om betere productieprestaties te waarborgen maar er worden geen aanvullende maatregelen getroffen gerelateerd aan zaken zoals ruimte, uitloop, stalinrichting etc.

3.3 Constanten in het model

In het model zijn er ook verschillende factoren constant verondersteld. Een aantal van de belangrijkste constanten voor de broeikas effectscore zijn de emissiefactoren die gehanteerd zijn om lachgasemissies te berekenen. In deze studie zijn deze gebaseerd op de Nederlandse NIR 2014 van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. In Tabel 23 in Appendix 1 zijn deze constanten voor lachgasemissies weergegeven inclusief bronvermelding. In de voorgaande rapportage waren we uitgegaan van de default IPCC waarden. Het gebruik van de Nederlandse methodiek voor de NIR geeft een verlaging van de impact voor varkens en vleeskuikens en een verhoging voor zuivelproducten.

3.4 Vergelijking met andere landen

Het model voor de berekening van de trendanalyses kan ook gebruikt worden voor een indicatieve vergelijking met andere landen te maken. Op dit moment is dat maar beperkt mogelijk omdat voor veel variabelen kennis ontbreekt van de situatie in andere landen. Voor een aantal sleutelvariabelen is wel informatie beschikbaar. In "hoofdstuk 6. Vergelijking met andere landen" wordt dit verder uitgewerkt.

4. Resultaten trendanalyse

4.1 Algemene trends in achtergrondstelsel

4.1.1 N-kunstmestproductie

Wat betreft de productie van kunstmest hebben we alleen stikstof (N)-kunstmest meegenomen in deze studie². N-kunstmestproductie bepaalt thans tussen de 5 en 15% van het broeikas effect van dierlijke producten. We hebben gefocust op de Europese N-kunstmestproductie gebaseerd op aardgas en aangenomen dat de in Europa gebruikte N-meststoffen ook voornamelijk in Europa worden geproduceerd. De mengvoedergrondstoffen van Nederlandse mengvoerders komen grotendeels uit Europa. De belangrijkste grondstof van buiten Europa is sojabonen. Het gebruik van N-kunstmest is daar echter relatief gering omdat het gewas stikstof bindt en daarom weinig N-bemesting krijgt.

De huidige broeikasgasemissie als gevolg van Europese N-kunstmest productie zijn gebaseerd op (Brentrup & Palliere, 2008). Zij berekenen dat de gemiddelde broeikasemissies per kg N-kunstmest ongeveer 6 kg CO₂e bedragen, waarvan ongeveer 60% een gevolg is van N₂O-emissies tijdens het productieproces. Verder stellen zij dat de "Best Available Technology (BAT)" een emissie heeft van slechts 2.6 kg CO₂e per kg N-kunstmest. De voornaamste winst wordt bij deze technologie behaald in de reductie van N₂O-emissies, die 80% lager liggen dan het huidige gemiddelde. Daarnaast is de CO₂-emissies vanwege brandstofgebruik bij de BAT ook meer dan 20% lager. De potentiële winst die behaald kan worden, wordt ingeschat op circa 55% (Brentrup & Palliere, 2008). Als voorzichtige schattingen voor 2030 en 2050 nemen we daarom respectievelijk 30% en 50% reductie aan. De broeikasgasemissie van Europese N-kunstmest productie in 2050 bedraagt dan 3.1 kg CO₂e per kg N-kunstmest.

4.1.2 N-efficiency teelt voedergewassen

De N-efficiency van plantaardige teelt is de coëfficiënt van welk deel van totale N-gift wordt vastgelegd als stikstof in de plant. Deze is in Nederland en de andere Europese landen waar voedergrondstoffen worden geteeld aanzienlijk verbeterd in de afgelopen 30 jaar. Gemiddeld genomen ligt die nu rond de 0,6. De verwachting is dat deze door zal ontwikkelen tot 0,75 in 2050 (Zhang et al., 2015).

4.1.3 Transport en logistiek

Efficiëntie verbeteringen in transport en logistiek zijn voornamelijk belangrijk voor het transport van mengvoedergrondstoffen. Daarnaast heeft het een kleine impact op het transport van (co-)producten. (Capros et al., 2013) hebben in een grote studie voor de Europese commissie een trendanalyse voor de energie-efficiëntie van transport voor 2050 gemaakt. Zij verwachten dat de energie-efficiëntie van wegtransport met 22% zal toenemen vergeleken met 2005. Wij hebben deze trend vertaald naar een afname van 20% van het broeikas effect voor transport vanaf ons referentiejaar, 2012.

Overigens is het ook aannemelijk dat de broeikasgasintensiteit van de energiedragers gebruikt in transport en logistiek gaat afnemen, door bijvoorbeeld het bijmengen van biobrandstoffen en/of het overschakelen naar transport op basis van duurzame elektriciteit. Dit type ontwikkelingen hebben wij in deze studie niet meegenomen.

² De productie van fosfaatmeststof heeft een veel geringere impact op de carbon footprint dan de N-kunstmestproductie. Dit komt enerzijds door het feit dat de hoeveelheid fosfaat (in kg nutriënt) die gebruikt wordt in de feed industrie lager is dan de hoeveelheid stikstof. Anderzijds zijn de broeikasgasemissies per kg nutriënt voor fosfaatmeststof vele malen lager is dan voor N-kunstmest.

4.1.4 Productie van elektriciteit en brandstoffen

De mix van primaire energiedragers waarmee elektriciteit wordt opgewekt zal sterk gaan veranderen in de nabije toekomst. In Europa is een transitie gaande naar een hoger gebruik van duurzame bronnen van elektriciteit. Nederland bevindt zich nog echter in de achterhoede wat betreft het percentage duurzame elektriciteit en mede daarom is de broeikasgasemissie per kWh ook relatief hoog. Op dit moment is de verwachting dat deze discrepantie in broeikasgasemissie per kWh tussen Nederlandse en Europese elektriciteit alleen maar groter zal worden. De emissiefactor van de Europese elektriciteitsmix is in ons model van belang voor de productie van mengvoedergrondstoffen, welke voornamelijk in Europa plaatsvindt. De emissiefactor voor Nederlandse elektriciteitsmix is van belang voor alle processen op de boerderij en de slachterij en de Nederlandse mengvoederproductie.

In deze studie wordt ook de elektriciteit die op de boerderij wordt geproduceerd meegerekend. Dit betekent dat we voor deze (en andere) lokaal opgewekte elektriciteit moeten corrigeren in totale emissiefactoren voor Nederland. In Nederland is door (Harmelink et al., 2012) de zogenaamde referentieparkmethode opgesteld, waarmee de emissiefactor bepaald kan worden voor centraal opgewekte elektriciteit. Voor de emissiefactor van 2012 is (CBS, 2014) gebruikt. De mix van primaire energiedragers voor elektriciteitsopwekking tot 2030 zijn gebaseerd op de Nationale Energieverkenning 2015 (ECN, 2015) en vervolgens lineair geëxtrapoleerd tot aan 2050. De conversie efficiëntie van primaire energiedragers naar elektriciteit is gebaseerd op (ECN, 2009). Een overzicht van de gebruikte emissiefactoren voor Nederlands elektriciteit is te zien in Tabel 2.

Tabel 2 Nederlandse emissiefactoren voor centraal opgewekte elektriciteit (referentiepark)

Jaar	Emissiefactor (referentiepark) kg CO ₂ -eq/kWh
1990	0.65
2012	0.61
2020	0.55
2030	0.54
2050	0.49

In deze studie hebben we de broeikasgasemissie van Europese elektriciteit gebaseerd op een grote studie voor de Europese Commissie van (Capros et al., 2013). Zij stellen dat de broeikasgasuitstoot van elektriciteitsproductie in Europa gemiddeld zal afnemen van 0.58 tot 0.16 kg CO₂e/kWh, oftewel een reductie van 70%. Wij hebben, mede naar aanleiding van de eerder genoemde scheiding tussen centraal en lokaal opgewekte elektriciteit, een iets conservatievere schatting gemaakt en gebruiken een reductie van 50% tussen 2012 en 2050.

4.1.5 Gebruik van energie gedurende processing

De processing van diervoer bestaat voor een belangrijk deel uit het drogen van natte materialen, zoals bijvoorbeeld pulpen en producten uit de zetmeelindustrie. Voor processing hebben we aangenomen dat veranderingen in de warmteproductie leidend zijn. Aangezien de verwerking van diervoer een internationale markt is hebben we enkel gekeken naar trends in energie-efficiëntie en broeikasintensiteit in een Europese context. (Capros et al., 2013) hebben in een grote studie voor de Europese commissie een trend analyse voor zowel de energie-efficiëntie als de broeikasgasintensiteit gemaakt. Zij verwachten een toename in energie-efficiëntie van 27% tot 2050 en een afname van broeikasgasintensiteit van 20%. Deze waarden zijn in deze studie gebruikt.

4.2 Specifieke trends varkensvlees (boerderij & slachterij)

4.2.1 Voerconversie

De voerconversie van Nederlands varkensvlees van geboorte tot aflevering aan slachterij bedraagt in 2012 ongeveer 2.7, waarvan de vleesvarkenshouderij gemiddeld een conversie heeft van 2.66 en de zeughouderijfase van 2.73. In de afgelopen tien jaar zijn er vooral grote verbeteringen geweest in de productiviteit van de zeughouderij. De voerconversie op de vleesvarkenshouderij verbeterde nauwelijks in die periode.

Genetisch gezien zijn vleesvarkens echter in staat om meer dan 1000 gram per dag te groeien. In de praktijk blijft het gemiddelde steken rond de 800 gram groei per dag. De voederconversie ligt zoals gezegd al jaren rond de 2.7, terwijl een voederconversie van 2.4 haalbaar moet zijn (Wageningen UR Livestock Research, 2009). Voor deze studie hebben we aangenomen dat uiteindelijk in 2050 een gemiddelde voederconversie van 2.4 wordt gerealiseerd door de trends in voeropname en groei per dag tussen 1990 en 2012 door te trekken. Voor 2050 is de voeropname zo gekozen dat de voerconversie uitkomt op 2.4.

Tabel 3 Aangenomen ontwikkeling in technische prestaties op het vleesvarkensbedrijf

Variabele	Eenheid	1990	2012	2020	2030	2050
Oplegperiode	Dagen	115	118	109	104	96
Startgewicht	kg LW	25	24.9	25	25	25
Eindgewicht	kg LW	108	119	115	115	115
Groei	kg/dg	0.72	0.80	0.83	0.87	0.94
Voer	kg/dp	756	774	781	789	822
FCR	Kg voer ds 88%/kg LW	2.870	2.659	2.58	2.50	2.4

De resultaten voor 2050 zoals die getoond worden in bovenstaande tabel worden overigens nu al gehaald door de best presterende varkenshouder.

Uiteraard is er een relatie tussen voerconversie en de samenstelling van het voer. We gaan er hier echter vanuit dat deze verbeterde performance kan worden gehaald zonder de nutritionele waarden en daarmee gerelateerde grondstofsamenstelling van het voer te veranderen.

Tabel 4 geeft de aangenomen ontwikkeling in het aantal levend afgeleverde biggen per zeug per jaar en het voergebruik. De trend tussen 1990 en 2012 is lineair doorgetrokken tot 2050. Het aantal van 38 levende biggen per zeug wordt nu al door enkele topbedrijven gerealiseerd.

Tabel 4 Aangenomen ontwikkeling in technische prestaties op de zeughouderij

Variabele	Eenheid	1990	2012	2020	2030	2050
Grootgebrachte big/zeug	#/dp*jr	20.4	28.5	31.4	35.1	38
Gewicht big	kg/#	25	24.9	25	25	25
Afvoer zeug	%/jr	42%	43%	43%	43%	43%
Gewicht zeug	kg/#	205	230	230	230	230
Totaal	kg/dp*jr	1713	1935	2080	2184	2264
FCR	Kg voer ds 88%/kg	3.36	2.73	2.65	2.49	2.38

4.2.2 Stalsysteem

Voor de varkens- en pluimveebedrijven wordt verondersteld dat de schaalvergroting bij varkens- en pluimveebedrijven alleen kan worden gerealiseerd als technieken worden ingezet, zoals (combi)luchtwassers, die verder gaan dan standaard emissiearme stallen en zelfs verder dan het nieuwe Besluit Huisvesting (CPB & PBL, 2015). In twee provincies, Noord-Brabant en Limburg is dit deels al verplicht via provinciale verordeningen voor stikstof. Dit hangt samen met eisen rond Natuurbeschermingswetvergunningen en/of de geur- en fijnstofuitstoot van bedrijven.

Tabel 5 Stalsystemen in de vleesvarkenhouderij

Stalsystemen	1990	2012	2020	2030	2050
Traditioneel (< 0,8 m ² /dp)	100%	18%	5%	0%	0%
emissie arm (< 0,8 m ² /dp)	0%	30%	25%	0%	0%
Luchtwas (< 0,8 m ² /dp)	0%	10%	10%	0%	0%
Traditioneel (> 0,8 m ² /dp)	0%	0%	0%	0%	0%
emissie arm (> 0,8 m ² /dp)	0%	27%	35%	40%	0%
Luchtwas (> 0,8 m ² /dp)	0%	15%	25%	60%	100%

Tabel 6 Stalsystemen in de zeugenhoudery

Stalsystemen		1990	2012	2020	2030	2050
Stalsysteem kraamzeugen	traditioneel	8%	2%	1%	0%	0%
	emissie arm	0%	5%	4%	2%	0%
	luchtwas	0%	2%	3%	7%	9%
Stalsysteem g+d zeugen	traditioneel	29%	5%	1%	0%	0%
	emissie arm	0%	17%	15%	5%	0%
	luchtwas	0%	7%	13%	24%	29%
Gespeende biggen <=0,35 m ²	traditioneel	62%	6%	1%	0%	0%
	emissie arm	0%	4%	1%	0%	0%
	luchtwas	0%	3%	1%	0%	0%
Gespeende biggen > 0,35 m ²	traditioneel	0%	5%	2%	1%	0%
	emissie arm	0%	31%	24%	20%	0%
	luchtwas	0%	12%	34%	41%	62%

4.2.3 Mestverwerking en toepassing

Vergisting van (varkens-)mest is milieutechnisch een belangrijke mogelijkheid om de broeikasgasemissies van het dierlijk productiesysteem te verminderen. Door het vergisten van mest wordt allereerst methaanemissie naar de atmosfeer voorkomen. Vervolgens kan de methaan benut worden voor warmteproductie of gecombineerde warmte/kracht productie. De geproduceerde elektriciteit en warmte vervangen reguliere elektriciteit en warmte welke (deels) opgewekt is met fossiele brandstoffen.

In het huidige systeem wordt ongeveer 6% van de geproduceerde varkensmest vergist. Dit is gebaseerd op de hoeveelheid vergiste varkensmest uit (CBS, 2012) en de totale varkensmestproductie uit de statline database (CBS, 2015). De verwachting is dat het percentage varkensmest dat vergist wordt sterk zal toenemen in de periode 2012-2050. In deze studie is voor 2050 een vergistingspercentage van 50% aangenomen gebaseerd op de raming voor 2030 (Groen Gas Forum, 2014).

In deze studie hebben wij geen onderscheid gemaakt tussen verschillende vergistingsmethoden, zoals mono-vergisting, co-vergisting met voedselgewassen en/of co-vergisting met gewasresten. Deze studie beschouwd

enkel de mono-vergisting van varkensmest, waarbij een netto calorische waarde van varkensmest 770MJ/ton is aangenomen (Kool et al., 2013b). De energetische efficiëntie van de vergister is geschat op 37%, waarvan de helft in de vorm van elektriciteit en de andere helft in de vorm van warmte vrij komt. Tevens is een percentage van 5% methaanslip ingerekend. Dit houdt in dat 5% van de geproduceerde methaan alsnog in de atmosfeer terecht komt.

Wat betreft de toepassing van de niet-vergiste mest en het digestaat van de vergiste mest is aangenomen dat deze wordt ingezet in de akkerbouw en daarmee kunstmest vervangt. De wettelijk vastgelegde N-werkingscoëfficiënt voor varkensmest ten opzichte van kunstmest is 60% (RVO 2015)³. In de toekomst kan verwacht worden dat deze werkingscoëfficiënt verder toe gaat nemen. Voor deze studie is een werkingscoëfficiënt van 70% in 2050 als reëel ingeschat.

Verder is het bij de toepassing van mest en kunstmest van belang welke fractie van de stikstof (direct of indirect) omgezet wordt in lachgas (N₂O). In deze studie zijn de specifieke emissiefactoren voor Nederland van de Nederlandse NIR gebruikt (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b, 2014c). Voor digestaat zijn in de huidige studie de emissiefactoren voor dierlijke mest gebruikt. Aangezien een deel van de stikstof mineraliseert tijdens de vergisting en de emissie van lachgas daarmee dichterbij die van minerale kunstmest komt is dit waarschijnlijk een lichte onderschatting van de lachgas emissies van digestaat.

Tenslotte is ook het transport van de mest en het uitrijden van de mest meegenomen. Voor het transport is een afstand aangenomen van 150 km en een broeikasgas emissie van 0.1 kg CO₂/tkm. Voor het uitrijden van de mest is een broeikasgasemissie van 5.3 kg CO₂/t aangenomen, als gevolg van brandstof gebruik. De transportafstand van mest en de emissies voor het uitrijden van de mest zijn in deze studie constant verondersteld. De ontwikkeling van de emissiefactor van mesttransport is gebaseerd op (Capros et al., 2013). Voor meer informatie zie sectie 4.1.3 Transport en logistiek.

4.2.4 Energiegebruik boerderij

Het energiegebruik op de boerderij is uitgesplitst in elektriciteit, gas en diesel gebruik per dierplaats en is constant verondersteld voor de periode 2012-2050, terwijl voor 1990 een hogere waarde is gebruikt. Zowel de waarden voor 1990 als die voor 2012 zijn gebaseerd op data uit Binternet (Wageningen UR, 2012) en zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Energiegebruik op de varkenshouderijen in 1990 en 2012-2050.

Energiegebruik	Zeugenhouderij	Vleesvarkenshouderij	Zeugenhouderij	Vleesvarkenshouderij
	2012	2012	1990	1990
Elektriciteit (kWh/dp)	253	31	165	30
Aardgas (m ³ /dp)	43	2	126	10
Diesel (l/dp)	0	0	0	0

4.2.5 Energieopwekking boerderij

De landbouwsector heeft een aanzienlijk potentieel voor de opwekking van duurzame energie. In deze studie zijn 4 vormen van energieopwekking op de boerderij meegenomen: mest vergisting⁴, houtkachels, windmolens en zonnepanelen. De lokale energieopwekking van hokdieren (excl. mestvergisting) voor 2012 is gebaseerd op (CBS, 2013). Verdere uitsplitsing tussen pluimvee- en varkenshouderijen was op basis van de beschikbare informatie niet mogelijk. De elektriciteit/warmte die opgewekt wordt is uitgedrukt als percentage van de gebruikte elektriciteit/warmte en weergegeven in Tabel 8 voor de gecombineerde zeugenhouderij en vleesvarkenshouderij.

³ Voor zand- en lössgronden is deze werkingscoëfficiënt 70%, dit onderscheid hebben we in deze studie niet meegenomen.

⁴ Zie sectie 4.2.3 Mestverwerking en toepassing voor meer gedetailleerde informatie

Voor de trendanalyse tot aan 2050 is aangenomen dat de warmteproductie met houtkachels procentueel constant blijft. Voor windmolens is een studie van PBL gevolgd (PBL, 2011), waarin gesteld wordt dat: "het potentieel van vervangen en optimaliseren van wind op land ongeveer 1,5 á 2 maal huidige de productie is." De belangrijkste reden voor deze beperkte groei is dat het "not in my backyard"- sentiment verdere groei bemoeilijkt. In deze studie doen wij een aanname van ongeveer 2 maal huidige productie in 2050, in overeenstemming met de studie van het PBL.

Wat betreft zonnepanelen (PV) zijn we ervan uitgegaan dat onder de huidige regelgeving het plaatsen van zonnepanelen een rendabele investering is en dat deze regelgeving niet (ten slechte) verandert tot aan 2050. Wij hebben voor 2050 aangenomen dat 0,25 m² dak per m² varkensplaats wordt gebruikt voor zonnepanelen. Hierbij is op basis van (Wageningen UR, 2007) een gemiddeld oppervlakte per vleesvarken aangenomen van 1m² en gemiddeld oppervlakte per zeug van 2.25m². Verder is een gemiddeld vermogen van 141 Wp/m² aangenomen voor de in Nederland geplaatste zonnepanelen op basis van (van Sark, 2012) en een gemiddelde opbrengst van 0.875 kWh/Wp op basis van (van Sark, 2014).

Voor 2050 tellen de percentages van duurzame energieproductie op tot meer dan 100% voor elektriciteitsgebruik. Dit betekent dat de varkensboerderij-schakel een netto elektriciteitsleverancier is geworden.

Tabel 8 Duurzame energieproductie per technologie als percentage van eigen gebruik (varkens)

Energietechnologie	Percentage van elektriciteitsgebruik 2012	Percentage van warmtegebruik 2012	Percentage van elektriciteitsgebruik 2050	Percentage van warmtegebruik 2050
Mest vergisting	7%	6%	56%	51%
Windmolens	31%	-	60%	-
Zonnepanelen (PV)	0%	-	67%	-
Houtkachels	-	15%	-	15%

4.2.6 Energiegebruik slachterij

Het energiegebruik in de slachterij is gebaseerd op (Kramer, Hoste, & Dooren, 2006). In de MJA3 heeft de vleesverwerkende industrie haar ambitie vastgelegd voor een 2% reductie per jaar van 2005-2020. Voor de periode 2020-2050 is in deze studie een jaarlijks reductiepercentage van 1% aangenomen, aangezien de "low hanging fruits" reeds in de periode 2005-2020 zijn geplukt. In Tabel 9 is het gas- en elektriciteitsgebruik voor de verwerking van varkensvlees weergegeven voor 2012 en 2050, zoals gebruikt in deze studie.

Tabel 9 Energiegebruik in de vleesverwerkende industrie in 2012 en 2050 (varken)

Energiegebruik	Eenheid	2012	2050
Elektriciteit	kWh/1000 kg vers vlees	583	315
Aardgas	MJ/1000 kg vers vlees	479	258

4.2.7 Benutting bijproducten slachterij

Voor de benutting van bijproducten van de slachterijen is hetzelfde scenario gebruikt zoals beschreven in (Kool et al., 2013b). Vervolgens is aangenomen dat de samenstelling van slachtbijproducten en bestemmingen van slachtbijproducten niet verandert in de toekomst ten opzichte van 2012. De enige verandering die in dit model is meegerekend is een omgekeerd evenredige afname van de hoeveelheid slachtbijproducten bij een toename van de slachterijconversie. Voor varkens wordt hierin een kleine verbetering (0.15%/jaar) verwacht na 2012. Dit is een lineaire extrapolatie van de verbetering in de periode 1990-2012. In Tabel 10 is de slachterijconversie en de vermeden emissie per 1000 kg vers vlees weergegeven voor 2012 en 2050.

Tabel 10 Slachterijconversie en vermeden emissie als gevolg van bijproducten in 2012 en 2050 (varken)

Variabele	Eenheid	2012	2050
Slachterijconversie	kg vers vlees/kg karkas	0.611	0.611
Vermeden emissies door bijproducten	kg CO ₂ /1000 kg vers vlees	389	389

4.3 Specifieke trends vleeskuikens (boerderij & slachterij)

4.3.1 Voerconversie

Het genetisch potentieel voor wat betreft voerconversie van de huidige vleeskuikenrassen wordt nog niet gehaald en er is nog een belangrijk potentieel in verbetering door veredeling mogelijk. Voor deze studie hebben we aangenomen dat de technische prestaties van de vleeskuikenhouderij verbeteren volgens de trend 1990-2012. Dit resulteert in een gemiddelde performance in 2050 die nu al gehaald kan worden in proefomstandigheden (<https://www.de-heus.nl/kennisbank/lage-voederconversie-in-de-praktijk-222>).

Tabel 11 Aangenomen ontwikkeling in technische prestaties op het vleeskuikenhouderij

Variabele	Eenheid	1990	2012	2020	2030	2050
Oplegperiode	Days	43	41	40	38	34
Startgewicht	kg LW	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
Eindgewicht	kg LW	1.79	2.23	2.30	2.30	2.30
Groei per dag	kg/dg	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07
Groei per dp	kg/dp/jr	14.8	19.4	20.6	21.7	24.2
Dieren per dierplaats	#/dp/jr	8.47	8.86	9.13	9.61	10.74
Voer	kg/dp	29.1	34.7	35.6	35.7	36.0
FCR	Kg voer ds 88%/kg	1.97	1.79	1.73	1.65	1.49

4.3.2 Stalsysteem

Voor de varkens- en pluimveebedrijven wordt verondersteld dat de schaalvergroting bij varkens- en pluimveebedrijven alleen kan worden gerealiseerd als technieken worden ingezet, zoals (combi)luchtwassers, die verder gaan dan standaard emissiearme stallen en zelfs verder dan het nieuwe Besluit Huisvesting (CPB & PBL, 2015). In twee provincies, Noord-Brabant en Limburg is dit deels al verplicht via provinciale verordeningen voor stikstof. Dit hangt samen met eisen rond Natuurbeschermingswetvergunningen en/of de geur- en fijnstof uitstoot van bedrijven.

Tabel 12 Stalsystemen in de vleeskuikenhouderij

Stalsysteem	1990	2012	2020	2030	2050
Traditioneel	100%	76%	60%	20%	0%
Emissie arm	0%	19%	30%	30%	0%
Luchtwas	0%	4%	10%	50%	100%

4.3.3 Mestverwerking en toepassing

Vergisting en/of verbranding van (vleeskuiken-)mest heeft een belangrijk potentieel om de broeikasgasemissies van het dierlijk productiesysteem te verminderen. Door het vergisten/verbranden van mest wordt elektriciteit en/of warmte opgewekt. Deze elektriciteit en warmte vervangen reguliere elektriciteit en warmte welke (deels) opgewekt is met fossiele brandstoffen.

In het huidige systeem wordt ongeveer 40% van de geproduceerde vleeskuikenmest verbrand en 1% vergist. Dit is gebaseerd op de hoeveelheid vergiste pluimveemest uit (CBS, 2012) en de totale pluimveemestproductie uit de statline database (CBS, 2015). De verwachting is dat het percentage vleeskuikenmest dat vergist wordt sterk zal toenemen in de periode 2012-2050. In deze studie is voor 2050 een vergistingspercentage van 25% aangenomen. Voor het verbrandingspercentage is aangenomen dat dit constant zal blijven op 40%.

In deze studie hebben wij geen onderscheid gemaakt tussen verschillende vergistingsmethoden, zoals mono-vergisting, co-vergisting met voedselgewassen en/of co-vergisting met gewasresten. Deze studie beschouwd enkel de mono-vergisting van vleeskuikenmest, waarbij een netto calorische waarde van vleeskuikenmest van 10 GJ/ton is aangenomen (Kool, Plumers, & Blonk, 2013c).⁵ De energetische efficiëntie van de vergister is geschat op 37%, waarvan de helft in de vorm van elektriciteit en de andere helft in de vorm van warmte vrij komt. Tevens is een percentage van 5% methaanslip ingerekend. Dit houdt in dat 5% van de geproduceerde methaan alsnog in de atmosfeer terecht komt. Voor de verbranding van vleeskuikenmest is een elektrische efficiëntie van 25% aangenomen.

Wat betreft de toepassing van de niet-vergiste mest en het digestaat van de vergiste mest is aangenomen dat deze wordt ingezet in de akkerbouw en daarmee kunstmest vervangt. De wettelijk vastgelegde werkingscoëfficiënt voor vleeskuikenmest ten opzichte van kunstmest is 60% (PBL, 2012)⁶. In de toekomst kan verwacht worden dat deze werkingscoëfficiënt verder toe gaat nemen. Voor deze studie is een werkingscoëfficiënt van 55% in 2050 als reëel ingeschat.

Verder is het bij de toepassing van mest en kunstmest van belang welke fractie van de stikstof (direct of indirect) omgezet wordt in lachgas (N₂O). In deze studie zijn de specifieke emissiefactoren voor Nederland van de Nederlandse NIR gebruikt (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b, 2014c). Voor digestaat zijn in de huidige studie de emissiefactoren voor dierlijke mest gebruikt. Aangezien een deel van de stikstof mineraliseert tijdens de vergisting en de emissie van lachgas daarmee dichterbij die van minerale kunstmest komt, is dit een lichte onderschatting van de lachgas emissies van digestaat.

Tenslotte is ook het transport van de mest en het uitrijden van de mest meegenomen. Voor het transport is een afstand aangenomen van 150 km en een broeikasgas emissie van 0.1 kg CO₂/tkm. Voor het uitrijden van de mest is een broeikasgasemissie van 5.3 kg CO₂/t aangenomen, als gevolg van brandstof gebruik. De transportafstand van mest en de emissies voor het uitrijden van de mest zijn in deze studie constant veronderstelt. De ontwikkeling van de emissiefactor van mesttransport is gebaseerd op (Capros et al., 2013). Voor meer informatie zie sectie 4.1.3 Transport en logistiek.

4.3.4 Energiegebruik boerderij

Het energiegebruik op de boerderij is uitgesplitst in elektriciteit, gas en diesel gebruik per dierplaats en is constant verondersteld voor de periode 2012-2050, terwijl voor 1990 een hogere waarde is gebruikt. Zowel de waarden voor 1990 als die voor 2012 zijn gebaseerd op data uit Binternet (Wageningen UR, 2012) en zijn weergegeven in Tabel 13.

⁵ Voor ouderdieren is een waarde van 8 GJ/ton gebruikt.

⁶ Voor zand- en lössgronden is deze werkingscoëfficiënt 70%, dit hebben onderscheid hebben we in deze studie niet meegenomen.

Tabel 13 Energiegebruik op de vleeskuikenhouderijen in 1990 en 2012-2050.

Energiegebruik	Vleeskuikens	Ouderdieren (>18 wk)	Ouderdieren (<18 wk)	Vleeskuikens	Ouderdieren (>18 wk)	Ouderdieren (<18 wk)
	2012	2012	2012	1990	1990	1990
Elektriciteit (kWh/dp)	1.3	3.9	0.7	1.4	2.4	1.1
Aardgas (m3/dp)	0.6	0.3	0.5	1.1	0.3	1.3
Diesel (l/dp)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4.3.5 Energieopwekking

De energieopwekking op de vleeskuikenhouderij is voor windmolens, zonnepanelen en houtkachels hetzelfde gemodelleerd voor alle hokdieren, omdat verdere uitsplitsing tussen pluimvee- en varkenshouderijen op basis van de beschikbare informatie niet mogelijk was (zie sectie 4.2.5 Energieopwekking boerderij). Naast vergisting is bij vleeskuikenmest is ook verbranding een belangrijke optie (zie sectie 4.3.3 Mestverwerking en toepassing).

De elektriciteit/warmte die opgewekt wordt, is uitgedrukt als percentage van de gebruikte elektriciteit/warmte en weergegeven in Tabel 14 voor de gecombineerde vleeskuiken- en ouderdierenhouderij. Voor zowel 2012 als 2050 tellen de percentages van duurzame energieproductie op tot meer dan 100% voor elektriciteitsgebruik. Dit betekent dat de vleeskuikenhouderij-schakel een netto elektriciteitsleverancier is.

Tabel 14 Duurzame energieproductie per technologie als percentage van eigen gebruik (kip)

Energietechnologie	Percentage van elektriciteitsgebruik	Percentage van warmtegebruik	Percentage van elektriciteitsgebruik	Percentage van warmtegebruik
	2012	2012	2050	2050
Mest vergisting	4%	1%	97%	25%
Mest verbranding	203%	-	201%	-
Windmolens	31%	-	60%	-
Zonnepanelen (PV)	0%	-	67%	-
Houtkachels	-	15%	-	15%

4.3.6 Energiegebruik slachterij

Het energiegebruik in de slachterij voor 1990 en 2012 is gebaseerd op (Kool et al., 2013c). In de MJA3 heeft de vleesverwerkende industrie haar ambitie vastgelegd voor een 2% reductie per jaar van 2005-2020. Voor de periode 2020-2050 is in deze studie een jaarlijks reductiepercentage van 1% aangenomen, aangezien de "low hanging fruits" reeds in de periode 2005-2020 zijn geplukt. In Tabel 15 is het gas- en elektriciteitsgebruik voor de verwerking van kippenvlees weergegeven voor 2012 en 2050, zoals gebruikt in deze studie.

Tabel 15 Energiegebruik in de vleesverwerkende industrie in 2012 en 2050 (kip)

Energiegebruik	Eenheid	2012	2050
Elektriciteit	kWh/1000 kg vers vlees	533	288
Aardgas	MJ/1000 kg vers vlees	231	125

4.3.7 Benutting bijproducten slachterij

Voor de benutting van bijproducten van de slachterijen is de methodologie gebruikt zoals beschreven in (Kool et al., 2013c). Hiernaast is aangenomen dat de samenstelling van slachtbijproducten en bestemmingen van

slachtbijproducten niet veranderd in de toekomst. De enige verandering die in dit model is meegerekend, is een omgekeerd evenredige afname van de hoeveelheid slachtbijproducten bij een toename van de slachterijconversie. Voor vleeskuikens wordt hierin geen verbetering verwacht na 2012, omdat historische toename voornamelijk een gevolg is geweest van gewichtstoename van vleeskuikens. Door regelgeving omtrent maximale groeisnelheid vermoeden wij dat het slachtgewicht van vleeskuikens niet verder zal gaan toenemen. In Tabel 16 is de slachterijconversie en de vermeden emissie per 1000 kg vers vlees weergegeven voor 2012 en 2050.

Tabel 16 Slachterijconversie en vermeden emissie als gevolg van bijproducten in 2012 en 2050 (kip)

Variabele	Eenheid	2012	2050
Slachterijconversie	kg vers vlees/kg karkas	0.611	0.611
Vermeden emissies door bijproducten	kg CO ₂ /1000 kg vers vlees	389	389

4.4 Specifieke zuivel (boerderij & verwerking)

4.4.1 Voerconversie

Voor de melkveehouderij is niet direct met een voerconversie gewerkt omdat de precieze hoeveelheid gras die geconsumeerd wordt bij het grazen onbekend is. Er is aangenomen dat de melkproductie per koe per jaar stijgt volgens de trend van de afgelopen 20 jaar. De methaanemissie per eenheid geproduceerde melk neemt af omdat de extra voerinname voor het bereiken van de verhoogde melkproductie grotendeels benut wordt voor melk en in mindere mate voor onderhoud van het dier. De volgende relatie is aangenomen tussen methaan emissie en melk productie (Tamminga et al. 2007) :

$$\text{kg CH}_4/\text{dag} = (-0.4367 * \text{kg FCM melk/dag} + 27.454)$$

Deze relatie is geldig tot een bereik van ca. 40 kg melk per dag (zie Tabel 17).

Tabel 17 Relatie tussen melkproductie en methaan-emissie als gevolg van pens fermentatie.

Melkproductie (kg melk/dag)	Methaan emissies per kg melk (g CH ₄ /kg melk)	Jaarlijkse methaan emissies per dier (g CH ₄ /dierjaar)
5	25.3	46
10	23.1	84
15	20.9	115
20	18.7	137
25	16.5	151
30	14.4	157
35	12.2	156
40	10.0	146

Voor N-excretie is de volgende relatie aangenomen tussen melkproductie en N-excretie:

$$\text{N-excretie (kg N per melkkoe per jaar)} = 0,0086 * \text{melkgift FCM (per jaar)} + 52,446$$

Deze formule is afgeleid vanuit Mestbeleid Tabellen 2014-2017, tabel 6a Excretieforfaits per melkkoe drijfmest 2015-2017, uitgaande van een ureum getal van 26 (RVO, 2015).

4.4.2 Methaanemissiereductie door gebruik voederadditieven

Om methaanemissie als gevolg van pens fermentatie bij melkkoeien te reduceren worden er voederadditieven ontwikkeld. Op dit moment is DSM bijvoorbeeld bezig met een additief genaamd "Clean Cow". Zij claimen dat dit additief een methaan-emissie reductie van minimaal 25% kan opleveren (DSM, 2015; Romero-Perez et al., 2015). In deze studie hebben wij mogelijkheden tot methaan emissiereductie door voederadditieven meegenomen. Voor 2050 nemen wij een penetratiegraad van methaan reducerende voederadditieven aan van 50% met een reductiepercentage van 25%.

4.4.3 Stalsysteem en mestopslag

Aangenomen is dat na 2012 het aandeel beweiden hetzelfde zal blijven.

4.4.4 Mestverwerking en toepassing

Vergisting van (koeien-)mest is een interessante mogelijkheid om de broeikasgasemissies van het dierlijk productiesysteem te verminderen. Door het vergisten van mest wordt aan de ene kant methaan emissie naar de atmosfeer voorkomen en wordt aan de andere kant elektriciteit en warmte opgewekt uit het in de vergister geproduceerde methaan. De geproduceerde elektriciteit en warmte vervangen reguliere elektriciteit en warmte welke (deels) opgewekt is met fossiele brandstoffen.

In het huidige systeem wordt ongeveer 2% van de geproduceerde koeienmest uit de stal vergist. Dit is gebaseerd op de hoeveelheid vergiste koeienmest uit (CBS, 2012) en de totale koeienmestproductie uit de statline database (CBS, 2015). De verwachting is dat het percentage koeienmest dat vergist wordt sterk zal toenemen in de periode 2012-2050. In deze studie is voor 2050 een vergistingspercentage van 56% aangenomen (Groen Gas Forum, 2014).

In deze studie hebben wij geen onderscheid gemaakt tussen verschillende vergistingsmethoden, zoals mono-vergisting, co-vergisting met voedselgewassen en/of co-vergisting met gewasresten. Deze studie beschouwd enkel de mono-vergisting van koeienmest, waarbij een netto calorische waarde van koeienmest 770MJ/ton is aangenomen (Kool, Pluimers, & Blonk, 2013a). De energetische efficiëntie van de vergister is geschat op 37%, waarvan de helft in de vorm van elektriciteit en de andere helft in de vorm van warmte vrij komt. Tevens is een percentage van 5% methaanslip ingerekend. Dit houdt in dat 5% van de geproduceerde methaan alsnog in de atmosfeer terecht komt.

Wat betreft de toepassing van de niet-vergiste koeienmest en het digestaat van de vergiste mest is aangenomen dat deze wordt ingezet op de melkveehouderij en daarmee onderdeel uitmaakt van het voorgrondstelsel.

Verder is het bij de toepassing van mest en kunstmest van belang welke fractie van de stikstof (direct of indirect) omgezet wordt in lachgas (N_2O). In deze studie zijn de specifieke emissiefactoren voor Nederland van de Nederlandse NIR gebruikt (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b, 2014c). Voor digestaat zijn in de huidige studie de emissiefactoren voor dierlijke mest gebruikt. Aangezien een deel van de stikstof mineraliseert tijdens de vergisting en de emissie van lachgas daarmee dichterbij die van minerale kunstmest komt is dit een lichte onderschatting van de lachgas emissies van digestaat.

Tenslotte is ook het transport van de mest en het uitrijden van de mest meegenomen. Voor het transport is een afstand aangenomen van 35 km en een broeikasgas emissie van 0.1 kg CO_2 /tkm. Voor het uitrijden van de mest is een broeikasgasemissie van 5.3 kg CO_2 /t aangenomen, als gevolg van brandstof gebruik. De transportafstand van mest en de emissies voor het uitrijden van de mest zijn in deze studie constant verondersteld. De ontwikkeling van de emissiefactor van mesttransport is gebaseerd op (Capros et al., 2013). Voor meer informatie zie sectie 4.1.3 Transport en logistiek.

4.4.5 Energiegebruik

Het energiegebruik op de boerderij is uitgesplitst in elektriciteit, gas gebruik per ton melk en diesel gebruik per hectare. Deze zijn allen constant verondersteld voor de periode 2012-2050, terwijl voor 1990 een hogere waarde is gebruikt. Zowel de waarden voor 1990 als die voor 2012 zijn gebaseerd op data uit Binternet (Wageningen UR, 2012) en zijn weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18 Energiegebruik op de melkveehouderijen in 1990 en 2012-2050

Energie gebruik	Melkveehouderij 2012	Melkveehouderij 1990
Elektriciteit (kWh/ton melk)	57	58
Aardgas (m3/ton melk)	2.1	2.6
Diesel (l/ha)	130	132

4.4.6 Energieopwekking boerderij

De landbouwsector heeft een aanzienlijk potentieel voor de opwekking van duurzame energie. In deze studie zijn 4 vormen van energieopwekking op de boerderij meegenomen: mest vergisting⁷, houtkachels, windmolens en zonnepanelen. De lokale energieopwekking van melkkoeien voor 2012 is gebaseerd op (CBS, 2013). De elektriciteit/warmte die opgewekt wordt is uitgedrukt als percentage van de gebruikte elektriciteit/warmte en weergegeven in Tabel 19 voor de melkveehouderij.

Voor de trendanalyse tot aan 2050 is aangenomen dat de warmteproductie met houtkachels procentueel constant blijft. Voor windmolens is een studie van PBL gevolgd (PBL, 2011), waarin gesteld wordt dat: "het potentieel van vervangen en optimaliseren van wind op land ongeveer 1,5 á 2 maal huidige de productie is." De belangrijkste reden voor deze beperkte groei is dat het "not in my backyard"- sentiment verdere groei bemoeilijkt. In deze studie doen wij een aanname van ongeveer 2 maal huidige productie in 2050, in overeenstemming met de studie van het PBL.

Wat betreft zonnepanelen (PV) zijn we ervan uitgegaan dat onder de huidige regelgeving het plaatsen van zonnepanelen een rendabele investering is en dat deze regelgeving niet (ten slechte) veranderd tot aan 2050. Wij hebben voor 2050 aangenomen dat 0,25 m² dak per m² koeienstal wordt gebruikt voor zonnepanelen. Hierbij is op basis van (Wageningen UR, 2007) een gemiddeld oppervlakte per melkkoe aangenomen van 8m² en gemiddeld oppervlakte per nuka van 4m². Verder is een gemiddeld vermogen van 141 Wp/m² aangenomen voor de in Nederland geplaatste zonnepanelen op basis van (van Sark, 2012) en een gemiddelde opbrengst van 0.875 kWh/Wp op basis van (van Sark, 2014).

Voor 2050 tellen de percentages van duurzame energieproductie op tot meer dan 100% voor elektriciteitsgebruik. Dit betekent dat de varkensboerderij-schakel een netto elektriciteitsleverancier is geworden.

Tabel 19 Duurzame energieproductie per technologie als percentage van eigen gebruik (koeien)

Energietechnologie	Percentage van elektriciteitsgebruik 2012	Percentage van warmtegebruik 2012	Percentage van elektriciteitsgebruik 2050	Percentage van warmtegebruik 2050
Mest vergisting	4%	11%	88%	259%
Windmolens	144%	-	282%	-
Zonnepanelen (PV)	0%	-	66%	-
Houtkachels	-	15%	-	15%

⁷ Zie sectie 4.4.4 Mestverwerking en toepassing voor meer gedetailleerde informatie

4.4.7 Energiegebruik zuivelverwerking

De ontwikkeling in het energiegebruik van zuivelverwerking is gebaseerd op de Europese trends wat betreft de emissiefactor voor elektriciteit en warmte (sectie 4.1.4), daarnaast is geen energie-efficiëntie toename ingerekend.

4.4.8 Benutting bijproducten

Naast melk zijn er nog 2 belangrijke bijproducten van de melkveehouderij: kalveren en slachtkoeien. Een deel van de milieu-impacts dient dan ook toegeschreven te worden aan deze bijproducten. Om deze verdeling te maken is een vorm van allocatie nodig. In deze studie hebben wij gekozen voor de gestandaardiseerde IDF-allocatie voor melkvee (IDF, 2010). Deze vorm van allocatie is in het Europese PEF-proces gekozen als te gebruiken allocatiemethode door de "Cow-model working group". IDF-allocatie houdt in dat een bepaalde fractie van voeriname (en alle gevolgen hiervan) toegerekend wordt aan melkproductie, kalveren en onderhoud op basis van de energie behoefte van de onderliggende fysische processen. Naarmate een koe meer melk gaat produceren zal een groter deel toegerekend worden aan melkproductie. Tabel 20 geeft een overzicht van de gebruikte allocatiefactoren voor 2012 en 2050.

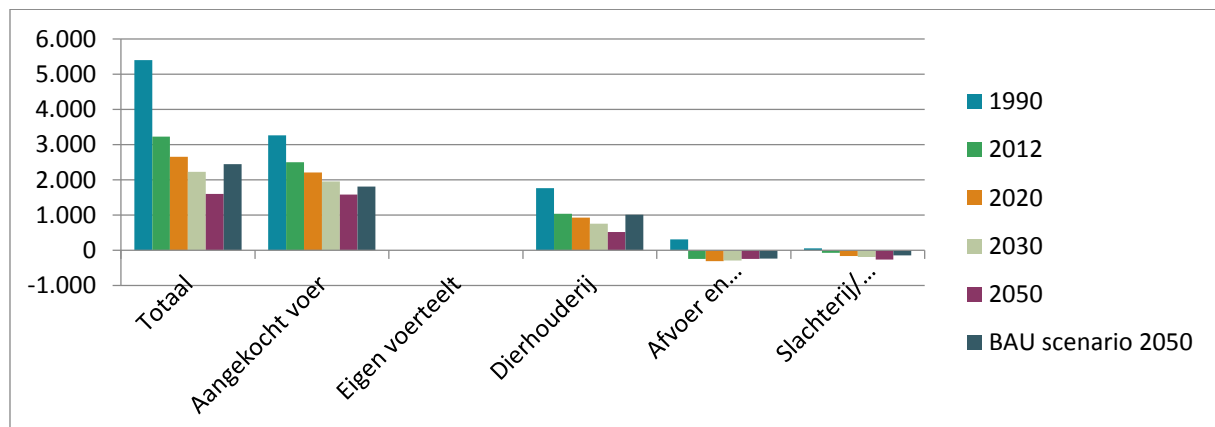
Tabel 20 Gebruikte allocatiefactoren voor melkveehouderij op basis va IDF-allocatie.

Outputs	Allocatie fractie	
	2012	2050
Melk	85.2%	87.3%
Kalveren	2.1%	1.8%
Slachtkoeien	12.7%	10.9%

5. Broeikaseffect trends Nederlandse dierlijke productieketens

5.1 Varken

De broeikaseffectscore van de Nederlandse varkensvlees productie (vers, onverpakt en onbereid) daalt tussen 2012 en 2050 van ca. 3.2 kg CO₂e/kg naar 1,6 kg CO₂e/kg, oftewel een reductie van 50%. Ten opzichte van 1990 bedraagt deze reductie 70%.



Ongeveer 24% reductie is het resultaat van een verbetering van de performance van het achtergrondsysteem waarin de Nederlandse varkensproductie plaatsvindt, het Business As Usual (BAU) Scenario 2050. Dit betreft een reductie in de productie van voer (grotendeels van Europese origine), de productie van energiedragers en een verbeterde efficiëntie van transport en logistiek.

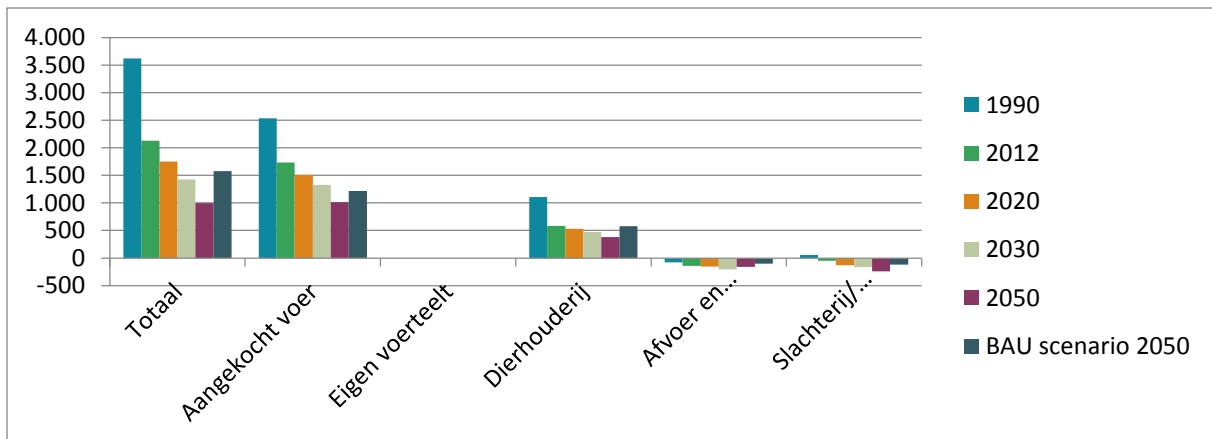
Binnen het Nederlandse dierhouderijsysteem zijn de volgende variabelen bepalend voor de belangrijkste verbeteringen⁸:

- Verlaagde voederconversie (15%)
- Reductie van methaanemissie door vergisting (12%)
- Slachterij (energie-)efficiëntie verbeteringen (8%)

5.2 Vleeskuikens

De broeikaseffectscore van de vleeskuiken productieketen in Nederland (vers product, overpakt en onbereid) neemt af van 2,1 kg CO₂e in 2012 naar 1,0 kg CO₂e in 2050. Dit is een reductie van 53% en ten opzichte van 1990 bedraagt het een reductie van 73%.

⁸ De percentuele afnames zijn berekend door een 1-by-1 analyse waarin iedere factor onafhankelijk wordt gevarieerd tussen de BAU waarde voor 2050 en de waarde voor het reguliere 2050 scenario. De impacts van verschillende factoren kunnen elkaar (zowel positief als negatief) beïnvloeden en zijn daarom slechts indicatief voor een orde van grootte.



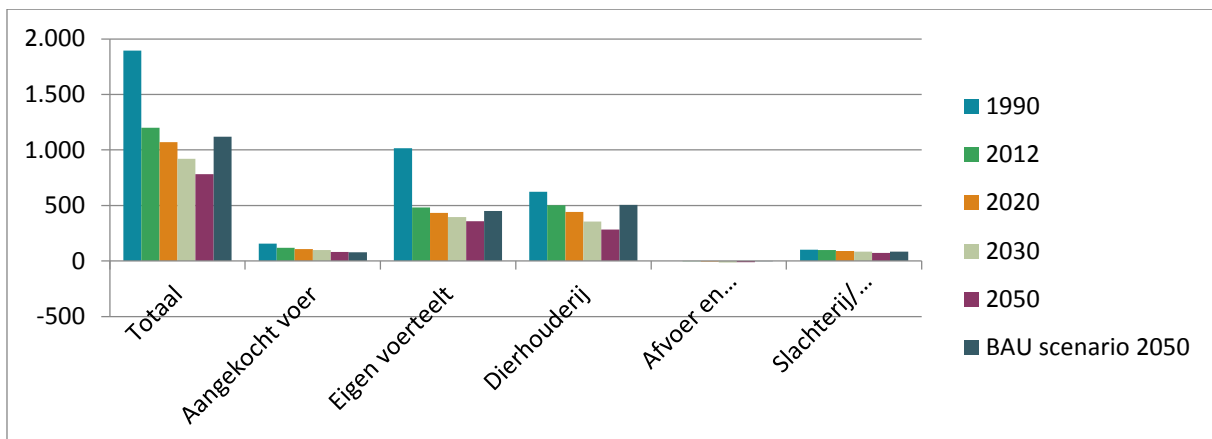
Ongeveer 26% reductie is het resultaat van een verbetering van de performance van het achtergrondsysteem waarin de Nederlandse vleeskuikenproductie plaatsvindt, het Business As Usual (BAU) Scenario 2050. Dit betreft een reductie in de productie van voer (grotendeels van Europese origine), de productie van energiedragers en een verbeterde efficiëntie van transport en logistiek.

Binnen het Nederlandse dierhouderijsysteem zijn de volgende variabelen bepalend voor de belangrijkste verbeteringen⁹:

- Verlaagde voederconversie (20%)
- Slachterij (energie-)efficiëntie verbeteringen (8%)
- Energie van zonnepanelen en windmolens (4%)

5.3 Melk

De broeikasemissionscore van de zuivelketen in Nederland (gemiddeld zuivel product onverpakt op melkgewichtsbasis) neemt af van 1,2 kg CO₂e in 2012 naar 0,8 kg CO₂e in 2050. Dit is een reductie van 35% en ten opzichte van 1990 bedraagt het een reductie van 59%.



Slechts 7% van de reductie is het resultaat van het achtergrondsysteem. Dit betreft de reductie in het broeikasemissions effect van de productie van voer en van kunstmest.

⁹ De percentuele afnames zijn berekend door een 1-by-1 analyse waarin iedere factor onafhankelijk wordt gevarieerd tussen de BAU waarde voor 2050 en de waarde voor het reguliere 2050 scenario. De impacts van verschillende factoren kunnen elkaar (zowel positief als negatief) beïnvloeden en zijn daarom slechts indicatief voor een orde van grootte.

Binnen de Nederlandse melkveehouderij zijn de volgende factoren belangrijk voor de voor de belangrijkste verbeteringen¹⁰:

- Verhoogde melkproductie (17%)
- Mestvergisting (6%)
- Energie van zonnepanelen en windmolens (5%)
- Methaanemissiereductie door voederadditieven (4%)

6. Vergelijking met andere landen

6.1 Varken

Voor de vergelijking tussen broeikaseffectperformance voor varkensvleesproductie tussen landen zijn de volgende parameters van groot belang.

- Voerconversie
- Methaanemissie door mestopslag
- Benutting energie-inhoud van mest
- N-excretie
- Benutting van N in de mest

(Hoste, 2013) heeft onlangs een vergelijking gemaakt tussen de kostprijs van varkenshouderij in diverse EU landen en daarbij een analyse gemaakt van de technische prestaties in de landen (zie onderstaande Tabel). Daaruit komt naar voren dat in Nederland gemiddeld de overall voerconversie ca. 10% lager is dan het EU gemiddelde. Wanneer alle andere variabelen van het systeem gelijk zouden zijn, zou dat een ca. 6% lager broeikas effect moeten opleveren.

Tabel 21 Food conversion rate (FCR) en biggenproductie voor Nederland en andere EU-landen

Landen	FCR (0.88% dm)/LW	Geproduceerde levende biggen per zeug per jaar
Nederland	2.71	28.2
België	3.07	25.2
Tsjechië	2.82	22.4
Denemarken	2.87	28.8
Duitsland	2.93	25.7
Ierland	2.92	25.4
Spanje	2.90	24.6
Frankrijk	2.91	26.7
Italië	3.63	23.3
Oostenrijk	2.98	23.7
Zweden	2.99	23.7
UK	2.90	22.6
Geraamd EU gemiddelde	2.97	25.6

¹⁰ De percentuele afnames zijn berekend door een 1-by-1 analyse waarin iedere factor onafhankelijk wordt gevarieerd tussen de BAU waarde voor 2050 en de waarde voor het reguliere 2050 scenario. De impacts van verschillende factoren kunnen elkaar (zowel positief als negatief) beïnvloeden en zijn daarom slechts indicatief voor een orde van grootte.

Een tweede belangrijke variabele is de methaanemissie vanwege mestopslag die in belangrijke mate bepaald wordt door de aard van de mest de opslagduur, de temperatuur en de methode van opslag. In de studie van (Kool et al., 2010) wordt dit voor een viertal EU landen naast elkaar gezet. Nederland scoort hier beter dan Duitsland maar belangrijk slechter dan Denemarken. Belangrijke observaties is hier voorts dat landen verschillende methodieken hanteren voor het berekenen van methaanemissies vanwege mestopslag in hun nationale inventory report voor de bijdrage aan het broeikas-effect. In de eerder genoemde studie van Kool et al. is overigens een eenduidige methodiek gehanteerd.

Door vergisting reduceren de methaanemissies en wordt de verbranding van fossiele brandstoffen vermeden door productie van groen gas, warmte en/of elektriciteit. Nederland lijkt ongeveer gemiddeld te scoren in vergelijking met het Europees gemiddelde (Foged et al., 2012). Hoewel deze vergelijking niet zo gemakkelijk te maken is vanwege allerlei onzekerheden in de statistieken. Een aantal omringende landen doet het overigens aanzienlijk beter wat betreft het percentage mestverwerking dan Nederland.

Benutting van N- in de mest is met name afhankelijk van wanneer en met welke techniek de varkensmest wordt ingezet. In gebieden met een overschot aan dierlijke mest en zonder wettelijke beperkingen op het aanvoeren van N in dierlijke mest zal de toepassing relatief inefficiënt zijn. Dit is de historische situatie in Nederland die door mestwetgeving overigens aanzienlijk is verbeterd. Hoe Nederland zich nu verhoudt ten opzichte van andere landen in de EU is niet verder onderzocht.

Gezien de hoge technische prestaties in Nederland is het waarschijnlijk dat de Nederlandse varkenshouderij varkensvlees levert met een relatief lage broeikas-effectimpact. Op een aantal andere aspecten scoort de Nederlandse varkenshouderij niet duidelijk beter dan omringende landen. (Kool et al., 2010) concludeerden dat de broeikas-effectscore van varkensvlees uit Denemarken, Engeland en Duitsland vergelijkbaar was met die van Nederland overigens uitgaande van een betere technische performance voor die landen dan genoemd in Tabel 21. Al met al is het waarschijnlijk dat Nederland zich bij de top bevindt in Europa maar dat ze niet vooroploopt in de benutting van de calorische waarde van de mest en het beperken van methaanemissies van mestopslag.

6.2 Vleeskuiken

Voor de vergelijking tussen broeikas-effectperformance voor varkensvleesproductie tussen landen zijn de volgende parameters van groot belang.

- Voerconversie
- Methaanemissie door mestopslag
- Benutting energie-inhoud van mest
- N-excretie
- Benutting van N in de mest

De voerconversie tussen de omringende Europese landen ontloopt elkaar niet veel. Nederland behoort bij de best presterende landen.

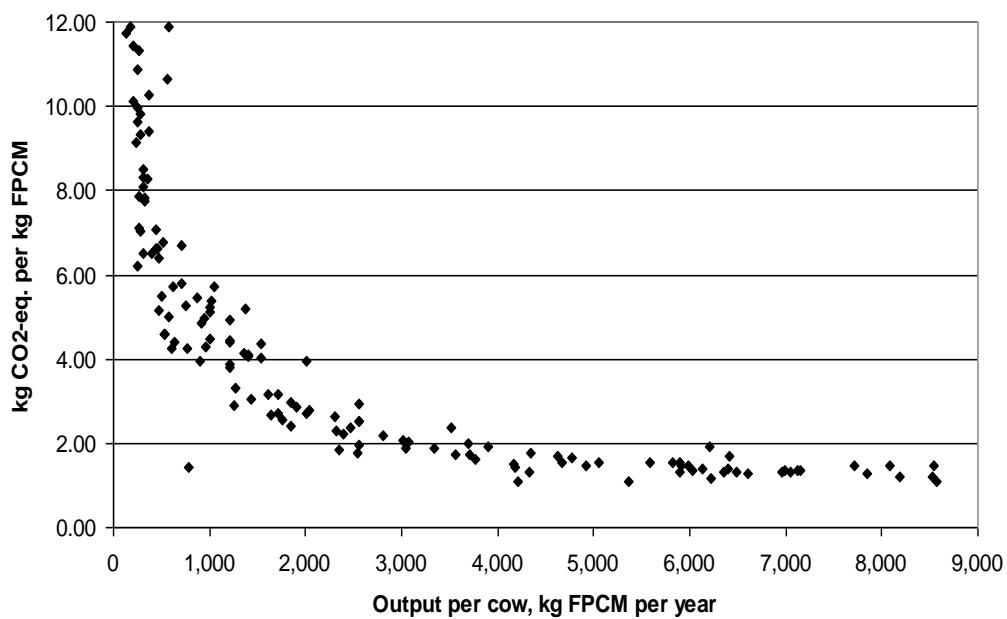
Tabel 22 Food conversion rate (FCR) voor vleeskuikens voor Nederland en omringende landen

Landen	FCR (0.88% dm)/LW
Nederland	1.67
Denemarken	1.65
Duitsland	1.68
Frankrijk	1.75
UK	1.75
Polen	1.76

Ook qua benutting van de calorische waarde van vleeskuikenmest behoort Nederland tot de beter presterende landen. Over het geheel genomen is het waarschijnlijk dat de Nederlandse vleeskuikenproductie qua broeikas-effectscore behoort tot de Europese top.

6.3 Melk

Verschillende internationale publicaties (FAO 2010, Lesschen 2011) laten zien dat er een sterke correlatie is tussen melkproductie per koe per jaar en het broeikas-effect, zie onderstaande figuur (Steinfeld 2012). Tussen 6000 en 9000 liter melk per jaar is er geen duidelijke trend meer in afname van het broeikas-effect per eenheid melk. Hoewel hier mee kan spelen dat de gebruikte methode en data voor de onderliggende studie (FAO 2010) niet fijnmazig genoeg is om deze waar te nemen.



Nederland bevindt zich wat betreft de broeikas-effectscore per hoeveelheid melk bij de beter presterende landen (Hageman 2011). Wanneer een vergelijking gemaakt wordt met de ons omliggende landen dan lijkt er geen significant verschil te zijn (gebaseerd op een nog interne verkenning voor Nederland, België en UK bij Blonk Consultants).

7. Bronvermelding


- Brenttrup, F., & Palliere, C. (2008). GHG EMISSIONS AND ENERGY EFFICIENCY IN EUROPEAN NITROGEN FERTILISER PRODUCTION AND USE. In *International Fertiliser Society Conference Cambridge 11th december 2008* (Vol. 2, p. 14). York, United Kingdom: International Fertiliser Society.
- Capros, P., Vita, A. De, Tasios, N., Papadopoulos, D., Siskos, P., Apostolaki, E., ... Kouvaritakis, N. (2013). *EU ENERGY, TRANSPORT AND GHG EMISSIONS TRENDS TO 2050 REFERENCE SCENARIO 2013*. Brussels.
- CBS. (2012). *Co-vergisting van dierlijke mest 2006-2011*. Den Haag/Heerlen.
- CBS. (2013). CBS statline. Retrieved from <http://statline.cbs.nl/statweb/>
- CBS. (2014). Rendementen en CO2-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland , update 2012, 1–5.
- CBS. (2015). CBS Statline. Retrieved from <http://statline.cbs.nl/statweb/>
- CPB, & PBL. (2015). *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving Cahier Landbouw*.
- DSM. (2015). Project Clean Cow. Retrieved from <http://www.dsm.com/corporate/science/competences/chemical-sciences/project-clean-cow.html>
- ECN. (2009). Brandstofmix elektriciteit 2020, (December), 1–42.
- ECN. (2015). Nationale Energieverkenning 2015. *Ecn-O--14-036*.
- Foged, H., Lyngsø, X., Flotats, A. B., Blasi, J., Palatsi, A. M., & Schelde, K. M. (2012). Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment., 138. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/e-prints/handle/2117/18944>
- Groen Gas Forum. (2014). Routekaart hernieuwbaar gas, (deal 33).
- Harmelink, M., Bosselaar, L., Gerdes, J., Boonekamp, P., Segers, R., Pouwelse, H., & Verdonk, M. (2012). Fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland, (September).
- Hoste, R. (2013). *Productiekosten van varkens - Resultaten van InterPIG over 2011*.
- IDF. (2010). The IDF guide to standard LCA methodology for the dairy sector. *Bulletin of the International Dairy Federation, 445*, 1–40.
- Kool, A., Blonk, H., Ponsioen, T., Sukkel, W., Vermeer, H., de Vries, J., & Hoste, R. (2010). *Carbon footprints of conventional and organic pork: Assessments of typical production systems in the Netherlands, Denmark, England and Germany*. Blonk Milieu Advies en Wageningen UR.
- Kool, A., Pluimers, J., & Blonk, H. (2013a). *Nederlandse kalfsvleesproductieketen trends en innovaties*. Gouda, the Netherlands.
- Kool, A., Pluimers, J., & Blonk, H. (2013b). *Nederlandse varkensproductieketen trends en innovaties*.
- Kool, A., Pluimers, J., & Blonk, H. (2013c). *Nederlandse vleeskuikenproductieketen trends en innovaties*.

- Kramer, K. J., Hoste, R., & Dooren, H. J. (2006). Energie in de varkensketen.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014a). *Protocol 14-028 Mest N2O*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014b). *Protocol 14-030 Landbouwbodem indirect*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014c). *Protocol 14-031 Landbouwbodem direct*.
- PBL. (2011). *Naar een schone economie in 2050: routes verkend*.
- PBL. (2012). Evaluatie Meststoffenwet 2012: syntheserapport. *Beleidsstudies*. Retrieved from www.pbl.nl
- Romero-Perez, a, Okine, E. K., McGinn, S. M., Guan, L. L., Oba, M., Duval, S. M., ... Beauchemin, K. a. (2015). Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet. *Journal of Animal Science*, 93(October), 1780–1791. doi:10.2527/jas2014-8726
- RVO. (2015). *Stikstof- en fosfaatproductiegetallen per melkkoe 2015-2017 (drijfmest en vaste mest)*. Retrieved from <https://mijn.rvo.nl/documents/13225/132100/Tabel+6+Stikstof+en+fosfaatgetallen+mest+per+melkkoe+2015-2017/5e4cf545-bd6e-4b1c-82c8-776ad5ee2cbc>
- Van Sark, W. Van. (2012). Huidige kosten van PV systemen. *Carpe Diem PV NU*, 1, 35. Retrieved from <https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/zon/vansark-carpediem.pdf>
- Van Sark, W. Van. (2014). Opbrengst van zonnestroomsystemen in Nederland.
- Wageningen UR. (2007). Informatiedocument Leefoppervlaktes in de Intensieve Veehouderij
Informatiedocument Leefoppervlaktes in de Intensieve Veehouderij, 1–8.
- Wageningen UR. (2012). Binternet. Retrieved from <http://www.wageningenur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/lei/Sector-in-cijfers/Binternet-3.htm>
- Wageningen UR Livestock Research. (2009). Op weg naar 1.000 gram groei.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 1–9. doi:10.1038/nature15743

Appendix 1

Tabel 23 Overzicht van belangrijke constanten met betrekking tot lachgasemissies

Constate	Eenheid	Waarde	Bron
Aanwending dierlijke mest (emissie-arm)	kg N ₂ O–N/kg N	0.004	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014c)
Aanwending van kunstmest	kg N ₂ O–N/kg N	0.013	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014c)
Landbouwkundig gebruik van histosolen	kg N ₂ O/ha	4.7	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014c)
Depositie van NO _x en ammoniak (lachgasemissiefactor)	kg N ₂ O–N/kg N	0.01	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b)
Uit- en afspoeling van landbouwgrond (leaching factor)	kg N/kg N	0.12	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b)
Uit- en afspoeling van landbouwgrond (lachgasemissiefactor)	kg N ₂ O–N/kg N	0.025	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b)
Lachgasemissie van mestopslag (vleeskuikenmest)	kg N ₂ O–N/kg N	0.005	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014a)
Lachgasemissie van mestopslag (dunne mest)	kg N ₂ O–N/kg N	0.001	(Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014a)



Blonk Consultants helps companies, governments and civil society organisations put sustainability into practice. Our team of dedicated consultants works closely with our clients to deliver clear and practical advice based on sound, independent research. To ensure optimal outcomes we take an integrated approach that encompasses the whole production chain.

Blonk Consultants

📞 (+31) 0182 579970

Gravin Beatrixstraat 34

🏠 www.blonkconsultants.nl

2805 PJ Gouda

✉ info@blonkconsultants.nl

blonk consultants