



Scenariostudie perspectief voor ontwikkel- richtingen Nederlandse landbouw in 2050

Jan Peter Lesschen, Joan Reijs, Theun Vellinga, Jan Verhagen, Hans Kros, Marion de Vries, Roel Jongeneel,
Thalisa Slier, Ana Gonzalez Martinez, Izak Vermeij, Co Daatselaar



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Scenariostudie perspectief voor ontwikkel- richtingen Nederlandse landbouw in 2050

Jan Peter Lesschen¹, Joan Reijs², Theun Vellinga³, Jan Verhagen⁴, Hans Kros¹, Marion de Vries³, Roel Jongeneel²,
Thalisa Slier¹, Ana Gonzalez Martinez², Izak Vermeij³, Co Daatselaar²

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Economic Research

3 Wageningen Livestock Research

4 Wageningen Plant Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Research in opdracht van de Klimaattafel Landbouw en landgebruik en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek (projectnummer BO-43-012.02-065).

Wageningen Environmental Research

Wageningen, februari 2020

Gereviewd door:

Petra Berkhout, Senior onderzoeker, Wageningen Economic Research

Akkoord voor publicatie:

Gert Jan Reinds, team Duurzaam Bodemgebruik

Rapport 2984

ISSN 1566-7197

Lesschen, J.P., Reijs, J., Vellinga, T., Verhagen, J., Kros, H., de Vries, M., Jongeneel, R., Slier, T., Gonzalez Martinez, A., Vermeij, I., Daatselaar, C., 2020. *Scenario studie perspectief voor ontwikkelrichtingen Nederlandse landbouw in 2050*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2984. 136 blz.; 39 fig.; 24 tab.; 55 ref.

In deze studie zijn vier verschillende scenario's ontwikkeld voor landbouw en landgebruik in 2050. Het gaat om hypothetische scenario's, waarbij de aanname is dat alle boeren in Nederland de gekozen ontwikkelrichting volgen en alle bijbehorende maatregelen toepassen. Het doel van de scenario's is om aanknopingspunten te geven voor een onderbouwde discussie over de toekomst van de Nederlandse landbouw. De te verwachten effecten van de scenario's op het gebied van milieu en economie zijn zo concreet mogelijk bepaald met behulp van modellen en expertkennis. In de vier scenario's is onderscheid gemaakt naar a) de ontwikkelrichting van de landbouw (productiviteit-gedreven versus natuurinclusieve bedrijfsvoering, en b) milieugebruiksruimte (voorgenomen versus striktere milieubeleidsdoelen. Voor ieder scenario is een pakket aan (technische) maatregelen gedefinieerd, passend bij de betreffende ontwikkelrichting en milieugebruiksruimte. Als deze maatregelen ontoereikend zijn voor het behalen van de milieudoelen, zijn verandering van het landgebruik (vergroten areaal bos, veengrond uit productie) en krimp van de veestapel als opties meegenomen om de milieudoelen toch te bereiken. De uitkomsten van de vier scenario's zijn vergeleken met een referentiescenario dat uitgaat van bestaand beleid zonder additionele maatregelen, maar autonome ontwikkelingen in o.a. het landbouwareaal, dierlijke en gewasopbrengsten en voedselconsumptie meeneemt. De effecten van de scenario's zijn in beeld gebracht voor een groot aantal kwantitatieve milieu- en economie-indicatoren en kwalitatief voor verdienmodel, biodiversiteit, dierenwelzijn en weerbaarheid tegen klimaatverandering.

Trefwoorden: Klimaat, landbouw, broeikasgassen, scenario's, emissies, landgebruik, veestapel

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/512111> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

De publieksversie van dit rapport, een brochure met factsheets voor de scenario's, kan worden gedownload via: <https://edepot.wur.nl/514955>

CC license CC-BY 4.0

© 2020 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Samenvatting	9
	Summary	15
1	Introductie	21
	1.1 Achtergrond	21
	1.2 Doelstelling	21
	1.3 Proces	22
	1.4 Afbakening van de studie	23
	1.5 Opzet rapport	24
2	Opbouw van de scenario's	25
	2.1 Aanpak op hoofdlijnen	25
	2.2 Referentiescenario 2050	27
	2.3 Uitgangspunten scenario's 2050	29
	2.3.1 Milieugebruiksruimte	29
	2.3.2 Ontwikkelrichting bedrijfsvoering	33
	2.4 Maatregelpakketten	36
	2.4.1 Aanpak op hoofdlijnen en samenvatting	36
	2.4.2 Dierlijke productie	37
	2.4.3 Bemesting en bodembewerking	41
	2.4.4 Uitgangspunten landgebruik	43
	2.5 Optimalisatietool	48
	2.5.1 Introductie	48
	2.5.2 Toepassing van de optimalisatietool en gehanteerde randvoorwaarden	48
	2.5.3 Invulling akkerbouwareaal	50
3	Methodiek beoordeling scenario's	51
	3.1 Modellen milieu-impact	51
	3.1.1 INITIATOR – algemene beschrijving	51
	3.1.2 INITIATOR – toepassing in deze studie	52
	3.2 Economische modellen	52
	3.2.1 AGMEMOD – algemene beschrijving	52
	3.2.2 AGMEMOD – toepassing in deze studie	53
	3.2.3 Input-outputtool – algemene beschrijving	54
	3.2.4 Input-outputtool – toepassing in deze studie	54
	3.3 Kwalitatieve beoordeling overige effecten	55
	3.3.1 Aanpak op hoofdlijnen	55
	3.3.2 Conceptuele kaders per onderdeel	56
	3.4 Overzicht indicatoren	58
	3.4.1 Milieu-indicatoren	58
	3.4.2 Economische indicatoren	59
4	Resultaten en discussie	61
	4.1 Scenario beschrijvingen op hoofdlijnen	61
	4.1.1 <i>Productiviteit voorgenomen</i> -scenario	62
	4.1.2 <i>Natuurinclusief voorgenomen</i> -scenario	63

4.1.3	<i>Productiviteit strikter-scenario</i>	64
4.1.4	<i>Natuurinclusief strikter-scenario</i>	65
4.2	Dieraantallen en landgebruik	66
4.3	Milieueffecten	69
4.3.1	Emissies binnen de Nederlandse landbouw	69
4.3.2	Nutriëntenstromen en balansen	71
4.3.3	Broeikasgasemissies buiten de Nederlandse landbouwsector	75
4.4	Economische effecten	79
4.5	Overige effecten	84
4.5.1	Verdienmodel	84
4.5.2	Biodiversiteit	86
4.5.3	Dierenwelzijn	87
4.5.4	Weerbaarheid tegen klimaatverandering	91
5	Gevoeligheidsanalyse	94
5.1	Implementatiegraad/effectiviteit maatregelen	94
5.2	Proportionaliteit tussen dierlijke sectoren	96
5.3	Maximum areaal bos versus omvang veestapel	98
5.4	Lager NH ₃ -plafond voor scenario's met voorgenomen beleidsdoelen	98
6	Synthese	100
6.1	Aanpak en afbakening van de studie	100
6.2	Inzichten uit de studie	101
6.2.1	Milieueffecten en omvang sectoren	101
6.2.2	Economische effecten	103
6.2.3	Overige effecten	104
	Literatuur	105
	Geraadpleegde experts	108
	Bijlage 1 Beschrijving maatregelpakketten	109
	Bijlage 2 Methodiek emissies veenweide	118
	Bijlage 3 Achtergrond scoring dierenwelzijn	120
	Woordenlijst	134

Verantwoording

Rapport: 2984

Projectnummer: 5200045365

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Senior onderzoeker

naam: Petra Berkhout

datum: 15-01-2020

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 15-01-2020

Woord vooraf

“Voorspellen is moeilijk, zeker als het de toekomst betreft.” Dat was een quote van Wim Kan. Iedereen weet dat, snapt dat, maar toch weerhoudt dat niemand om zich voortdurend met die toekomst bezig te houden en de maakbaarheid ervan toch stiekem als wenselijk te beschouwen. Dat is maar goed ook, want ons plannend vermogen onderscheidt ons doorgaans van andere primaten. Die toekomst speelde ook aan de Klimaat Tafel landbouw en landgebruik een grote rol. In het bijzonder speelde één vraag een belangrijke rol. Er zijn heel veel maatregelen afgesproken om de klimaatdoelen voor het jaar 2030 en als het even kan, ook voor 2050 te bereiken. En uit berekeningen en assessments blijkt dat ook te kunnen. Maar als we die uitvoeren, belemmeren die maatregelen dan de gewenste systeemveranderingen in de landbouw gericht op kringloop en grondgebondenheid op de langere termijn? Zijn deze maatregelen als het ware robuust genoeg? Zijn er geen lock-in-effecten waardoor op korte termijn belemmeringen opgeroepen worden die het halen van de langetermijndoelen onmogelijk maken?

De aanleiding was de discussie omtrent de omvang van de veestapel, maar aan tafel besepte iedereen dat dit een breder thema is. Er bestond de wens om hierover met elkaar in gesprek te gaan. Maar wel gevoed met goed discussiemateriaal. Vandaar uiteindelijk deze studie die nu voorligt. In de vorm van een scenariostudie, waarbij de kern van de mogelijke ontwikkelrichtingen van de landbouw uit elkaar getrokken is, om zo scherpte te krijgen in de gesprekken. Nieuwe inzichten te verkrijgen, vooringenomenheid geen kans te geven, open te staan voor andere benaderingen. Eerst de analyse en het gesprek, daarna mogelijke oplossingen en keuzes. Naar mijn mening biedt deze studie zeer veel waardevol materiaal voor de gesprekken en discussies en overstijgt de studie ook het belang van de Klimaat Tafel. Ze is bruikbaar voor tal van beleidsonderwerpen in het veld van de landbouw en het landgebruik.

Ik dank de onderzoekers en de begeleidingsgroep uit de Klimaat Tafel voor al het verrichte werk. Ik dank ook het ministerie van LNV die deze studie financieel mogelijk maakte. Aan ons allen nu de taak om een serieus gesprek te voeren over de mogelijke toekomst. Dat is aan de veilige kant geformuleerd, maar wel reëel.

Pieter van Geel
Voorzitter Klimaat Tafel landbouw en landgebruik

Samenvatting

Aanleiding voor deze studie was de behoefte bij partijen aan de Klimaattafel landbouw en landgebruik om meer inzicht te krijgen in de consequenties van mogelijke ontwikkelrichtingen van de Nederlandse landbouw in 2050 onder toekomstige klimaat- en milieudoelen. In deze studie zijn vier verschillende scenario's ontwikkeld voor landbouw en landgebruik in 2050. Het gaat om hypothetische scenario's, waarbij de aanname is dat alle boeren in Nederland de gekozen ontwikkelrichting volgen en alle bijbehorende maatregelen toepassen. Het doel van de scenario's is om aanknopingspunten te geven voor een onderbouwde discussie over de toekomst van de Nederlandse landbouw. De te verwachten effecten van de scenario's (zowel op het gebied van milieu als economie) van de scenario's zijn zo concreet mogelijk bepaald met behulp van modellen en expertkennis.

In de vier scenario's is onderscheid gemaakt naar a) de ontwikkelrichting van de landbouw (productiviteit-gedreven versus natuurinclusieve bedrijfsvoering, Tabel S1) en b) de milieugebruiksruimte (voorgenomen versus striktere milieubeleidsdoelen, zie Figuur S1). De milieugebruiksruimte bepaalt op landelijk niveau de emissieruimte voor broeikasgassen, ammoniak en N- en P-belasting naar het oppervlaktewater voor de landbouwsector in 2050 (Tabel S2). Voor ieder scenario is een pakket aan (technische) maatregelen gedefinieerd, passend bij de betreffende ontwikkelrichting van de landbouw en milieugebruiksruimte. Als deze maatregelen ontoereikend zijn voor het behalen van de milieudoelen, zijn verandering van het landgebruik (vergroten areaal bos, veengrond uit productie) en krimp van de veestapel als opties meegenomen om de milieudoelen toch te bereiken.



Figuur S1 Schematische weergave van de opzet van de studie: vier scenario's waarin op een verschillende manier invulling wordt gegeven aan beleidsdoelen voor de landbouw in 2050.

Tabel S1 Belangrijkste elementen van de productiviteit-gedreven en natuurinclusieve bedrijfsvoering.

	Productiviteit-gedreven bedrijfsvoering	Natuurinclusieve bedrijfsvoering
Productiviteit	Verdere verhoging productiviteit per dier en hectare	Stabilisering productiviteit
Weidegang en uitlopen	Beperkte tot geen weidegang en vrije uitloop	Veel weidegang en vrije uitloop voor varkens en pluimvee
Bemesting	Efficiënte toepassing kunstmest en dierlijke mest. Toepassing nitrificatieremmers	Veel minder kunstmest en meer stikstofbinding
Landgebruik melkveehouderij	Intensief grasland en snijmais	Veel kruidenrijkgrasland, minder snijmais
Akkerbouw	Intensief bouwplan met groot aandeel aardappels en suikerbieten	Extensiever bouwplan met meer granen en peulvruchten

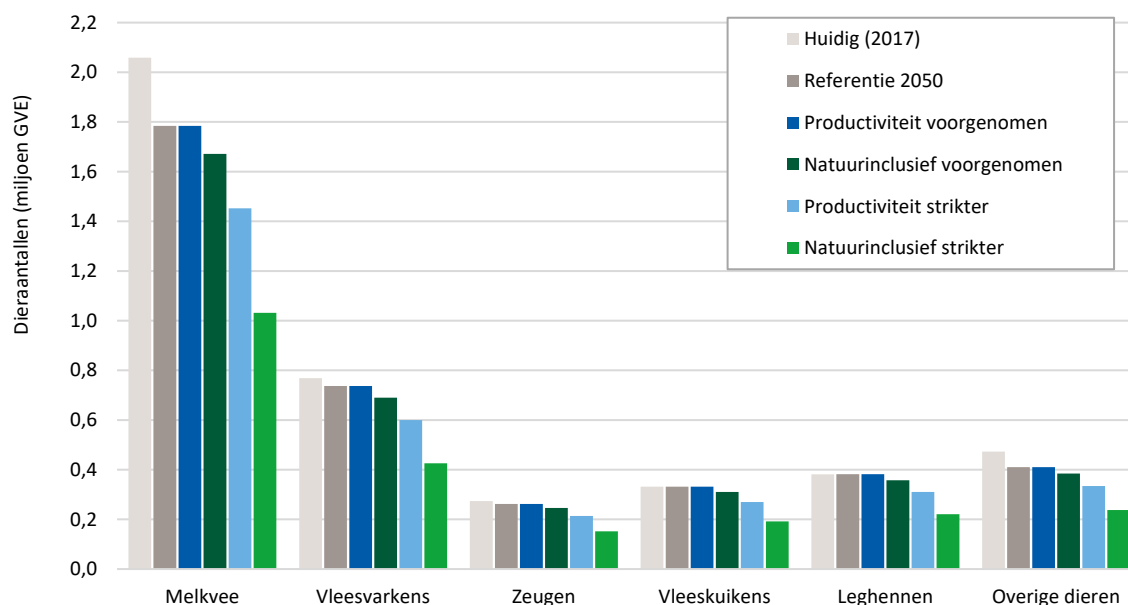
Tabel S2 Milieugebruiksruimte voor de landbouw voor de voorgenomen en striktere milieubeleidsdoelen scenario's.

Onderwerp	Emissies 2017	Voorgenomen beleidsdoelen 2050	Striktere beleidsdoelen 2050
Klimaat (CH ₄ en N ₂ O)	19 Mton CO ₂ -eq	9 Mton CO ₂ -eq	Landbouw en landgebruik netto nul emissies in NL
Klimaat (landgebruik)	6 Mton CO ₂ -eq	2 Mton CO ₂ -eq	Landbouw en landgebruik netto nul emissies in NL
Ammoniak	110 kton NH ₃	85 kton NH ₃	50 kton NH ₃
Nutriënten (N en P) uit- en afspoeling	45 kton N 3,7 kton P	N: -12% P: -12%	N: -17% P: -17%
Kringlopen	N.v.t.	Sluiten voer-mestkringloop binnen Europa	Sluiten voer-mestkringloop binnen Europa

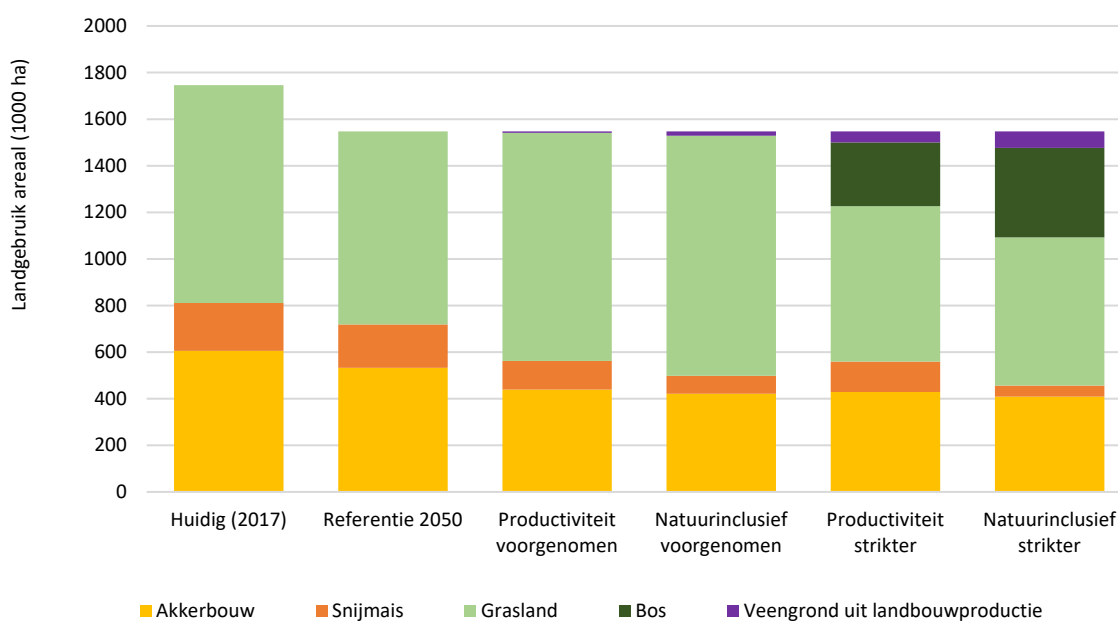
De uitkomsten van de vier scenario's zijn vergeleken met een referentiescenario dat uitgaat van bestaand beleid zonder additionele maatregelen, maar autonome ontwikkelingen in o.a. het landbouwareaal, dierlijke en gewasopbrengsten en voedselconsumptie meeneemt. Het totale landbouwareaal is in 2050 afgenomen met ongeveer 200 duizend ha, als gevolg van de autonome trend aan verlies van landbouwgrond van ongeveer 0,3% per jaar. De effecten van de scenario's zijn in beeld gebracht voor een groot aantal kwantitatieve milieu- en economie-indicatoren en kwalitatief voor verdienmodel, biodiversiteit, dierenwelzijn en weerbaarheid tegen klimaatverandering.

De ontwikkeling van de veestapel en veranderingen in landgebruik zijn naast de effecten van de maatregelpakketten de belangrijkste sturende factoren voor de effecten op de milieu- en economie-indicatoren. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario kunnen de milieudoelen behaald worden zonder krimp van de veestapel; wel neemt het akkerbouwareaal in dit scenario af met bijna 100 duizend ha ten opzichte van het referentiescenario. In het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario is een krimp van 6% van de veestapel nodig ten opzichte van het referentiescenario als gevolg van de lagere graslandopbrengst per ha en lagere effectiviteit van het extensieve maatregelenpakket (Figuur S2).

Voor de scenario's met striktere beleidsdoelen is een grotere krimp van de veestapel nodig om aan de klimaatdoelen te kunnen voldoen. In het *Productiviteit strikter*-scenario is ondanks de inzet van het alles-uit-de-kast maatregelpakket toch een afname van de veestapel nodig met 18%. In het *Natuurinclusief strikter*-scenario is een forse krimp van de veestapel nodig van 42% om aan de milieudoelen te voldoen. In deze twee scenario's zijn ook de effecten op landgebruik groot (Figuur S3). Met name het areaal grasland neemt af door het aanplanten van grote arealen nieuw bos (270 tot 380 duizend ha) voor additionele koolstofvastlegging en het uit landbouwproductie nemen van een deel van het veenweidegebied (48 tot 71 duizend ha) om aan het 'klimaatneutraliteit in Nederland'-doel te voldoen.



Figuur S2 Dieraantallen (in miljoen grootvee-eenheden (GVE), 1 melkkoer is 1 GVE) voor de huidige situatie (2017) en 2050-scenario's.



Figuur S3 Arealen landgebruik (in 1000 ha) voor de huidige situatie (2017) en 2050-scenario's.

Belangrijkste inzichten

1. Zowel de veehouderij als de akkerbouw kan in potentie fors bijdragen aan de klimaatdoelen, ook bij behoud van de huidige omvang van landbouwsectoren. De mate waarin een krimp van veehouderijsectoren is vereist, hangt af van de gehanteerde beleidsdoelen, de ontwikkelrichting van de landbouw en de toename van het areaal bos om landbouwemissies te compenseren. De meest beperkende doelstelling is die van broeikasgassen. Doelen voor ammoniakemissie en N en P uit- en afspoeling, zoals gedefinieerd in de uitgangspunten voor de scenario's, worden in 2050 gehaald. Ook leiden alle scenario's tot een beter sluitende nutriëntenbalans van de Nederlandse landbouw. Uitgangspunt hierbij is wel dat de maatregelen op alle landbouwbedrijven worden toegepast en het verwachte effect opleveren.

-
2. Indien broeikasgasreductiedoelen voor landbouw in 2050 gedifferentieerd worden naar EU-lidstaten, hoeft de veestapel in Nederland niet of slechts beperkt te krimpen. Bij de striktere beleidsdoelen met klimaatneutraliteit binnen Nederland (emissieruimte voor broeikasgassen uit de landbouw mag niet groter zijn dan vastlegging van CO₂) is bij het *Productiviteit strikter*-scenario een reductie van de veestapel van 20% nodig en bij het *Natuurinclusief strikter*-scenario een reductie met ruim 40%. In deze twee scenario's is daarnaast een sterke toename nodig van het areaal bos om de landbouwemissies te compenseren. Ook moet een deel van het veenweidegebied uit landbouwproductie worden genomen.
 3. In alle scenario's neemt het akkerbouwareaal af ten opzichte van de huidige situatie. Dit is zowel het gevolg van het uitgangspunt van grondgebondenheid in de melkveehouderij als van de noodzaak het areaal bos te vergroten in de scenario's met striktere beleidsdoelen. Alleen zo is aan het klimaatdoel van netto nul emissies te voldoen. Indien maatregelen (in de veehouderij) minder effectief blijken te zijn, zal de benodigde krimp in de veestapel groter zijn en derhalve meer landbouwgrond naar de akkerbouw gaan. Ook als het areaal extra in te zetten bos wordt beperkt, zal dit een verschuiving van veehouderij naar akkerbouw betekenen ten opzichte van de gepresenteerde resultaten.
 4. De scenario's hebben sterke effecten op de netto handel en zelfvoorzieningsgraad van verschillende landbouwproducten. Het algemene beeld is dat Nederland minder exporterend zal worden. Deze handelseffecten worden naar verwachting voor een substantieel deel opgevangen door de andere EU-lidstaten, maar ook de handel van de EU met de rest van de wereld zal worden beïnvloed door de veranderingen in Nederland. Het verwachte effect van de scenario's op de humane consumptie van plantaardige en dierlijke producten in Nederland is beperkt.
 5. Wat de effecten van de scenario's op de economische bijdrage van de landbouw zullen zijn, zal in belangrijke mate afhangen van de manier waarop maatregelen worden gestimuleerd en beloond door overheden, bedrijfsleven en consumenten. De indicatieve berekeningen in deze studie laten zien dat de toegevoegde waarde in de landbouw met maximaal 35% zal dalen, met name in de situatie van striktere beleidsdoelen. Uiteraard heeft deze daling in toegevoegde waarde ook aanzienlijke gevolgen voor de omvang en werkgelegenheid van toeleverende en verwerkende industrie. De berekende reductie van de toegevoegde waarde is waarschijnlijk een onderschatting, omdat geen rekening is gehouden met de extra kosten van emissie-reducerende maatregelen. Experts verwachten dat de scenario's zullen leiden tot een toename van de kosten, met name voor de natuurinclusieve scenario's (lagere producties per dier en per ha, kosten voor uitloop intensieve veehouderij) en het *Productiviteit strikter*-scenario (veel techniek, hoge kosten voor externe inputs en gebouwen). Bij de natuurinclusieve scenario's worden wel meer mogelijkheden gezien om meeropbrengsten te realiseren, hetzij via de markt, hetzij via het leveren van andere diensten. Op dit moment zijn de mechanismen om dit soort meerwaardes te realiseren nog maar beperkt aanwezig voor de Nederlandse landbouw.

Gevoeligheidsanalyse

In elke scenariostudie zijn de resultaten sterk afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. Daarom is via een gevoeligheidsanalyse in kaart gebracht wat de effecten zijn van veranderingen in enkele bepalende uitgangspunten. Dit levert de volgende inzichten op:

- De resultaten gaan uit van 100% implementatie en effectiviteit van de maatregelen. Bij een daling naar 50%, is een fors hogere krimp van de veestapel nodig om aan alle doelen te voldoen. In dat geval zal meer grond naar de akkerbouw kunnen gaan.
- In de scenario's met striktere beleidsdoelen is een fors extra areaal bos nodig om aan de klimaatdoelen te voldoen. Indien het beschikbare areaal voor bos wordt beperkt, is een sterkere afname van de veestapel nodig om aan klimaatneutraliteit binnen Nederland te voldoen. Klimaatneutraliteit in landbouw en landgebruik binnen Nederland is niet mogelijk zonder aanplant van extra bos.
- De veronderstelling is dat een eventuele krimp van de veestapel leidt tot een gelijke krimp van alle dierlijke sectoren (proportionele verdeling). Als dit uitgangspunt wordt losgelaten, is de benodigde afname voor varkens en pluimvee minimaal in alle scenario's, aangezien een daling van het aantal runderen veel effectiever is in het verminderen van broeikasgasemissies in Nederland.

Beperkingen van deze studie

Het effect dat de landbouw heeft op milieu en klimaat is aanleiding voor veel discussie over de toekomstige rol en positie van de landbouw in Nederland. Het is niet duidelijk aan welke doelen de Nederlandse landbouw op termijn moet voldoen en in welke mate de landbouw emissies kan verminderen bij de huidige omvang, structuur en bedrijfsvoering. Bij de interpretatie van de resultaten uit deze studie dient rekening te worden gehouden met de volgende beperkingen:

- Het uitgangspunt voor de scenario's is dat alle landbouwbedrijven in Nederland de richting van het betreffende scenario volgen en de bijbehorende maatregelen toepassen. Het zijn daarmee hypothetische scenario's, met het doel om inzicht te bieden en aanknopingspunten te geven voor de discussie over de toekomst van de Nederlandse landbouw. De scenario's zijn dus geen realistische of gewenste toekomstbeelden. In de praktijk zullen meerdere ontwikkelingen naast elkaar plaatsvinden.
- De studie doet geen uitspraken over het verloop van het traject tussen nu en 2050. De gehanteerde kwantitatieve beleidsdoelen voor 2050 zijn voor deze studie ingevuld op basis van de beschikbare informatie, ze hebben geen beleidsmatige status.
- De studie maakt ruimtelijke effecten niet inzichtelijk. Het uitgangspunt is dat maatregelen (en dus ook krimp van sectoren) genomen worden in de regio's waar deze het effectiefst zijn. Dit kan regionaal aanzienlijke effecten hebben, maar deze zijn niet in beeld gebracht.
- De gepresenteerde economische effecten zijn indicatief. Economische resultaten zijn in belangrijke mate afhankelijk van ontwikkelingen in prijsverhoudingen en effecten van beleidssturing die op een dergelijke lange termijn moeilijk tot niet zijn te voorspellen.

Summary

This study was prompted by the need among participants at the Climate Table on Agriculture and Land Use to gain more insight into the consequences of possible future developments of Dutch agriculture by 2050 under future climate and environmental targets. This study developed four different scenarios for agriculture and land use by 2050. These are hypothetical scenarios in which it is assumed that all farmers in the Netherlands will follow the chosen development direction and apply all associated measures. The scenarios aim to provide starting points for a well-founded discussion about the future of Dutch agriculture. The expected environmental and economic effects of the scenarios are determined as concretely as possible using models and expert knowledge.

In the four scenarios, a distinction is made between a) the development direction of agriculture; productivity driven versus nature-inclusive business operations (Table S1), and b) environmental boundaries defining the operation space via envisaged and stricter environmental policy objectives (Figure S1). At the national level, the environmental boundaries determine the emission space for greenhouse gases, ammonia and nitrogen (N) and phosphorus (P) loads to surface water for the agricultural sector by 2050 (Table S2). For each scenario, a package of (technical) measures has been defined, appropriate to the relevant development direction of agriculture and the environmental boundaries. If these measures are insufficient to achieve the environmental targets, land use change (increasing the area of forest, peatland out of production) and reducing livestock numbers have been included as options for achieving the environmental targets.

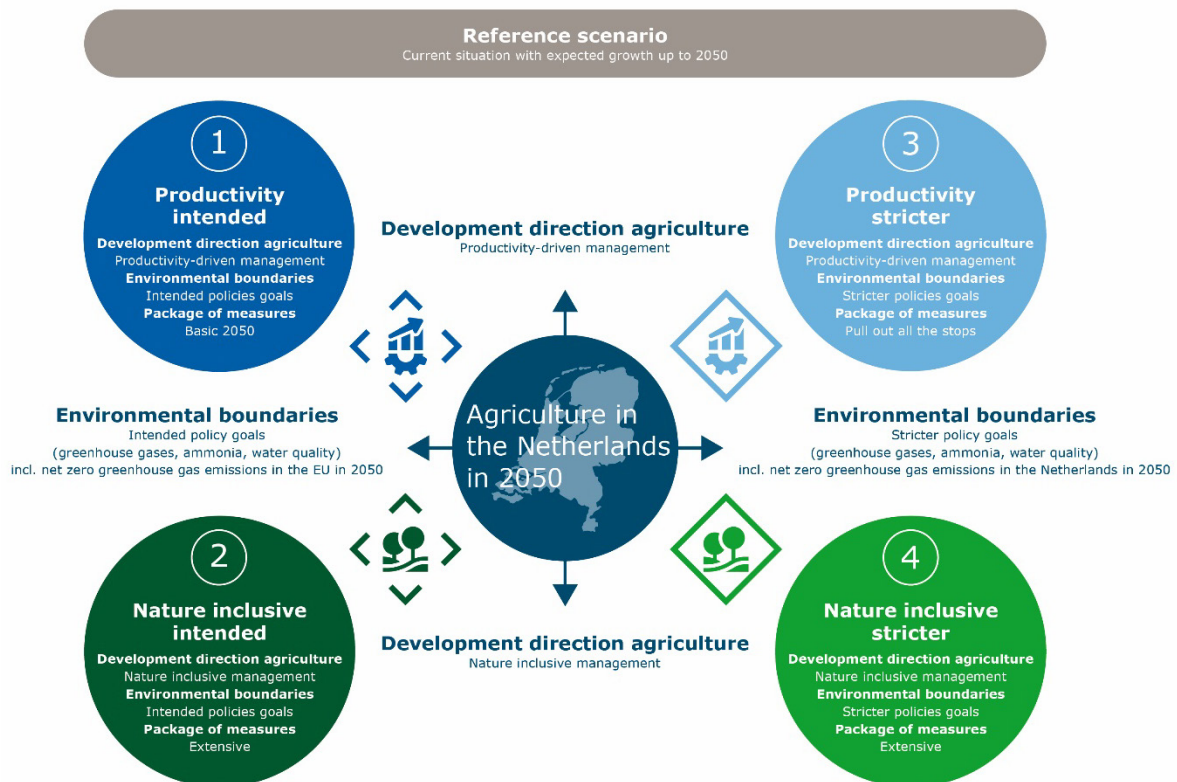


Figure S1 Diagram of the structure of the study: four scenarios in which policy objectives for agriculture by 2050 are implemented in different directions.

Table S1 Main elements of productivity-driven and nature inclusive management.

	productivity-driven management	nature inclusive management
Productivity	Further increase in productivity per animal and hectare	Stabilization productivity
Grazing and free range	Zero to restricted grazing and free range	Much grazing for cattle and free range for pigs and poultry
Fertilisation	Efficient application of fertilizer and animal manure. Application nitrification inhibitors	Much less fertiliser and more biological nitrogen fixation
Dairy farming land use	Intensive grassland and silage maize	Many herb-rich grassland, less silage maize
Arable farming	Intensive cultivation plan with a large proportion of potatoes and sugar beet	More extensive cultivation plan with more cereals and pulses

Table S2 Agri-environmental scope for the intended and stricter environmental boundaries.

Topic	Emissions 2017	Intended policy goals 2050	Stricter policy goals 2050
Climate (CH ₄ and N ₂ O)	19 Mton CO ₂ -eq	9 Mton CO ₂ -eq	Net zero emissions in NL from agriculture and land use
Climate (land use)	6 Mton CO ₂ -eq	2 Mton CO ₂ -eq	Net zero emissions in NL from agriculture and land use
Ammonia	110 kton NH ₃	85 kton NH ₃	50 kton NH ₃
Nutrients (N and P) leaching and runoff	45 kton N 3,7 kton P	N: -12% P: -12%	N: -17% P: -17%
Nutrient cycles	n/a	Closing feed-manure cycle within Europe	Closing feed-manure cycle within Europe

The results of the four scenarios have been compared to a reference scenario, which is based on existing policy without additional measures, but includes autonomous developments in, among other things, agricultural area, livestock and crop productivity and food consumption. By 2050, the total agricultural area will have decreased by about 200,000 ha, as a result of the autonomous trend in the loss of agricultural land of about 0.3% per year. The effects of the scenarios have been quantitatively depicted for a large number of environmental and economic indicators and qualitatively for the indicators revenue model, biodiversity, animal welfare and resilience to climate change.

In addition to the effects of the packages of measures, the development of livestock and changes in land use are the main drivers of environmental and economic impact indicators. In the *Productivity intended* scenario, the environmental objectives can be achieved without a reduction in livestock numbers, although in this scenario the arable area decreases by almost 100 thousand ha compared to the reference scenario. In the *Nature-inclusive intended* scenario a 6% reduction in livestock numbers is required compared to the reference scenario due to the lower grassland yield per hectare and lower effectiveness of the extensive package of measures (Figure S2).

Scenarios with stricter policy goals require a more substantial reduction in livestock numbers to meet the set climate target. In the *Productivity stricter* scenario an 18% reduction in livestock numbers is still required, despite the deployment of the “pull out all the stops” package of measures. In the *Nature-inclusive stricter* scenario, a substantial decrease of 42% of the livestock numbers is required to meet the environmental targets. In these two scenarios, effects on land use are also significant (Figure S3). The grassland area, in particular, is reduced by planting large areas of new forest (270 to 380 thousand ha) for additional carbon sequestration and peat meadows areas (48 to 71 thousand ha) are refrained from agricultural production to meet the climate neutrality target in the Netherlands.

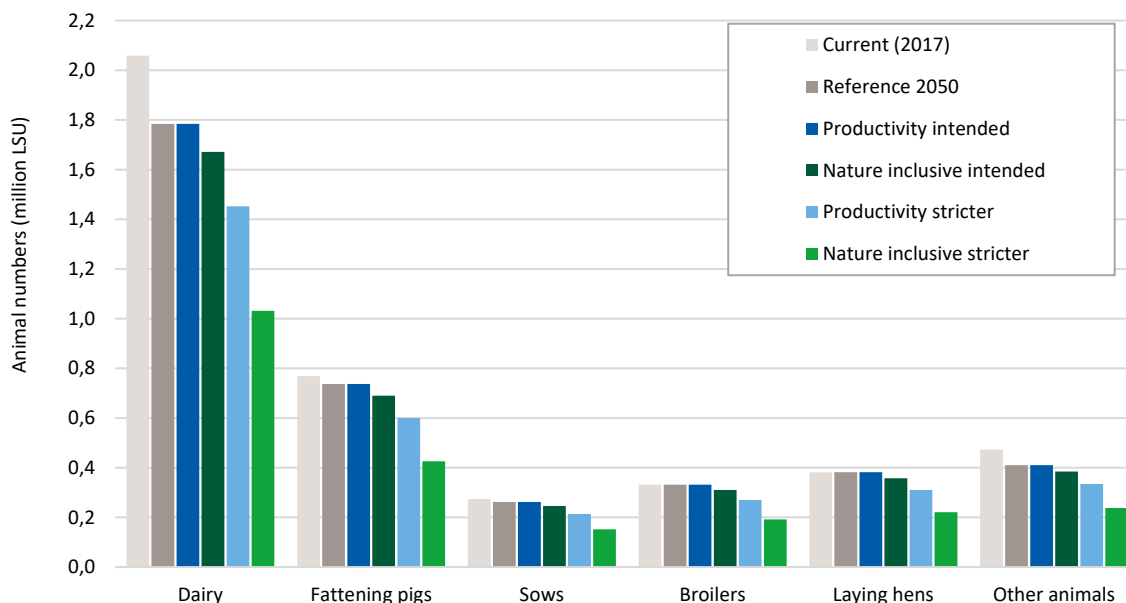


Figure S2 Livestock numbers (in million livestock units (LSU), 1 dairy cow is 1 LSU) for the current situation (2017) and 2050 scenarios.

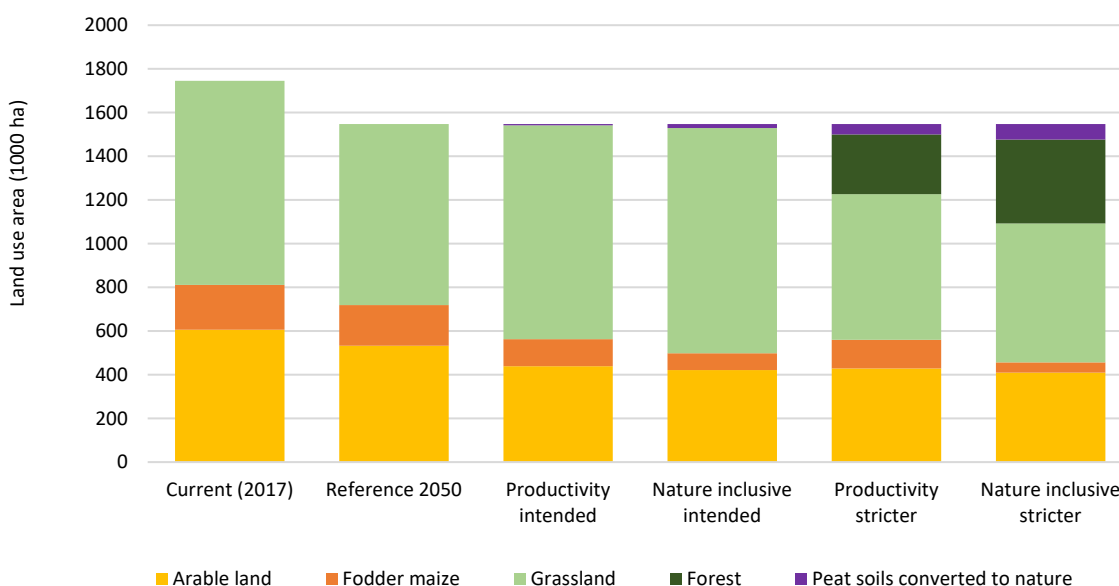


Figure S3 Land use area (kha) for the current situation (2017) and 2050 scenarios.

Most important insights

- Both livestock and arable farming have potential to contribute significantly to the climate targets, even if the current size of agricultural sectors is maintained. The extent to which a decrease in livestock production is required depends on the policy objectives used, the direction of agricultural development, and the increase in the area of forest needed to compensate for agricultural emissions. The most restrictive goal is that of greenhouse gases. Targets for ammonia emissions and N and P runoff and leaching, as defined in the assumptions for the scenarios, will be met in 2050. All scenarios also lead to a more balanced nutrient balance for Dutch agriculture. However, the assumption is that measures will be applied to all farms and will deliver the expected effect.
- If GHG reduction targets for agriculture by 2050 are differentiated among EU member states, no or only a limited reduction in livestock numbers in the Netherlands will be required. Under the

stricter policy goals with climate neutrality in the Netherlands (the emission allowance for greenhouse gases from agriculture may not exceed the sequestration of CO₂ in land use), the *Productivity stricter* scenario requires a 20% reduction in livestock numbers, and the *Nature-inclusive stricter* scenario requires a reduction of more than 40%. In addition, these two scenarios require a strong increase in the area of forest to compensate for agricultural GHG emissions. Part of the peat meadow area will also have to be taken out of agricultural production.

3. In all scenarios, the area of arable land decreases compared to the current situation. This is both due to land-related dairy farming and the need to increase the area of forest in the scenarios with stricter policy objectives. Without a decrease in arable land, it is not possible to meet the climate target of net-zero emissions. If measures (in livestock farming) prove to be less effective, the necessary reduction in livestock numbers will be higher and more land will, therefore, go to arable farming. If the area available for new forest will be restricted, a further reduction in livestock farming will be required resulting in an increase in arable farming.
4. The scenarios have strong effects on net trade and self-sufficiency rate of different agricultural products. The general picture is that the Netherlands will become less exporting. These trade effects are expected to be absorbed to a substantial extent by other EU member states, but EU trade with the rest of the world will also be affected by the changes in the Netherlands. The expected impact of the scenarios on the human consumption of plant and animal products in the Netherlands is limited.
5. The impact of the scenarios on the economic contribution of agriculture will depend to a large extent on how measures are stimulated and rewarded by public authorities, industries and consumers. The indicative calculations in this study show that value-added in agriculture will be reduced by a maximum of 35%, particularly in the situation of stricter policy objectives. Of course, this reduction in value-added will also have a significant impact on the size and employment of upstream and downstream industries. The calculated decrease of added value is probably an underestimate because the additional costs of emission-reducing measures have not been taken into account. Experts expect the scenarios will result in an increase in costs, particularly for the nature-inclusive scenarios (lower production per animal and per ha, costs for free ranging in intensive livestock farming) and the *Productivity stricter* scenario (high technology, high costs for external inputs and buildings). In the nature-inclusive scenarios, however, more opportunities are seen to realise additional returns, either through the market or through the provision of other services. However, at present the mechanisms for achieving these kinds of added value are still limited for the Dutch agriculture.

Sensitivity analysis

In each scenario study, results are highly dependent on the chosen assumptions, which is why a sensitivity analysis was used to map out the effects of changes in some of the most relevant assumptions. The sensitivity analysis showed that:

- Compared to the assumed 100% implementation and effectiveness of the measures, a 50% reduction requires a considerably higher reduction in livestock number to meet all policy goals, which results in a land shift towards arable farming.
- For the scenarios with stricter policy targets, a considerably additional forest area is needed to meet the climate targets. When the land availability for forestry is limited, a larger reduction in livestock numbers is required to achieve climate neutral agriculture in the Netherlands. Climate neutrality in agriculture and land use in the Netherlands is not possible without planting additional forests.
- If the assumption that a possible reduction of the livestock population will lead to a uniform reduction in all livestock sectors (proportional distribution) is abandoned, only a minor reduction in pig and poultry numbers is required for all scenarios. A reduction in cattle numbers is much more effective in reducing greenhouse gas emissions compared to pigs and poultry.

Limitations of this study

The impact that agriculture has on the environment and climate has triggered discussions about the future role and position of agriculture in the Netherlands. It is not clear what objectives Dutch agriculture will have to meet in the long term and to what extent agriculture can reduce emissions with its current size, structure and management. In interpreting the results of this study, the following limitations should be taken into account:

- The assumption that all farms in the Netherlands 100% comply with the associated measures of the considered scenario. The scenarios are, therefore, hypothetical scenarios to provide insight and starting points for the discussion about the future of Dutch agriculture. They are representing realistic situations for the future, as in reality, several developments will take place side by side.
- The study makes no statements about the trajectory between the current situation and 2050. For the purposes of this study, the quantitative policy objectives for 2050 have been formulated on the basis of the available information; they have no policy status.
- The study does not provide insight into spatial differentiation. The assumption is that measures are taken in the regions where they are most effective. This can have significant regional effects, but these have not been considered.
- The economic effects presented are indicative. Economic results depend to a large extent on developments in price ratios and effects of policy steering which are difficult or impossible to predict in such a long term.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Klimaatverandering is een maatschappelijk zeer relevant en actueel thema. Op de 21^{ste} jaarlijkse klimaatconferentie van de Verenigde Naties in 2015 in Parijs hebben 195 landen een akkoord gesloten met als doel om de opwarming van de aarde ruim onder de 2 graden Celsius houden, met 1,5 graad als streven. Dit akkoord is door Nederland ondertekend, samen met de andere lidstaten van de Europese Unie. Om binnen de overeengekomen temperatuurstijging te blijven, moet de broeikasgasuitstoot in 2050 met 80-95% zijn gereduceerd. Voor 2030 is door de Europese lidstaten een reductiedoel van 49% ten opzichte van 1990 overeengekomen.

In het recentste regeerakkoord (Tweede Kamer, 2017) is vastgelegd dat er een nationaal Klimaatakkoord komt om invulling te geven aan de doelstelling van het Parijsakkoord en de daaruit voortvloeiende Europese afspraken. In 2018 en 2019 is er door meer dan honderd maatschappelijke partijen aan verschillende klimaattafels gewerkt aan het Klimaatakkoord: een samenhangend pakket aan voorstellen waarmee het reductiedoel van 49% in 2030 gerealiseerd kan worden. Het beraad aan de Klimaattafels heeft geleid tot een ontwerp-Klimaatakkoord in december 2018 en een definitief akkoord in juni 2019 (Klimaatberaad, 2019). Momenteel (januari 2020) werkt het kabinet de voorstellen in het Klimaatakkoord uit tot concreet klimaatbeleid. In het Klimaatakkoord staan de doelstellingen en maatregelen voor 2030 centraal, maar er wordt wel steeds gewerkt vanuit een visie welke maatregelen nodig zijn om de langetermijndoelstelling van 2050 te realiseren.

Ook voor de tafel Landbouw en Landgebruik is in het Klimaatakkoord een visie voor 2050 opgenomen. Tijdens de uitwerking van het ontwerp-Klimaatakkoord ontstond bij de verschillende partijen aan tafel de behoefte om meer inzicht te krijgen in de consequenties van voorgestelde ontwikkelrichtingen in de visie voor 2050. Om in deze behoefte te voorzien, heeft het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit aan Wageningen Research gevraagd om een scenariostudie uit te voeren die een beeld geeft van de mogelijke consequenties van verschillende ontwikkelrichtingen van de landbouw in 2050.

1.2 Doelstelling

Doel van deze studie is om scenario's van de Nederlandse landbouw in 2050 te schetsen en de milieukundige, maatschappelijke, ecologische en economische consequenties kwantitatief dan wel kwalitatief in kaart te brengen. Het gaat hier om scenario's die zo geformuleerd zijn dat ze een breed veld omspannen, waarbij ervan uitgegaan wordt dat alle boeren in Nederland de gekozen ontwikkelrichting volgen en bijbehorende maatregelen toepassen. Daarmee zijn het 'extreme' scenario's, die beogen inzicht te bieden en aanknopingspunten te geven voor een onderbouwde discussie over de toekomst van de Nederlandse landbouw. De scenario's zijn dus niet realistische toekomstbeelden, aangezien in de praktijk elementen uit de verschillende scenario's gecombineerd zullen worden wat betreft bedrijfsvoering en beleidsdoelen.

Bij alle scenario's is het uitgangspunt dat er voldaan zal worden aan klimaatdoelen voor 2050 en dat de daarvoor benodigde maatregelen worden doorgevoerd. Deze klimaatdoelen dienen wel in een breder en integraal perspectief te worden geplaatst. Dit wil zeggen dat ook andere relevante milieudoelen moeten worden gerealiseerd, of in ieder geval in beeld moet worden gebracht wat de effecten van de maatregelen zijn op andere milieuthema's. De visie Kringlooplandbouw zoals gepresenteerd door de minister van LNV in september 2018 (ministerie LNV, 2018) is hierbij een belangrijk vertrekpunt.

Een discussiepunt tijdens de bespreking van maatregelen binnen de Klimaattafel landbouw en landgebruik was de noodzaak voor een inkrimping van de veestapel, gezien vanuit de klimaatopgaven voor 2050. Deze studie dient derhalve ook inzicht te geven in noodzaak en effect van een krimp van het aantal dieren in Nederland, gezien vanuit de mogelijke klimaatdoelen voor 2050. De grootte van de veestapel is in geen enkel scenario ingezet als doel of als a-priori-sturingsinstrument, maar is uitsluitend de resultante van een gekozen ontwikkelrichting voor de landbouw die past binnen de milieugebruiksruimte voor 2050.

De scenario's laten mogelijk uitkomsten en neveneffecten zien. Deze kunnen mogelijk ongewenst zijn, maar dit geeft inzicht en biedt mogelijkheden om hier maatregelen op te kunnen of willen treffen, en daarmee handelingsperspectief. De studie biedt aanknopingspunten voor afstemming en discussie tussen overheid, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties, en kan daarmee bijdragen aan visievorming en -aanscherping voor de Nederlandse landbouw. Verder kan de studie een bijdrage leveren aan de formulering van coherent beleid en de daarbij in te zetten sturingsinstrumenten, zowel op het thema klimaat als op andere beleidsthema's.

1.3 Proces

Deze studie is uitgevoerd door een breed team van onderzoekers van Wageningen Universiteit en Research. Ze werden daarbij begeleid door een begeleidingscommissie, bestaande uit deelnemers van de Klimaattafel landbouw en landgebruik onder voorzitterschap van Pieter van Geel (voorzitter Klimaattafel landbouw en landgebruik). Naast de heer Van Geel namen Hester Maij (Provincie Overijssel namens IPO), Karen Eilers/Marjolein Demmers (Natuur en Milieu namens de natuur- en milieuorganisaties), Bjorn van den Boom (Natuurmonumenten), Werner Buck (FrieslandCampina namens NZO), Kees van Zelderen (LTO) en Hugo van Kasteel/Peter Paul Mertens (LNV) zitting in de begeleidingscommissie. Martijn Root (secretaris Klimaattafel landbouw en landgebruik) voerde het secretariaat namens de begeleidingscommissie.

Voor de totstandkoming van dit rapport zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Nader uitwerken van uitgangspunten uit het onderzoeksvoorstel, zoals vaststellen van indicatoren waarop resultaat wordt beoordeeld en relevante factoren voor te onderscheiden scenario's.
2. Definitie van te onderscheiden scenario's en daarbij horende uitgangspunten.
3. Doorrekenen van de effecten van de verschillende scenario's, inclusief het opstellen van een plan van aanpak voor de doorrekening en een gevoeligheidsanalyse.
4. Rapportage en interpretatie van resultaten.
5. Overige communicatie, o.a. het opstellen van een brochure met factsheets waarin de resultaten visueel aantrekkelijk en in eenvoudiger taal worden weergegeven.

De begeleidingscommissie is nauw betrokken geweest bij het opstellen van de uitgangspunten en het definiëren van de scenario's (stap 1 en 2). De begeleidingscommissie is hiervoor in de loop van de studie (december 2018-oktober 2019) regelmatig bij elkaar geweest voor afstemming over de uitgangspunten van het onderzoek en definitie van de scenario's. Daarnaast heeft er een tweetal technische bijeenkomsten plaatsgevonden waarbij de achterban van de vertegenwoordigde organisaties input kon geven bij de definiëring van de uitgangspunten. Tijdens deze bijeenkomsten hebben de onderzoekers de uitgewerkte uitgangspunten en de keuzes en dilemma's bediscussieerd met de begeleidingscommissie. Door dit iteratieve proces was het projectteam in staat om de uitgangspunten samen met de begeleidingscommissie te concretiseren. De verdere uitwerking was een verantwoordelijkheid van het WUR-projectteam.

Stap 3 en 4 zijn door de onderzoekers onafhankelijk van de begeleidingscommissie uitgevoerd. De begeleidingscommissie heeft commentaar gegeven op een conceptversie van dit rapport. Het commentaar is door de onderzoekers verwerkt. Het eindresultaat blijft echter de volledige verantwoordelijkheid van de onderzoekers.

1.4 Afbakening van de studie

Deze studie is als volgt afgebakend:

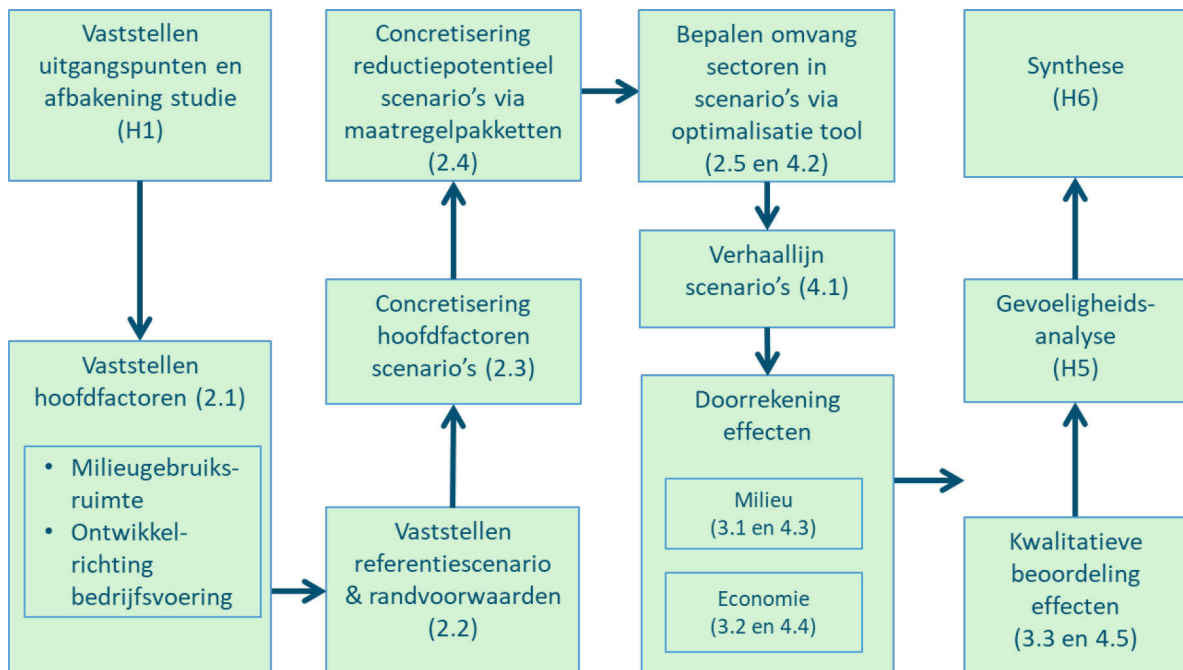
1. De studie richt zich op de grondgebonden landbouw en intensieve veehouderij in Nederland. De glastuinbouw wordt in deze studie niet meegenomen, aangezien deze sector al ver uitgewerkte plannen heeft om in 2040 klimaatneutraal te zijn en er geen grote interacties zijn te verwachten met het landgebruik in de andere landbouwsectoren. Om de studie 'handelbaar' te maken, zijn maatregelen en uitgangspunten alleen geconcretiseerd voor de vier grootste landbouwsectoren in Nederland, te weten melkveehouderij, akkerbouw en open teelten, varkens en pluimvee. Voor de maatregelen en effecten in overige sectoren zijn aannames op hoofdlijnen gedaan om toch de totale emissie te kunnen uitrekenen.
2. De studie richt zich op de effecten van veranderingen binnen het areaal van de huidige landbouw. Ander landgebruik en effecten van landgebruiksveranderingen buiten het huidige landbouwareaal (bestaand bos, overige natuur en bebouwde omgeving) vallen buiten deze studie.
3. De studie gaat uit van het huidige landbouwsysteem en de (technische) maatregelen die nu bekend zijn. Er wordt geen rekening gehouden met mogelijke toekomstige transitie naar een compleet ander landbouwsysteem, bijv. grootschalige productie van kweekvlees, of melk zonder koeien of nieuwe, nu nog onbekende innovaties om emissies te verminderen.
4. De studie biedt inzicht in effecten in de volgende gebieden:
 - a. Milieudruk (kwantitatief). Dit betreft broeikasgasemissies, landgebruik en landgebruiksverandering, ammoniakemissies en uit- en afspoeling van stikstof (N) en fosfor (P) naar grond- en oppervlaktewater.
 - b. Mate van kringloopsluiting. Dit betreft de mate waarin de nutriëntenkringloop beter gesloten wordt door verlaging van externe aanvoer van nutriënten (kunstmest en import veevoer) en het minimaliseren van de verliezen van N en P in het landbouwsysteem.
 - c. Overige gevolgen die kwalitatief worden bekeken, zijn biodiversiteit en landschappelijke waarden, dierenwelzijn en de weerbaarheid (het adaptatievermogen) van het productiesysteem tegen klimaatverandering.
 - d. Economische aspecten. Dit betreft productievolumes plantaardig en dierlijk in Nederland, economische waarde van het agrocomplex (omzet, werkgelegenheid, export), bijdrage aan voedselvoorziening (aandeel van consumptie) en het verdienmodel van primaire producenten (kwalitatief).
5. De effecten op fijnstofuitstoot, voedselveiligheid en eventuele economische gevolgen van dierziekten zijn buiten beschouwing gelaten.
6. De kosten van de technische maatregelen en gebiedsmaatregelen (bijv. aanplanten van bos en veenweide uit landbouwproductie halen) zijn richting 2050 erg moeilijk te schatten en zijn daarom ook niet kwantitatief meegenomen in de analyses. De kosten van technische maatregelen zijn wel meegenomen in de kwalitatieve beoordeling van het verdienmodel voor boeren.
7. De scenario's en uitkomsten van de studie richten zich op het jaar 2050. De uitkomsten van de vier scenario's worden vergeleken met het referentiescenario waarin de effecten van autonome ontwikkelingen en bestaande wetgeving zijn meegenomen, maar geen maatregelen zijn genomen. Ter verduidelijking is veelal ook een vergelijking met de huidige situatie opgenomen.¹ Het verloop van de ontwikkeling richting 2050 is niet gemodelleerd.
8. De uitkomsten van de studie zijn niet ruimtelijk expliciet (bijv. op gemeentelijk of provinciaal niveau) gepresenteerd, maar bij de berekeningen is hier wel rekening mee gehouden. De resultaten van deze studie zijn dan ook niet geschikt voor toepassing in regionale context. Uitgangspunt is dat maatregelen genomen worden op plekken waar dit het effectiefst is. Wel is bij de doorrekening gebruikgemaakt van regionale data en wordt rekening gehouden met verschillen in o.a. bodemtype (zand, klei en veen) en de ruimtelijke verdeling van sectoren.

¹ Dat wil zeggen het recentste jaar waarvoor alle benodigde basisgegevens beschikbaar zijn. In de meeste gevallen is dit 2017.

1.5 Opzet rapport

Dit onderzoeksrapport bestaat uit 6 hoofdstukken. Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 eerst een beschrijving gegeven van de uitgangspunten en opbouw van de vier scenario's (met maatregelen) en het referentiescenario (zonder maatregelen). Hoofdstuk 3 beschrijft de methodiek die is toegepast om de gevolgen van de gedefinieerde toekomstscenario's te kunnen doorrekenen en beoordelen. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de studie gepresenteerd en in hun context geplaatst. Dit hoofdstuk begint met de hoofdresultaten van veranderingen in dieraantallen en landgebruik en een samenvattende beschrijving (verhaallijn) van de vier scenario's. Daarna volgen meer kwantitatieve paragrafen, waarin verschillen tussen de scenario's in milieukundige, economische en overige indicatoren per thema worden besproken. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van een gevoeligheidsanalyse gepresenteerd en besproken. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de vraag hoe de uitkomsten zouden veranderen als een aantal uitgangspunten niet gerealiseerd wordt. In hoofdstuk 6 volgt een synthese waarin de belangrijkste conclusies en bevindingen van het onderzoeksteam uiteen zijn gezet.

In Figuur 1 zijn de doorlopen stappen in het project schematisch en in samenhang weergegeven.



Figuur 1 Schematische weergave van de aanpak voor het definiëren en beoordelen van de scenario's in deze studie, met referentie naar de hoofdstukken waarin de verschillende stappen worden besproken.

2 Opbouw van de scenario's

2.1 Aanpak op hoofdlijnen

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe de onderzoekers, in samenspraak met de begeleidingscommissie, tot de definitie van vier verschillende scenario's voor de Nederlandse landbouw in 2050 zijn gekomen. Deze scenario's dienen inzicht te geven in de effecten van verschillende mogelijke ontwikkelrichtingen van de landbouw in Nederland. De studie is opgezet om de discussie te voeden, daarom zijn de scenario's zo geformuleerd dat ze een breed veld omspannen waarin ervan uitgegaan wordt dat alle boeren in Nederland die ontwikkelrichting volgen. Het zijn daarmee dus geen realistische scenario's van hoe de landbouw er in 2050 uitziet, aangezien er in de praktijk een combinatie van ontwikkelrichtingen naast elkaar zal plaatsvinden. In alle scenario's wordt uitgegaan van volledige implementatie van maatregelen. Hierdoor wordt per scenario inzichtelijk gemaakt welke gewenste effecten, maar mogelijk ook ongewenste effecten en afwentelingen kunnen optreden.

Om te komen tot een beperkt aantal scenario's, zijn deze, in overleg met de begeleidingscommissie, samengepakt in een tweetal onderscheidende hoofdfactoren (verder uitgewerkt in paragraaf 2.3)²:

1. *Milieugebruiksruimte*: dit is de ruimte die op basis van de milieudoelen beschikbaar is voor de Nederlandse landbouw in 2050. Voor het bepalen van de milieugebruiksruimte zijn twee varianten uitgewerkt, een milieugebruiksruimte gebaseerd op de voorgenomen milieudoelen en een variant met een kleinere milieugebruiksruimte waarbij de milieudoelen zijn aangescherpt.
2. *Ontwikkelrichting van de bedrijfsvoering*: ook hierin zijn twee varianten uitgewerkt: één waarin Nederland in zal zetten op voortzetting van een door productiviteit gedreven bedrijfsvoering met vooral technische mitigatieopties en één waarin wordt ingezet op een meer natuurinclusieve bedrijfsvoering, waarin meer gebruik wordt gemaakt van natuurlijke processen en de externe inputs (krachtvoer, kunstmest, chemische bestrijdingsmiddelen) lager zijn.

Aan de hand van deze twee hoofdfactoren, die in meer detail in paragraaf 2.3 worden beschreven, zijn vier scenario's uitgewerkt, die verschillend, maar intern samenhangend en coherent zijn. Deze scenario's worden steeds vergeleken met een referentiescenario voor 2050. Dit referentiescenario gaat uit van het huidige beleid en autonome ontwikkelingen in productiviteit. Er worden in het referentiescenario geen klimaatmitigatiemaatregelen toegepast en ten aanzien van ammoniakemissie en uit- en afspoeling van N en P worden alleen maatregelen meegenomen die al zijn opgenomen in vaststaand beleid (peildatum voorjaar 2019), zoals het zesde Nitraatactieplan (2018-2021) van de Nitraatrichtlijn, Stroomgebiedsbeheerplannen 2016-2021 van de Kaderrichtlijn Water, Programma Aanpak Stikstof en Nationale emissie plafonds. Dit referentiescenario en de hierbij gehanteerde randvoorwaarden zijn verder beschreven in paragraaf 2.2.

Ieder scenario heeft een bijbehorend technisch maatregelpakket om broeikasgasemissies, ammoniakemissies en N- en P-belasting van het oppervlaktewater te reduceren. Het gekozen pakket is afhankelijk van de ontwikkelrichting en de milieugebruiksruimte. Een aantal maatregelen wordt in ieder pakket op gelijke wijze uitgevoerd, maar voor andere maatregelen geldt dat ze een eigen invulling hebben per pakket. Aan de hand van de maatregelpakketten is berekend welke emissies optreden in de verschillende sectoren bij volledige implementatie van deze pakketten. De maatregelpakketten worden in detail beschreven in paragraaf 2.4. De maatregelen zijn alleen concreet geformuleerd voor de drie belangrijkste veehouderijsectoren in Nederland (melkvee, varkens en pluimvee) en de akkerbouw. Voor de overige sectoren is het reductiepotentieel op hoofdlijnen hiervan afgeleid.

² In eerste instantie zouden ook nog twee varianten met sterke toename in de vraag naar binnenlandse biomassa productie worden meegenomen. Echter, in de discussies met experts en de begeleidingscommissie konden deze scenario's nog onvoldoende geconcretiseerd worden, bij gebrek aan inzicht aan welke soort biomassa in 2050 behoefte is. Ook is er in het kader van de uitwerking van het Klimaatakkoord een werkgroep gestart die verder zal kijken naar biomassa.

In de volgende stap, beschreven in paragraaf 2.5, is met een lineaire optimalisatietool (ontwikkeld binnen de context van deze studie) bepaald welke dieren aantallen en invulling van het landgebruik binnen de vastgestelde randvoorwaarden per scenario mogelijk zijn. Hierbij is uitgegaan van het reductiepotentieel van de verschillende maatregelpakketten (zie paragraaf 2.4), de vastgestelde milieugebruiksruimte (zie paragraaf 2.3) en het aantal andere randvoorwaarden omtrent grondgebondenheid (zie paragraaf 2.2 en 2.3). Als het technisch reductiepotentieel onvoldoende blijkt om aan de beleidsdoelen te voldoen, berekent de optimalisatietool welke krimp in activiteiten (dieren of land) moet plaatsvinden (paragraaf 2.5).

De uitkomsten van de optimalisatietool (dieren aantallen en landgebruik) zijn daarna gebruikt om milieukundige en economische effecten in meer detail door te rekenen. Met het landbouweconomische model AGMEMOD en hieraan gekoppeld het Input-Output-model zijn de economische effecten berekend, en het emissiemodel INITIATOR is gebruikt voor het doorrekenen van de milieueffecten. Naast deze kwantitatieve uitkomsten zijn voor een aantal andere belangrijke indicatoren (verdienmodel, biodiversiteit, dierenwelzijn en weerbaarheid) expertinschattingen gemaakt van het mogelijke effect van de scenario's. Alle scenario's worden vergeleken met het referentiescenario 2050 en de huidige situatie (2017). Het jaar 2017 was op het moment van uitvoering het recentste jaar waar officiële data voor beschikbaar waren. In 2018 en 2019 zijn, met name in de melkveehouderij, de dieren aantallen en bijbehorende emissies al verminderd, maar dat effect kon nog niet worden meegenomen. Figuur 2 geeft een schematische beschrijving van de vier scenario's en het referentiescenario.



Figuur 2 Schematische weergave van de opzet van de studie: vier scenario's waarin op een verschillende manier invulling wordt gegeven aan beleidsdoelen voor en mitigatiemaatregelen door de landbouw in 2050. Deze worden vergeleken met een referentiescenario waarin alleen bestaand beleid is opgenomen en geen aanvullende mitigatiemaatregelen.

2.2 Referentiescenario 2050

Voor de analyse en beoordeling van langetermijnsscenario's is het van belang om onderscheid te kunnen maken tussen effecten als gevolg van autonoom veronderstelde veranderingen (bijv. veranderingen in bevolkingsgroei of gewasopbrengsten) en effecten van scenario-specifieke ontwikkelingen, maatregelen of beleid. Scenario's worden dan ook vaak afgezet tegen een zogenaamd 'referentie'-scenario, waarin wel effecten van toekomstige veranderingen in autonome ontwikkelingen (o.a. bevolkingsgroei, bruto nationaal product, consumptiepatronen en het bestaande beleid) worden meegenomen, maar geen additionele maatregelen of nieuw beleid.

In deze studie is ook een referentiescenario opgesteld voor 2050. Dit referentiescenario is gebaseerd op een aantal verwachtingen met betrekking tot de ontwikkeling van de Nederlandse landbouw en het landgebruik. De specifieke aannames zijn grotendeels gebaseerd op het doortrekken van historische trends en het vaststaande beleid zoals dat begin 2019 is geformuleerd. Nog niet uitgewerkte bestaande beleidsvoornemens, bijv. het Klimaatakkoord, zijn dus niet meegenomen in het referentiescenario. Aan de hand van deze verwachtingen en uitgangspunten is met het landbouweconomische model AGMEMOD een referentiescenario opgesteld.

De belangrijkste aannames voor het referentiescenario zijn hieronder samengevat. Ze worden hierna apart toegelicht:

- Afname van het landbouwareaal met 6000 ha (0,3%) per jaar (conform historische trend)
- Sociaaleconomische ontwikkelingen zijn gebaseerd op het Shared Socioeconomic Pathway 2 scenario (SSP2)
- Uitgaan van het huidige en al vaststaande mest- en ammoniakbeleid
 - Fosfaatrechten melkveehouderij en fosfaatplafond per sector
 - Totaal stikstofexcretieplafond
 - Behoud derogatie dierlijke mesttoediening
 - Dierrechten voor varkens en pluimvee
 - Warme sanering van de varkenshouderij (afname van 7% dierplaatsen t.o.v. 2017)
 - Gebruiksnormen voor N- en P-toediening op gras- en akkerland zoals geldend voor 2019-2021³
 - Invoering van het Besluit emissiearme huisvesting⁴
- Voor dierlijke mesttoediening is het uitgangspunt dat er geen overbenutting (normoverschrijding) meer plaatsvindt in 2050, aangezien technologie (Near-Infrared en gps-sensoren) strikte controle mogelijk maakt. Verder wordt er uitgegaan van 100% acceptatie van dierlijke mest door de akkerbouw en het eventuele overschot van dierlijke mest wordt verwerkt of geëxporteerd.
- Autonome opbrengstontwikkelingen van 2017 tot 2050
 - Melkopbrengst per koe stijgt jaarlijks met 80 kg (conform historische trend) van 8675 kg naar 11315 kg melk per koe
 - Aantal biggen neemt toe tot van 30 tot 36 per zeug in 2050
 - Legperiode van leghennen neemt toe tot 100 weken
 - Graslandopbrengst neemt toe met 10% en snijmais met 20%
 - In de akkerbouw neemt de gewasopbrengst gemiddeld met 30% toe
- Rantsoen melkveehouderij:
 - Al het ruwvoer komt uit Nederland
 - Rantsoensamenstelling (verhouding gras/snijmais/krachtvoer) gelijk aan 2017
 - N- en P-benutting worden geoptimaliseerd onder invloed van fosfaatrechtenstelsel
- Verdeling gewasarealen akkerbouw
 - Areaal vollegrondse- en akkerbouwmatige groenten stijgt
 - Boomteelt (inclusief fruit) en bloembollen blijft stabiel
 - Rest van de gewassen daalt evenredig met daling totaal areaal

Landbouw areaal

Een van de belangrijkste aannames is de afname van het landbouwareaal. Gebaseerd op historische trends en zowel gebaseerd op CBS-landbouwtellingdata als op landgebruikskarten, heeft de

³ <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/mest/tabellen-en-publicaties/tabellen-en-normen>

⁴ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0036748/2017-01-01>

afgelopen jaren (1990-2017) een gemiddelde afname van 6000 ha plaatsgevonden, dat is ongeveer 0,3% van het landbouwareaal. Landbouwgrond is met name omgezet naar bebouwd gebied, maar landbouwgrond is ook omgevormd naar natuur. Het doortrekken van deze trend naar 2050 betekent dat er in 2050 ongeveer 200.000 ha minder landbouwgrond beschikbaar is. Het doortrekken van deze trend lijkt een realistische aanname gezien de toekomstige vraag naar huizen, extra ruimte voor natuur (vanuit het Natuurnetwerk Nederland moet nog 32.000 ha worden omgevormd in de periode 2018-2027) en mogelijk ook vraag naar land voor de productie van hernieuwbare energie (zonneparken en windmolens). Deze afname in landbouwareaal is naar rato van het huidige areaal verdeeld over grasland (-3150 ha/jaar) en akkerland (-2850 ha/jaar) in lijn met historische trend sinds 2000.

Sociaaleconomische ontwikkelingen

Voor het referentiescenario is gekozen om voor de sociaaleconomische aannames aan te sluiten bij het SSP2-scenario. Dit SSP2-scenario (*middle of the road*) is een van de *Shared Socioeconomic Pathways*, die ontwikkeld zijn voor gebruik in klimaatscenario studies (Riahi et al., 2017) en geven informatie over ontwikkelingen in o.a. Bruto Nationaal Product, demografie en consumptiepatronen in Europa. Dit SSP2-scenario is een gemiddeld scenario met een min of meer gelijkblijvend consumptiepatroon waarbij zonder maatregelen de broeikasgasemissies nog toenemen. De aannames van dit scenario zijn verwerkt in het AGMEMOD-model en bepalen daarmee de vraag naar landbouwproducten. Deze sociaaleconomische aannames zijn zowel in het referentiescenario als in de andere scenario's toegepast. Er is gekozen om dezelfde consumptiepatronen in alle scenario's te gebruiken, aangezien er in Nederland door de intensieve internationale handel geen sterke relatie is tussen productie en consumptie van dierlijke en plantaardige producten. Dit betekent dat de vraag naar dierlijke producten in Nederland gelijk is voor alle scenario's en alleen de effecten op productie worden doorgerekend. Mogelijke effecten van klimaatverandering worden in de 2050 scenario's niet meegenomen.

Mest- en ammoniakbeleid

Uitgangspunt voor het referentiescenario is voortzetting van het huidige mestbeleid. Dit gaat uit van het stelsel van fosfaatrechten voor de melkveehouderij en fosfaatplafond per sector (84,9 miljoen kg P₂O₅ voor melkvee, 39,7 miljoen kg P₂O₅ voor varkens en 27,4 miljoen kg P₂O₅ voor pluimvee en 172,9 miljoen kg P₂O₅ voor alle sectoren samen) en voor stikstofexcretie een totaal plafond van 504,4 miljoen kg N. Daarnaast wordt uitgegaan van voortzetting van de derogatie voor landbouwbedrijven met ten minste 80% grasland (maximumhoeveelheid van 230 kg N per ha per jaar voor landbouwbedrijven op zuidelijke en centrale zandbodems en lössbodems en 250 kg N per ha per jaar voor landbouwbedrijven op andere bodems). In het referentiescenario blijven de aantallen dierrechten voor 2050 gelijk aan de huidige situatie voor pluimvee (67,2 miljoen). Voor varkens wordt het effect van de warme sanering meegenomen. Alhoewel het nog onzeker is hoeveel varkens er precies zullen verdwijnen door deze warme sanering, is op basis van de huidige beleidsvoornemens aangenomen dat dit leidt tot een daling van het aantal varkens met 7%, deze afname is ook toegepast voor het aantal dierrechten voor varkens (van 8,7 miljoen in 2017 naar 8,1 miljoen).

De voortzetting van het ammoniakbeleid betekent volledige invoering van het Besluit emissiearme huisvesting, waarin de maximale emissiewaarden per staltype zijn vastgesteld. Voor het referentiescenario is aangenomen dat dit besluit in 2050 volledige geïmplementeerd (100%) is, met uitzondering van de aanpassingen in de melkveehouderij, waarbij we conform de Referentieraming voor het jaar 2030 (Velthof et al., 2019) een implementatiegraad van 90% aangehouden. Verder geldt dat het per 2019 verplicht is om voor grasland een mesttoedieningstechniek te gebruiken waarbij ammoniakemissie minimaal gelijk is aan die van een zodenbemester. In de berekeningen voor het referentiescenario is aangenomen dat deze verplichting volledig is geïmplementeerd (en gehandhaafd) in 2050. Dit is conform de Referentieraming voor het jaar 2030.

Autonome opbrengstontwikkelingen

Als gevolg van ontwikkelingen in de fokkerij en veredeling en verbeteringen in het beheer nemen de melkopbrengst en gewasopbrengst al jaren toe. Voor de referentie zijn deze historische trends grotendeels doorgetrokken en vergeleken met de 10% huidige hoogste opbrengsten om te checken of dit nog realistische aannames zijn. De gemiddelde melkopbrengst per koe neemt in 2050 toe met 30% (11.315 kg) vergeleken met de huidige opbrengst van 8675 kg per koe. Dit zijn opbrengsten die nu al

gehaald worden door de 10% hoogst producerende bedrijven. Hierbij is uitgegaan van de huidige verhouding in voersamenstelling (50% gras, 20% snijmais en 30% krachtvoer en bijproducten). Deze toename in melkproductie betekent wel een toename in de methaanemissie per dier. Deze toenames zijn in de berekende emissies verrekend (zie paragraaf 4.2). Voor de berekeningen wordt uitgegaan van een *aangeklede* melkkoe, dat betekent dat het jongvee hierin verrekend is. De verhouding vrouwelijk jongvee/melkkoeien is voor de referentie vastgesteld op 0,6, dat is iets lager dan het niveau in 2017 (0,71), maar in lijn met de historische trend van een afname van het aantal stuks jongvee per koe.

Voor grasland is in het referentiescenario voor 2050 een beperkte opbrengststijging van 10% (gemiddeld 9786 kg DS/ha) opgenomen en voor snijmais een stijging van 20% (gemiddeld 18.145 kg DS/ha). Voor akkerbouwgewassen is er verschil in verwachte opbrengsttoenames. Gebaseerd op historische trends en literatuur (o.a. Hermans et al., 2009; De Ponti et al., 2012) is aangenomen dat voor granen de opbrengst stijgt met 0,65% per jaar en voor aardappels, suikerbieten en overige gewassen met 1% per jaar in het referentiescenario.

Rantsoen melkkoeien

In het referentiescenario wordt uitgegaan van de huidige verhouding in voersamenstelling (50% gras, 20% snijmais en 30% krachtvoer en bijproducten). Omdat het uitgangspunt is gehanteerd dat al het benodigde ruwvoer voor melkkoeien in Nederland wordt geproduceerd (zie uitgangspunten grondgebondenheid), is het totaalaantal koeien ook afhankelijk van het totaal beschikbare areaal landbouwgrond. Verder is als uitgangspunt in het referentiescenario gehanteerd dat onder invloed van het fosfaatrechtenstelsel, de N- en P-gehalten van rantsoenen zo ver mogelijk worden geoptimaliseerd door verlaging van de gehalten N en P in krachtvoer. Hierbij is een ondergrens gehanteerd van 145 gram ruw eiwit (RE) per kg droge stof (DS) en 3,3 gram P per kg DS in het totale rantsoen (inclusief jongvee). Gehalten van N en P in ruwvoer zijn gelijk verondersteld aan de huidige situatie. Effecten van veranderingen in productiviteit, rantsoensamenstelling en weidegang zijn gecombineerd om veranderingen in broeikasgasemissies te berekenen met behulp van het Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) (MacLeod et al., 2013). Absolute methaanemissies uit dieren en mest nemen met 12% toe, lachgasemissies nemen met 6% af. De N-excretie (+2%) en P-excretie (-1%) per koe liggen vrijwel op hetzelfde niveau als in 2017.

Verdeling gewasarealen akkerbouw

Om de economische impact te kunnen uitrekenen, moest ook een schatting worden gemaakt uit welke gewassen het beschikbare areaal akkerbouw zal bestaan in het referentiescenario (in 2050). Hierbij is als uitgangspunt gehanteerd dat het areaal vollegrondstuinbouw en akkerbouwmatige groenten (inclusief uien) zal toenemen met 25%, omdat deze gewassen over het algemeen hoog salderend zijn. Deze toename is conform de historische trend van de afgelopen twintig jaar. Het areaal boomteelt (boomkwekerij en fruit) en bloembollen is verondersteld gelijk te blijven aan het huidige huidig areaal. Alle overige gewassen (waaronder de grote gewasgroepen granen, suikerbieten en aardappelen) dalen in gelijke mate om de daling van het totale areaal akkerbouw (zie autonome ontwikkeling landbouwareaal) en de groei van het areaal vollegrondsgroenten in te vullen.

2.3 Uitgangspunten scenario's 2050

2.3.1 Milieugebruiksruimte

Voor milieugebruiksruimte zijn twee varianten uitgewerkt, één variant die uitgaat van het huidige en veronderstelde voorgenomen milieubeleid (voorgenomen beleidsdoelen) en één variant waarbij wordt uitgegaan van aanscherping van de milieudoelen (strikttere beleidsdoelen). Bij de voorgenomen beleidsdoelen worden het huidige milieu- en mestbeleid en het reeds voorgenomen beleid als vertrekpunt genomen. Dat beleid is wat betreft randvoorwaarden/drukfactoren vastgelegd in actieprogramma's e.d., met als onderleggers de Nitraatrichtlijn, de Kaderrichtlijn Water (KRW), het Nationale Emissie Plafond (NEC) en de Habitatrichtlijn. Voor de variant strikttere beleidsdoelen is geprobeerd zo veel mogelijk aan te sluiten bij het uiteindelijke streefdoel, zoals goede waterkwaliteit en het behalen van natuurdoelen. Deze strikttere doelen zijn nog niet in beleid opgenomen, maar er

zijn wel studies die hebben gekeken wat er nodig is om te voldoen aan deze streefdoelen. De van deze beleidsdoelen afgeleide milieugebruiksruimten zijn samengevat in Tabel 1. In de verdere tekst wordt beschreven hoe deze milieugebruiksruimten zijn bepaald.

Tabel 1 Milieugebruiksruimte voor de landbouw voor de twee varianten van milieubeleidsdoelen (voorgenomen en striktere milieubeleidsdoelen) in relatie tot de huidige emissies.

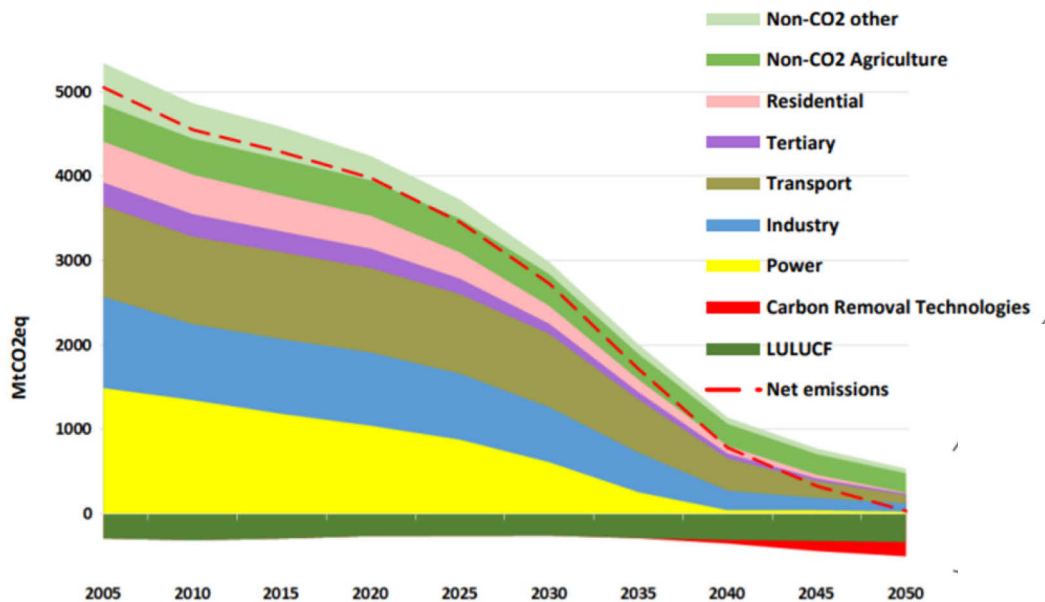
Onderwerp	Emissies 2017	Voorgenomen beleidsdoelen 2050	Striktere beleidsdoelen 2050
Klimaat (CH ₄ en N ₂ O)	19 Mton CO ₂ -eq	9 Mton CO ₂ -eq	Landbouw en landgebruik klimaatneutraal in Nederland
Klimaat (LULUCF)	6 Mton CO ₂ -eq	2 Mton CO ₂ -eq	Landbouw en landgebruik klimaatneutraal in Nederland
Ammoniak	110 kton NH ₃	85 kton NH ₃	50 kton NH ₃
Nutriënten (N en P) uit- en afspoeling	45 kton N 3,7 kton P	N: -12% P: -12%	N: -17% P: -17%
Kringlopen	N.v.t.	Sluiten voer-mestkringloop binnen Europa	Sluiten voer-mestkringloop binnen Europa

Klimaat

Voor klimaat wordt voor beide varianten uitgegaan van klimaatneutraliteit in 2050, waarbij de vastlegging in landgebruik de resterende emissies in o.a. de landbouw kan compenseren. Dit is opgenomen in de langetermijnstrategie die de Europese Commissie in November 2018 heeft gepubliceerd (COM (2018) 773)⁵, zie Figuur 3. Veel EU-landen, waaronder Nederland, hebben zich ondertussen achter deze doelstelling van de Commissie gesteld. Voor de variant met voorgenomen beleidsdoelen wordt ervan uitgegaan dat emissieruimte gedifferentieerd gaat worden binnen de Europese Unie. Hierdoor kunnen andere EU-landen met veel mogelijkheden voor C-vastlegging, waaronder landen met veel bos, emissies compenseren voor landen die minder mogelijkheden hebben. Nederland hoeft dan op nationale schaal niet klimaatneutraal te zijn m.b.t. de emissies uit de landbouwsector, maar moet wel bijdragen aan de emissiereductie in de landbouwsector die binnen de EU gehalveerd moet worden. Dit betekent voor Nederland dat de emissies uit de sector landbouw (CH₄ en N₂O) van 18 Mton naar 9 Mton in 2050 moeten gaan. Voor de landgebruik-sector (LULUCF) wordt in deze variant uitgegaan van een reductie naar een netto-emissie van 2 Mton. Dit is gebaseerd op het reductiepotentieel van de maatregelen zoals beschreven in Ros en Daniels (2017). Het huidige Klimaatakkoord is onderdeel van het voorgenomen beleid, maar is in eerste instantie gericht op 2030 en daarmee een eerste stap richting het reductiedoel voor 2050.

In de scenario's met de striktere beleidsdoelen is het doel ook klimaatneutraal in 2050 voor landbouw en landgebruik in de EU, echter in deze scenario's moeten landbouw en landgebruik binnen Nederland ook samen klimaatneutraal zijn. Dit betekent dat de emissieruimte voor landbouw veel kleiner zal zijn, en gecompenseerd moet worden door CO₂-vastlegging binnen Nederland alleen, met name door aanplant van extra bossen. Op basis van Ros en Daniëls (2017) is een schatting gemaakt hoeveel de vastlegging van CO₂ in landgebruik in Nederland kan zijn als alle bekende maatregelen worden ingezet bij het bestaande en reeds geplande landgebruik, namelijk 2 Mton CO₂ in 2050. Met verdere aanplant van bos zou deze vastlegging nog kunnen worden uitgebreid; meer hierover staat beschreven in sectie 2.4.4.

⁵ https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_en.pdf



Figuur 3 Lange termijn broeikasgasontwikkeling voor 1,5 graden scenario voor de Europese Unie (COM (2018) 773).

Ammoniak

Voor ammoniak zijn twee beleidsdoelen relevant: het NEC-plafond, gerelateerd aan luchtkwaliteit, en de stikstofdepositie in het kader van de Habitatrictlijn. Het huidige NEC-plafond voor Nederland is een absoluut plafond van 128 kton NH₃. Voor de periode 2020-2029 is een percentuele reductie van 13% ten opzichte van 2005 afgesproken en vanaf 2030 een reductie van 21% t.o.v. 2005 (153 kton NH₃). Voor 2030 betekent dit een NEC-plafond van 121 kton NH₃; dit doel wordt naar verwachting op basis van het voorgenomen beleid ruim gehaald. De landbouw heeft met ongeveer 90% veruit de grootste bijdrage aan de totale ammoniakemissie.

De Habitatrictlijn is een Europese richtlijn voor de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna. Het doel is bij te dragen aan het waarborgen van de biologische diversiteit in de lidstaten door bescherming van habitats en soorten die van Europees belang zijn. Een van de aspecten is stikstofdepositie. In alle verzuringsgevoelige Natura 2000-gebieden zou de N-depositie idealiter lager moeten zijn dan de zgn. kritische N-depositie van de voorkomende habitattypen. De kritische depositie is gedefinieerd als de N-depositie waar beneden er op lange termijn geen nadelige effecten op de natuur optreden. De overschrijding van deze kritische depositie verschilt per Natura 2000-gebied, maar is gemiddeld ongeveer 500 mol N/ha/jaar. Om gemiddeld onder de gemiddelde overschrijding per Natura 2000-gebied te komen, is een gemiddelde reductie van ca. 33% nodig van alle N-emissies (NH₃ en NO_x) die bijdragen aan de Nederlandse depositie op de Natura 2000-gebieden (Gies et al., 2019a). Een deel van deze emissies komt uit het buitenland (ongeveer 30%), de export van atmosferisch stikstof uit Nederland is echter bijna vier keer zo groot. Als de gehele reductie enkel door Nederlandse maatregelen behaald moet worden, gaat het om een halvering van de huidige Nederlandse emissies, van zowel NO_x als NH₃. De habitatrictlijn vereist dus uiteindelijk een veel striktere reductie van de NH₃-emissie dan de NEC-richtlijn.

In de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen is voor ammoniak uitgegaan van de reductiedoelstelling tot 2030 zoals die destijds in het convenant voor het Programma Aanpak Stikstof (PAS) was afgesproken. Dit was voor de landbouw een reductie van 10 kton NH₃ t.o.v. de referentieperiode 2012-2014 (108 kton NH₃), dus een emissieplafond van 98 kton NH₃ in 2030. Deze trend is lineair doorgetrokken naar 2050, aangezien de reductie tot 2030 nog onvoldoende zal zijn om de doelen in het kader van de Habitatrictlijn te halen. Dit leidt in 2050 tot een emissieruimte van 85 kton NH₃ voor de landbouw voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen.

De lange-termijnreductiedoelstelling voor ammoniak is nog niet in het beleid vastgelegd. De Habitatrictlijn geeft wel aan naar welke natuurwaarden gestreefd moet worden, maar er is geen termijn afgesproken wanneer de natuurdoelen behaald moeten worden. Voor de scenario's met striktere beleidsdoelen is ervan uitgegaan dat dit in 2050 het geval moet zijn. Dit betekent dat de kritische N-depositie dan niet meer overschreden mag worden. Op basis van beleidsdoelen uit het NMP4 uit 2001 leidt het gebruik van de kritische depositieniveaus voor ammoniak tot een gewenst nationaal emissieniveau van circa 30-55 kton N (Min. Vrom, 2001), waarbij de overige N-emissies (NO_x-emissies en de bijdrage uit het buitenland) naar rato mee reduceren. Bij deze reducties zou de beschermingsgraad (geen overschrijding van de kritische depositieniveaus) 90-95% bedragen (Van Dam et al., 2001). Destijds is op basis van een nationale emissiedoelstelling een bijdrage van 50 kton NH₃ vanuit de landbouw vastgesteld, welke in deze studie gebruikt wordt als lange-termijnreductiedoelstelling. De 50 kton NH₃ sluit aan op de grove berekening in een recente studie naar de bijdrage van de landbouw aan de N-depositie op natuur (Gies et al., 2019a), die uitkwam op een halvering van de huidige waarde van ongeveer 100 kton NH₃. Voor de scenario's met de striktere beleidsdoelen is daarom uitgegaan van maximaal 50 kton NH₃-emissie uit de landbouw in 2050. Naast ammoniak draagt ook de emissie van NO_x, met name uit transport en industrie, bij aan de N-depositie. In deze studie wordt daar verder niet naar gekeken, maar wordt aangenomen dat ook hier naar rato emissiereducties plaatsvinden, zodat het uiteindelijke doel van minder N-depositie bereikt wordt.

Uit- en afspoeling van stikstof en fosfor

Voor N-uitspoeling naar grondwater (en ook oppervlaktewater) geldt in het kader van de Nitraatrichtlijn een concentratie van maximaal 50 mg nitraat per liter grondwater. Deze norm is echter minder stringent dan de norm voor oppervlakte water die vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW) wordt opgelegd. Deze normen zijn gerelateerd aan het Maximale (MEP) en het Goede (GEP) Ecologisch Potentieel, worden op stroomgebiedsniveau vastgesteld (zie www.waterkwaliteitsportaal.nl) en variëren van 0,2 tot 18 mg N/l (in vaarten in veenweidegebieden), maar het merendeel zit tussen de 1 en 2,5 mg N/l.

Voor de lange-termijnmilieudoelen voor N- en P-uit- en afspoeling wordt voor deze studie aangesloten op de KRW-doelen. Deze doelen moeten in principe in 2027 worden behaald, maar het is al wel duidelijk dat met het voorgenomen beleid deze doelen in veel wateren niet zullen worden behaald. Volgens de Balans van de leefomgeving zijn naar verwachting in 2027 in 15% van de regionale wateren en in 55% van de rijkswateren alle biologische doelen van de KRW volledig gehaald.

Groenendijk et al. (2016) hebben een inschatting gemaakt van de KRW-opgaven voor de landbouw. Dit komt overeen met een reductie van landelijk gemiddeld 12-17% van de uit- en afspoeling van stikstof uit landbouwgronden en voor fosfor met een reductie van 12-38%. Regionaal zijn er echter grote verschillen, met voor stikstof grotere opgaven op de zandgronden in het zuiden en oosten van Nederland en voor fosfor ook in het westen. De 38%-reductie voor fosfor omvat echter ook de post van 'niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem', dit is nalevering vanuit de P-voorraad in de bodem die over de eeuwen heen is opgebouwd. Aangezien hier niet direct met maatregelen op gestuurd kan worden, is besloten deze post achterwege te laten, wat dan voor fosfor een landelijk gemiddelde reductieopgave van 12-17% betekent. Voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen is de ondergrens van 12% reductie gebruikt en voor de scenario's met striktere beleidsdoelen de bovengrens van 17%.

Kringlopen

Het beter sluiten van kringlopen is ook een van de uitgangspunten die voor deze studie is meegenomen en die in het kader van de LNV-visie over kringlooplandbouw ook zeer relevant is. Echter de schaal waarop de kringloop gesloten moet worden, is nog onderwerp van discussie en is op dit moment nog niet concreet gemaakt in beleid. In de visie staat verwoord dat in 2030 de kringlopen van grondstoffen en hulpbronnen op een zo laag mogelijk schaalniveau gesloten zijn, regionaal, nationaal of internationaal. In samenspraak met de begeleidingscommissie is besloten dat de voer-mest kringloop zo veel mogelijk gesloten moet zijn op Europees of Noordwest-Europees niveau. Nederland kan bij die situaties dus wel een nationaal mestoverschot hebben.

Mestverwerking en export kunnen dus nog wel plaatsvinden in de scenario's. Verbranding van kippenmest past niet binnen het sluiten van kringlopen en wordt niet meer toegepast. Er is gedacht over de mogelijkheid om de veevoergrondstoffen bij de voorgenomen beleidsdoelen alleen uit Europa te halen en bij de striktere beleidsdoelen alleen uit de omliggende landen in Noordwest-Europa. De beperking tot Noordwest-Europa is echter niet te regelen in de huidige context. Het beperken van de geografische ruimte om grondstoffen te betrekken, kan effect hebben op de grootte van de veestapel in Europa, zo blijkt uit eerste verkenningen (Leenstra et al., 2017; De Wolf et al., 2019). Het is echter lastig aan te geven welke effecten dat op de landbouw in Nederland zal hebben, aangezien dan ook de onderlinge concurrentiepositie van de veehouderij een rol speelt. Zal de intensieve veehouderij in Nederland overeind blijven ten koste van andere landen of juist niet? Gezien de vele benodigde aannames en gedetailleerde berekeningen, en daarmee grote onzekerheid van de uitkomsten, is besloten om het aspect van kringlopen alleen beschrijvend mee te nemen. Er wordt voor kringlopen dus niet expliciet gedifferentieerd tussen de scenario's.

2.3.2 Ontwikkelrichting bedrijfsvoering

Uitgangspunt in deze studie is dat de landbouw zich in twee mogelijke richtingen zal kunnen ontwikkelen. De eerste is voortzetting van de huidige, door een productiviteit gedreven werkwijze, gericht op de optimalisering van de omstandigheden voor een hoge productiviteit per dier en per hectare: een sterk input-gestuurde landbouw. Dit is omschreven als productiviteit gedreven bedrijfsvoering. De tweede ontwikkelrichting gaat meer uit van het gebruikmaken van natuurlijke processen, waarbij de externe inputs, zoals kunstmest, krachtvoer en chemische bestrijdingsmiddelen lager zijn. Dit is omschreven als de natuurinclusieve bedrijfsvoering. In paragraaf 2.4 (beschrijving maatregelpakketten) worden onderstaande concepten nader ingevuld.

Beschrijving huidige landbouw

De landbouw in Nederland kent een intensief grondgebruik, zowel in de veehouderij als in de akkerbouw. De melkveehouderij is de grootste grondgebruiker met ongeveer 1,1 miljoen hectare aan gras- en maisland. De akkerbouw heeft ongeveer 0,6 miljoen hectare in gebruik. De melkveehouderij wordt gekenmerkt door een relatief hoge veebezetting: ongeveer de helft van de melkveebedrijven heeft een overschot aan mest en moet deze deels afvoeren als gevolg van de eerder beschreven milieuwetgeving. De weidegang op de bedrijven is in de afgelopen twintig jaar teruggedaan naar een kortere periode van enkele maanden met een beperkt aantal uren per dag (met een ondergrens van 120 dagen met 6 uren per dag). Tussen 2008 en 2015 daalde het aantal melkkoeien met weidegang van 79 naar 65%, terwijl het aantal dieren met dag- en nachtbeweiding nog eens daalde van de helft van het aantal weidende dieren naar een vijfde. De laatste jaren is het aandeel weidegang weer licht gestegen. De gemiddelde melkproductie van het melkvee is ongeveer 8675 kg per koe per jaar. Het rantsoen bestaat voor 68% uit vers gras, graskuil en snijmais en voor 32% uit bijproducten en mengvoer. Het graslandgebruik is intensief, met een relatief hoge inzet van N uit dierlijke mest en kunstmest en toediening van P via dierlijke mest.

De varkenshouderij en pluimveehouderij zijn technisch zeer intensief, de productiviteit is erg hoog. Nagenoeg alle bedrijven zijn bijna volledig afhankelijk van de aankoop van extern (meng)voer. Dat betekent dat deze bedrijven geen ruimte hebben om de geproduceerde mest zelf aan te wenden. Pluimveemest wordt deels verbrand en deels verwerkt en geëxporteerd. Varkensmest wordt deels afgezet binnen Nederland, deels wordt het verwerkt en geëxporteerd. De ammoniak en fijnstofemissie uit de stallen is een probleem, zeker in gebieden met hoge concentraties aan dierhouderijen. De welzijnseisen zijn de laatste decennia sterk verhoogd en er zijn aanpassingen gemaakt in de huisvesting. Het aantal bedrijven dat een uitloop heeft voor legpluimvee neemt gestaag toe. Vleeskuikens en vleesvarkens blijven nog hoofdzakelijk binnen.

De akkerbouw wordt gekenmerkt door een intensief bouwplan met een hoog aandeel aan aardappelen en suikerbieten. In de laatste decennia nemen de teelt van uien, peen en andere groenten toe. Het aandeel van granen is beperkt, met name door het lage saldo. Graan wordt in feite alleen verbouwd omdat een 'rustjaar' nodig is. Ook de teelt van bloembollen (met name tulpen en lilies) is de afgelopen jaren toegenomen. De samenwerking, met name grondruil, tussen akkerbouw en veehouderij is groeiend. Deze komt vooral voort uit de wens tot een ruimer bouwplan, met de

mogelijkheid om meer aardappelen te verbouwen. Voor veehouders is de mogelijkheid om meer gras te telen een belangrijke drijfveer, naast de financiële voordelen.

Productiviteit gedreven bedrijfsvoering

Bij voortzetting van de gangbare bedrijfsvoering in de melkveehouderij zullen de bedrijven relatief intensief blijven, er wordt verdergegaan met het optimaliseren van de bedrijfsvoering rondom de koe. Het landgebruik, de voerproductie, de inzet van krachtvoer en de fokkerij zijn gericht op een verdere verhoging van de melkproductie per koe en een verlaging van de excretie van N en P per kg melk. Voortzetting van weidegang is in deze studie afhankelijk gemaakt van de omvang van de emissieruimte. Uitgangspunt is dat bij een vergaande beperking van de emissieruimte, weidegang zal verdwijnen in het *Productiviteit strikter*-scenario, ook al is dat nu gezien de maatschappelijke discussie niet erg waarschijnlijk.

De huisvesting van het vee zal nog steeds in ligboxenstallen plaatsvinden, maar de dierlijke mest en urine worden voortaan zeer frequent afgevoerd naar een dichte opslag. Mest en urine worden zo veel mogelijk gescheiden opgevangen. Deze scheiding biedt een aantal voordelen, waaronder een betere benutting van nutriënten bij aanwending. In de afgelopen jaren is er in het ontwerp van stallen steeds meer aandacht gekomen voor dierenwelzijn. Dat heeft geleid tot ontwerp van stallen die zich eenzijdig daarop richtten. Vaak waren het potstallen waar een stapelbare mest ontstond, waarin de gier was opgenomen door de grote hoeveelheid stro. Een vrijloopstal draagt bewezen bij aan een langere levensduur van de koeien. Echter de methaan, en met name lachgasemissie, is veel hoger in deze potstal vergeleken met een ligboxenstal. Daarnaast is de strobehoefte dusdanig groot dat de kosten erg hoog zijn, omdat er in Nederland veel te weinig stro beschikbaar is. Het gebruik van een beperkte hoeveelheid stro om tot een beter stapelbaar product te komen, wordt als een werkbaar compromis gezien. De grootte van de ligboxen en het ligbed worden regelmatig aangepast aan de nieuwe eisen. In de stallen wordt boven de boxen, waar de lucht het hoogste methaangehalte heeft, een afzuiginstallatie geplaatst om de te kunnen zuiveren.

De fokkerij van de dieren is enerzijds gericht op een verdere verhoging van de productie per dier, wat gerealiseerd wordt door grotere dieren met een hogere voeropnamecapaciteit. Tevens wordt gefokt op dieren met een lagere emissie van methaan per kg opgenomen voer. De levensduur van het melkvee neemt in beperkte mate toe ten opzichte van de huidige situatie.

Het landgebruik wordt gekenmerkt door a) een intensief gebruikt grasland met verhoudingsgewijs veel maaisneden. De bemesting zal in de buurt van de huidige gebruiksnormen liggen; b) een regelmatige herinzaai van het grasland om dit in optimale conditie te houden en steeds de productiefste grasrassen te gebruiken; c) een relatief groot aandeel snijmais, omdat het hoge opbrengsten heeft en een lagere methaanemissie uit de pens heeft. Deze snijmais wordt geteeld in afwisseling met tijdelijk grasland.

Het rantsoen van de dieren zal in grote mate gelijk blijven aan het huidige: ruim twee derde ruwvoer, waarvan in Noordwest-Nederland 10% mais en in Zuidoost-Nederland 27% mais. De rest is bijproducten en mengvoer, waarbij de gehalten aan eiwit en fosfaat zover mogelijk worden verlaagd om de uitscheiding van N en P zo laag mogelijk te krijgen. De melkveehouderij is wel grondgebonden, hetgeen betekent dat elk bedrijf minstens 65% van de eiwitvoorziening van eigen of gepacht land haalt en dat al het benodigde ruwvoer voor melkkoeien in Nederland wordt geproduceerd. Er is een aantal additieven dat wordt gebruikt om de uitstoot van methaan uit de pens te verminderen.

Voor varkens en pluimvee wordt eveneens een trend verondersteld waarbij de productiviteit en/of voederconversie van dieren verder verbeteren. Varkens worden gehuisvest in dichte stallen voorzien van technieken om mest en urine gescheiden op te vangen en snel af te voeren naar een dichte opslag. In het geval van het scenario met voorgenomen beleidsdoelen worden betaalbare/bestaande staltechnieken toegepast om emissies te verminderen en af te vangen, en in het geval van striktere beleidsdoelen wordt alles-uit-de-kast gehaald om emissies te minimaliseren. Rantsoenen blijven gelijk, maar de hoeveelheid eiwit wordt verder verlaagd, en benzoëzuur wordt toegevoegd aan het voer om N-excreties en ammoniakemissies te verlagen.

Legpluimvee wordt gehuisvest in stallen vergelijkbaar met de huidige situatie voor het scenario met voorgenomen beleidsdoelen, en in dichte stallen zonder uitloop in het scenario met striktere beleidsdoelen. De legperiode van leghennen zal verder toenemen, waardoor relatief minder opfokhennen nodig zijn. Voor vleeskuikens wordt uitgegaan van de huidige situatie waarin een deel van de vleeskuikens volgens het concept van de 'nieuwe standaardkip' wordt gehouden, en een andere deel volgens de reguliere methode. Bij een kleinere emissieruimte is aangenomen dat volledig wordt teruggesproken op de reguliere, snelgroeiende rassen, en dat qua technische emissiereductiemaatregelen alles-uit-de-kast wordt gehaald om emissies te reduceren. De hoeveelheid eiwit in rantsoenen wordt verder verlaagd om N-excreties en ammoniakemissies te verminderen.

Natuurinclusieve bedrijfsvoering

De invulling van de natuurinclusieve bedrijfsvoering is grotendeels gebaseerd op de beschrijving van natuurinclusieve landbouw in Erisman et al. (2017). Natuurinclusieve landbouw maakt gebruik van de natuurlijke omgeving en integreert deze in de bedrijfsvoering. Natuurinclusieve landbouw produceert voedsel binnen de grenzen van natuur, milieu en leefomgeving, met een positief effect op de biodiversiteit (Erisman et al. 2017). Zie ook Gies et al. (2019b) voor een verdere uitwerking en mogelijke toekomstbeelden van natuurinclusieve landbouw.

Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat biodiversiteit aan de basis staat van een veerkrachtig landbouw- en voedselsysteem. Dit draagt bij aan de natuurlijke ziekte- en plaagwering, watervoorziening en -zuivering, natuurlijke bodemvruchtbaarheid en een goede bodemstructuur.

1. Grondstoffen voor de landbouw worden optimaal benut door gebruik te maken van functionele agrobiodiversiteit, ecosysteemdiensten en het sluiten van kringlopen met zo min mogelijk verliezen. Als gevolg wordt de invloed van de bedrijfsvoering op water, bodem en atmosfeer steeds kleiner, met als resultaat een positieve terugkoppeling voor soorten in en om het bedrijf.
2. Zorg voor landschap en specifieke soorten op het bedrijf worden gestimuleerd door de aanleg en het onderhoud van landschapselementen. Deze landschapselementen houden de groene infrastructuur op het bedrijf in stand en stimuleren tevens de functionele agrobiodiversiteit.

Drie dimensies staan centraal in de beschrijving van natuurinclusieve landbouw: biodiversiteit, grondstoffen en landschap en specifieke soorten (Van Doorn et al. 2016)⁶. Aan de hand van deze drie dimensies kunnen randvoorwaarden opgesteld worden, die de basis vormen voor de invulling van het maatregelpakket *extensief* (zie paragraaf 2.4).

Dimensie 1 – Functionele agrobiodiversiteit, wat wordt gestimuleerd d.m.v.⁷:

- Goede afwisseling van diep wortelende gewassen in akkerbouw met ondiep wortelende gewassen, zoals granen;
- Gebruik van strokenteelt om diversiteit te bevorderen en minder bestrijdingsmiddelen te gebruiken;
- Bodemgerichte maatregelen: groenbemesters, tegengaan van bodemverdichting, stimuleren bodemleven;
- Gras(klaver)mengsels om te zorgen voor de voorziening met N, in plaats van kunstmest;
- Herinzaai van blijvend grasland wordt tot een minimum beperkt;
- Er wordt geen blijvend grasland omgezet naar akkerland in samenwerkingen tussen akkerbouw en veehouderij.

Dimensie 2 – Grondstoffen

Mestaanwending

- Gebruik van bij de bron gescheiden mest en gier. Stro kan worden gebruikt als strooisel in boxen en later worden bijgemengd om stapelbaarheid van vaste mest te bevorderen. Voor de scenario's wordt echter bewust gekozen voor geen verdere toepassing van potstallen, waarbij grote hoeveelheden stro worden gebruikt. De potstallen hebben als nadeel dat er a) veel stro nodig is, wat niet beschikbaar is in Nederland en bovendien erg duur is; b) de emissies van lachgas hoog zijn; c) er negatieve gevolgen zijn voor melkwaliteit (o.a. celgetal en mastitis) en d) dat de gier niet apart beschikbaar is als meststof.

⁶ Zie ook: <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/dossier/dossier-fab.htm>

⁷ <https://edepot.wur.nl/274304>

- Gebruik van vlinderbloemigen in het gras- en akkerland om noodzaak voor stikstof kunstmest te verminderen.
- Gebruik van kunstmest wordt geminimaliseerd.
- Gebruik van overige organische mest (zoals compost, gft, zuiveringsslib).

Bouwplan

- Het bouwplan in de akkerbouw wordt uitgebreid: de gewasrotatie is minimaal 1 op 4 en bevat meer rustgewassen (met name granen en vlinderbloemigen, of tijdelijk grasland).
- Chemische bestrijdingsmiddelen mogen minimaal worden toegepast.

Voeding en rantsoen

- De melkveehouderij is grondgebonden, net als in de andere scenario's, hetgeen betekent dat elk bedrijf minstens 65% van de eiwitvoorziening van eigen of gepacht land haalt.
- Additieven en aanpassingen in het rantsoen moeten van natuurlijke oorsprong zijn.

Dimensie 3 – Landschap en specifieke soorten

- Behoud van natuur en landschap: aanvullende maatregelen door boeren in de sfeer van agrarisch natuurbeheer.
- Landschapselementen op het bedrijf.
- Aanleg van bloemrijke akkerranden/bufferstroken.

Naast bovenstaande randvoorwaarden volgens Van Doorn et al. (2016) zijn additionele, randvoorwaarden geformuleerd voor weidegang en vrije uitloop van dieren, en productieniveaus. Weidegang en toegang tot een vrije uitloop kunnen positief bijdragen aan de mogelijkheid tot het uiten van natuurlijk gedrag bij dieren. Ook kunnen beweiding door melkvee en zekere vormen van uitloop voor varkens en pluimvee bijdragen aan vergroting van de biodiversiteit. De voorwaarden zijn als volgt geformuleerd:

- Op alle melkveebedrijven wordt zo veel mogelijk weidegang toegepast. Uitgegaan is van 3600 uur per jaar, ofwel 180 dagen met 20 uur weidegang per dag. Als verkaveling een probleem is, wordt dat verbeterd.
- In de varkens- en pluimveehouderij krijgen de dieren toegang tot een vrije uitloop. Vanwege het risico op normoverschrijding van de mineralenuitspoeling in onverharde uitlopen van varkens (Ivanova-Peneva et al., 2006; Williams et al., 2000) is bij varkens gekozen voor verharde uitlopen. In tegenstelling tot een ruime beplante onverharde uitloop draagt een verharde uitloop in principe niet bij aan vergroting van de biodiversiteit. Maatregelen om overbemesting in onverharde uitlopen te verminderen, zijn onderzocht (bijv. Houwers en Vermeer, 2009). Verdere doorontwikkeling van dergelijke maatregelen kan mogelijk uitkomst bieden om varkens in 2050 op onverharde uitlopen te houden.
- Productieniveaus nemen slechts beperkt toe of blijven gelijk t.o.v. de huidige situatie als gevolg van de lagere externe inputs en minder sturen op productiviteit.

2.4 Maatregelpakketten

2.4.1 Aanpak op hoofdlijnen en samenvatting

Voor de scenario's zijn passende mitigatiepakketten voor reductie van broeikasgasemissies, ammoniak en N- en P-uit- en afspoeling samengesteld. In totaal zijn er drie pakketten van mitigatiemaatregelen opgesteld, afgestemd op de milieugebruiksruimte en de ontwikkelrichting van de landbouw:

1. **Basis 2050:** een pakket van technisch denkbare mitigatiemaatregelen, passend binnen een productiviteit gedreven bedrijfsvoering, gecombineerd met het doortrekken van de historische trend in productiviteitsontwikkeling (ook wel autonome ontwikkeling genoemd, gelijk aan het referentiescenario). Een aantal maatregelen die stuiten op maatschappelijke weerstand (bijv. geen weidegang, luchtdichte stallen) zijn hierin niet doorgevoerd. Dit pakket wordt toegepast in het scenario *Productiviteit voorgenomen*.
2. **Alles-uit-de-kast:** een pakket waarin alle technisch denkbare mitigatiemaatregelen passend binnen een productiviteit gedreven bedrijfsvoering worden doorgevoerd, gecombineerd met een bovengemiddelde productiviteitsstijging. Ook de technische maatregelen die momenteel stuiten op

maatschappelijke weerstand (bijv. geen weidegang, luchtdichte stallen) worden hierin meegenomen. Dit pakket wordt toegepast in het scenario *Productiviteit strikter*. Uitgangspunt hierbij is dat in een scenario met een kleinere milieugebruiksruimte meer druk ontstaat om al het technische reductiepotentieel te benutten.

3. **Extensief:** bij de natuurinclusieve ontwikkelinrichting is een pakket van mitigatiemaatregelen gehanteerd dat uitgaat van de principes van natuurinclusieve bedrijfsvoering zoals in het vorige hoofdstuk beschreven. Dit komt onder andere tot uiting door uit te gaan van een zeer beperkte productiviteitsstijging. Ook worden minder externe inputs gebruikt en is er meer ruimte voor weidegang en uitloop. Dit pakket wordt toegepast voor de *Natuurinclusief voorgenomen*- en *Natuurinclusief strikter*-scenario's. Er wordt geen onderscheid gemaakt naar milieugebruiksruimte, aangezien de maatregelen niet anders zullen zijn, en verdere emissiereductie zal moeten volgen uit productieomvang (minder dieren of groter areaal natuur).

Tabel 2, 5 en 6 geven een samenvatting van de maatregelen in de drie onderscheiden maatregelpakketten. Hierbij wordt zowel ingegaan op de maatregel zelf als op het verwachte emissie-reducerende effect van de maatregel. De maatregelen zijn daarbij in twee hoofdgroepen ingedeeld: dierlijke productie (nader uitgewerkt in paragraaf 2.4.2) en bemesting en bodembewerking (nader uitgewerkt in paragraaf 2.4.3). Hierbij is met name gebruikgemaakt van reviews van maatregelen (o.a. Erisman et al., 2017; Groenendijk et al., 2017; Groenesteijn et al., 2017; Groenestein et al., 2019; Lesschen et al., 2012; Lesschen et al., 2017; Vellinga et al., 2018). De gedetailleerde beschrijving van de maatregelen en de effecten is opgenomen in Bijlage 1.

In Tabel 3, 4 en 7 staan de uiteindelijke effecten van elk van de drie maatregelpakketten op de verschillende emissiebronnen en de N- en P-excretie weergegeven. Dit reductiepotentieel bepaalt uiteindelijk in hoeverre de emissies in de verschillende scenario's verminderd kunnen worden, en of aanvullende structurele maatregelen met veranderingen in landgebruik en dieraantallen nodig zijn. Dit reductiepotentieel is gebaseerd op volledige implementatie van de maatregelen en de effectiviteit zoals beschreven in dit hoofdstuk. In de gevoeligheidsanalyse zijn ook varianten doorgerekend met een lager reductiepotentieel, waarbij uitgegaan wordt van lagere implementatie of effectiviteit van de maatregelen (zie hoofdstuk 5). In het referentiescenario zijn de emissiereducties het gevolg van de autonome ontwikkelingen in productiviteit, deze zijn over het algemeen beperkt. Alleen voor ammoniak is er een behoorlijke emissiereductie als gevolg van uitvoering van het besluit emissiearme huisvesting. Bij melkvee neemt de methaanemissie per koe juist toe, aangezien de productiviteit stijgt en de koe meer voer nodig heeft. De emissie per kg melk daalt wel in het referentiescenario.

2.4.2 Dierlijke productie

Algemene uitgangspunten welke gelden bij de maatregelen m.b.t. dierlijke productie zijn als volgt:

- Genoemde emissiereducties zijn t.o.v. emissie per dier voor de huidige situatie (grotendeels gebaseerd op Van Bruggen et al., 2018). Emissiereducties hebben betrekking op emissievolumes in Nederland bij een gelijkblijvend aantal dierplaatsen voor de diercategorieën melkkoeien, zeugen, vleesvarkens, leghennen en vleeskuikens. Een verandering in de productiviteit van deze dieren kan leiden tot een verandering in emissies per dier(plaats), wat verdisconteerd is in emissiereducties. Er wordt dus niet gerekend met emissies per eenheid product ('emissie-intensiteit').
- Emissies betreffen melkvee inclusief jongvee, zeugen inclusief biggen, leghennen inclusief opfok, en vleeskuikens inclusief ouderdieren. Voor andere diersectoren, zoals vleeskalveren, geiten, schapen, en paarden, zijn geen aparte maatregelpakketten samengesteld. Voor deze sectoren zijn emissiereducties afgeleid van de voorgenoemde diercategorieën.
- Er zijn geen lachgas-reducerende maatregelen opgenomen voor stallen en mestopslagen. Veranderingen in lachgasemissie volgend uit maatregelpakketten (bijv. als gevolg van verandering in N-excretie) zijn wel meegenomen.
- Effecten van scenarioaannames en maatregelen op mineralenbelasting in uitlopen, fijnstof, dierziekteverspreiding en voedselveiligheid zijn niet meegenomen in deze studie. Een hogere mineralenbelasting in pluimvee-uitlopen kan worden verwacht in het extensieve pakket. Ook kunnen uitlopen additionele diergezondheidsrisico's veroorzaken, zoals vogelgriep of besmetting met parasieten. Voor leghennen wordt verwacht dat toekomstige wetgeving voor fijnstof een belangrijke beperkende factor wordt.

Tabel 2 Samenvatting uitgangspunten ten aanzien van bedrijfsvoering en geschatte emissiereductie t.o.v. huidige emissies (2017) in de dierlijke productie in de drie gehanteerde maatregelpakketten (zie Bijlage 1 voor een gedetailleerde beschrijving).

Categorie		Invulling maatregelpakket		
		Basis 2050	Alles-uit-de-kast	Extensief
Stallen	Melkvee	Alle scenario's: combinatie van huisvestingsmaatregelen ¹ t.b.v. reductie ammoniakemissies (75% reductie van NH ₃), frequent afvoeren van mest en urine naar een dichte opslag met thermische oxidatie van methaan (75% reductie van CH ₄ -emissies uit mest)		
		Uitgeademde methaan afvangen in ligbox (16% reductie van enterische CH ₄ -emissies)	Dichte stallen met luchtbehandeling methaan en ammoniak (75% reductie van CH ₄ , 85% reductie van NH ₃ -emissies)	Uitgeademde methaan afvangen in ligbox (16% reductie van enterische CH ₄ -emissies)
	Varkens	Alle scenario's: frequent afvoeren van mest en urine naar een dichte opslag, thermische oxidatie van CH ₄ -emissies uit mest (75% reductie van CH ₄ -emissies uit mest, 39-67% reductie van NH ₃ -emissies)		
	Pluimvee	Volledige implementatie van huidige meest voorkomende Rav ⁸ staltypen (19-50% reductie van NH ₃ -emissies)	Rav staltype met laagste NH ₃ -emissies (64-92% reductie van NH ₃ -emissies)	Rav staltype met strooisel met laagste NH ₃ -emissies (25-46% reductie van NH ₃ -emissies)
Weidegang en uitlopen	Melkvee	80% weidegang, 720 uur per jaar ²	Geen weidegang ^{2,3}	Alle dieren weidegang, 3600 uur per jaar (dag en nacht) ²
	Varkens	Geen uitloop (gelijk aan huidige situatie)	Geen uitloop (gelijk aan huidige situatie)	Alle dieren verharde uitloop ⁴
	Pluimvee	Beperkt aantal legbedrijven met vrije uitloop, vleeskuikenbedrijven geen uitloop (gelijk aan huidige situatie)	Geen uitloop ^{3,4}	Alle dieren vrije uitloop ⁴ met maatregelen om N- en P-uitspoeling te voorkomen
Dieren en productiviteit	Melkvee	Productietoename 80 kg melk/jaar ² Fokken op lagere methaanemissie (22% reductie)	Productietoename 120 kg melk/jaar ² Fokken op lagere methaanemissie (22% reductie)	Productietoename 20 kg melk/jaar ² Fokken op lagere methaanemissie (22% reductie)
	Varkens	36 biggen/zeug/jaar ⁵ Vleesvarkens: - groeisnelheid 900 g/dag - Verbetering voederconversie met 7% (0-2% toename in emissies)	38 biggen/zeug/jaar ⁵ Vleesvarkens: - groeisnelheid 1000 g/dag - Verbetering voederconversie met 20% (0-3% reductie van emissies)	30 biggen/zeug/jaar ⁵ Vleesvarkens: Groeisnelheid en voederconversie vleesvarkens gelijk aan huidige niveau (geen effect op emissies)
	Pluimvee	Legperiode van 100 weken. Vleeskuikens: 35% niet-reguliere en 65% reguliere rassen (49 vs. 59 g/dier/dag) (2-5% reductie van N ₂ O- en NH ₃ -emissies)	Legperiode van 120 weken. Reguliere vleeskuikens (59 g/dier/dag). (5-12% reductie van N ₂ O- en NH ₃ -emissies)	Legperiode van 90 weken. Traag groeiende vleeskuikens (43 g/dier/dag). (0-15% toename in N ₂ O- en NH ₃ -emissies)

⁸ Regeling ammoniak en veehouderij, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2020-01-01>

Categorie	Invulling maatregelpakket			
	Basis 2050	Alles-uit-de-kast	Extensief	
Rantsoenen	Melkvee	60% gras, 15% mais, 25% bijproducten/ mengvoer (eiwitarm) ² Voeradditieven om methaanemissie te reduceren (40% reductie van CH ₄ -emissies)	50% gras, 20% mais, 30% bijproducten/ mengvoer (eiwitarm) ² Voeradditieven om methaanemissie te reduceren (40% reductie van CH ₄ -emissies)	70% gras, 10% mais, 20% bijproducten/ mengvoer (eiwitarm) ² Voeradditieven om methaanemissie te reduceren (alleen natuurlijke producten; 20% reductie van CH ₄ -emissies)
	Varkens	Alle scenario's: toevoegen benzoëzuur aan rantsoen (8-16% reductie van NH ₃ -emissies)		
		Matige verlaging eiwitgehalte (16-22% reductie van NH ₃ - en N ₂ O-emissies)	Sterke verlaging eiwitgehalte (31-33% reductie van NH ₃ - en N ₂ O-emissies)	
	Pluimvee	Matige verlaging eiwitgehalte (15-20% reductie van NH ₃ - en N ₂ O-emissies)	Sterke verlaging eiwitgehalte (25-30% reductie van NH ₃ -en N ₂ O-emissies)	

¹ Combinatie van bronmaatregelen beschreven in Groenestein et al. (2019), o.a. frequent verwijderen, verbeterd mestschuiven, spoelen, luchtzuivering nok en andere maatregelen, zoals urease-remmers.

² Het gecombineerde effect van veranderingen in melkproductieniveau, rantsoen en weidegang is geschat op: (basis 2050 pakket) 12% toename in CH₄-emissies, 6% reductie van N₂O-emissies, 6% reductie van NH₃-emissies; (alles-uit-de-kast-pakket) 21% toename in CH₄-emissies, 17% reductie van N₂O-emissies, 2% toename in NH₃-emissies; (extensief) 6% reductie van CH₄-emissies, 65% toename in N₂O-emissies, 35% reductie van NH₃-emissies.

³ Toename in NH₃-emissies wordt grotendeels weer afgevangen in de stal (aangenomen is geen verandering in netto-emissies).

⁴ Effecten van uitloop van varkens en pluimvee op CH₄-, N₂O- en NH₃-emissies zijn nog grotendeels onbekend. Aangenomen zijn de volgende emissiereductiepercentages t.o.v. reguliere stallen zonder uitloop, uitgaande van een goed ontworpen uitloop: (varkens) 54% reductie in CH₄-emissies, geen verandering in NH₃- en N₂O-emissies; (pluimvee) gelijkblijvende emissies CH₄ en N₂O, 3-5% reductie (extensief pakket) in NH₃-emissies (toename in NH₃-emissies in het alles-uit-de-kast-pakket worden afgevangen in de stal).

⁵ Aangenomen is een hogere biggenproductie bij een gelijkblijvend aantal zeugen, met weinig effect op emissies per dierplaats.

Over het algemeen is het reductiepotentieel voor de emissies uit stallen en mestopslagen in het extensieve pakket lager, aangezien de emissies vaak minder stuurbaar zijn, o.a. door meer beweiding en uitloop. Voor dierlijke productie is het reductiepotentieel het grootst in het alles-uit-de-kast-pakket (Tabel 3), waarin met luchtdichte stallen en het volledig binnenhouden van dieren, de meeste emissies van zowel ammoniak als methaan kunnen worden afgevangen. Het frequent verwijderen van mest en urine uit de stal is een van de belangrijkste maatregelen die in alle pakketten wordt toegepast en kan leiden tot 75% reductie van methaan uit stal en mestopslagen. In het extensieve pakket nemen methaan- en ammoniak-emissies af met gemiddeld zo'n 50%, terwijl N₂O-emissies toenemen, met name bij melkvee, door meer weidegang. Bij weidegang is de N₂O-emissie hoger dan bij mesttoediening door hoge concentratie van stikstof in urineplekken. Voor overig vee is het reductiepotentieel in alle gevallen lager ingeschat, aangezien hier minder bekend is over de mitigatiemaatregelen. Daarnaast wordt een deel van deze dieren, zoals schapen en paarden, meer hobbymatig gehouden, waardoor er voor deze diercategorieën waarschijnlijk minder verplichtende reductiedoelstellingen en maatregelen zullen komen.

Tabel 3 Reductiepotentieel (% t.o.v. huidige (2017) emissie per dier) voor referentie 2050 en per maatregelpakket voor emissies uit stal en mestopslagen. Negatieve getallen betekenen een toename van de emissies.

		Referentie 2050	Basis 2050	Alles-uit-de- kast	Extensief
CH ₄ -emissie pensfermentatie en mestopslagen ¹	Melkvee	-12	56	82	42
	Zeugen	0	62	62	72
	Vleesvarkens	0	63	63	73
	Overig vee	-3	30	66	29
N ₂ O-emissies mestopslagen en beweiding	Melkvee	6	6	17	-65
	Zeugen	0	15	30	0
	Vleesvarkens	7	22	46	0
	Leghennen	2	17	29	0
	Vleeskuikens	5	24	38	-15
	Overig vee	3	7	23	-19
NH ₃ -emissie stallen en mestopslagen	Melkvee	27	72	84	57
	Zeugen	3	69	93	39
	Vleesvarkens	28	74	95	45
	Leghennen	12	20	74	28
	Vleeskuikens	39	62	95	48
	Overig vee	14	37	67	26

¹ Gezien de beperkte bijdrage van pluimvee aan CH₄-emissies (ongeveer 0,6%; Van Bruggen et al., 2018) is de potentiële methaanreductie bij pluimvee buiten beschouwing gelaten, aangezien hier ook bijna geen onderzoek naar gedaan is.

De stikstof- en fosfaat-excretie zijn van belang, aangezien deze deels bepalen hoeveel dierlijke productie binnen de stikstof- en fosfaatplafonds mogelijk is. Voor het referentiescenario wordt uitgegaan van optimalisatie van N en P in het rantsoen, met name via sturing op krachtvoer, zie ook paragraaf 2.2. Hierdoor neemt ondanks de stijging van de productiviteit, met name voor de melkveehouderij, de excretie in het referentiescenario af (Tabel 4).

Tabel 4 Verandering in N- en P-excretie (% t.o.v. huidige (2017) excretie per dier) voor referentie 2050 en per maatregelpakket in 2050. Negatieve getallen betekenen een afname van de excretie.

		Referentie 2050	Basis 2050	Alles-uit-de- kast	Extensief
N-excretie	Melkvee	-6	-6	-1	-9
	Zeugen	0	-15	-30	0
	Vleesvarkens	-7	-14	-35	0
	Leghennen	-2	-17	-29	0
	Vleeskuikens	-5	-24	-38	+15
	Overig vee	0	0	0	0
P-excretie	Melkvee	0	0	+3	-4
	Zeugen	0	0	0	0
	Vleesvarkens	-7	-2	+3	0
	Leghennen	-2	-2	-5	0
	Vleeskuikens	-5	-5	-12	+15
	Overig vee	0	0	0	0

In het Basis 2050-pakket gaat de N-excretie omlaag en blijft P-excretie per dier gelijk, terwijl voor het extensieve maatregelpakket zowel de N- en P-excretie min of meer gelijk blijven, alleen voor vleeskuikens neemt de excretie met 15% toe, aangezien deze een lagere voederconversie hebben in de natuurinclusieve scenario's. In het alles-uit-de-kast-scenario neemt de productiviteit sterker toe, maar kan er nog verder worden geoptimaliseerd met lagere eiwitgehalten in het rantsoen voor varkens en pluimvee, en daarmee een lagere N-excretie.

2.4.3 Bemesting en bodembewerking

Voor het beschrijven van maatregelen met betrekking tot bemesting en bodembewerking is ervoor gekozen om de maatregelen te groeperen volgens de 4R-strategie. Via deze 4R-strategie is een indeling gemaakt voor maatregelen die een effect hebben op het bemestingsplan en het graslandbeheer in de melkveehouderij en akkerbouw. 4R refereert aan *Right amount*, *Right type*, *Right place* en *Right time*. *Right amount* vertaalt zich naar maatregelen die betrekking hebben op de hoeveelheid mest die wordt aangevoerd. *Right type* heeft betrekking op maatregelen die resulteren in een aanpassing in het type meststof. De maatregelen die vallen onder *Right place* en *Right time* hebben een effect op het moment van bemesten en bewerken van het gras- en akkerland en de plaatsing van de mest.

In Tabel 5 zijn de bemesting-gerelateerde maatregelen beschreven per categorie en onderscheiden naar akkerbouw en melkveehouderij. Niet iedere maatregel valt per definitie onder een van de categorieën van de 4R. Voor de beschrijving is een maatregel echter daar geplaatst waar het meeste effect optreedt. Behalve de aan bemesting gerelateerde maatregelen zijn ook een aantal maatregelen meegenomen die effect hebben op koolstof (C) vastlegging in de bodem. Deze maatregelen staan kort beschreven in Tabel 6. In Bijlage 1 staat een gedetailleerde beschrijving en inschatting van het reductiepotentieel van de maatregelen. De reductiepercentages of hoeveelheden zijn ingeschat ten opzichte van de totale emissies zoals gerapporteerd in 2017.

Tabel 5 Samenvatting uitgangspunten ten aanzien van bemestingsmaatregelen in de drie gehanteerde maatregelpakketten (zie Bijlage 1 voor een gedetailleerde beschrijving).

Categorie		Invulling maatregelpakket		
		Basis 2050	Alles-uit-de-kast	Extensief
Mesthoeveelheid	Akkerbouw	N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, beperkte verlaging kunstmestgift (met 15 kg N/ha) door teelt stikstofbindende eiwitgewassen		N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, verlaging kunstmestgift (met 30 kg N/ha) door teelt stikstofbindende eiwitgewassen
	Melkvee	N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, kunstmestgift verminderen door toepassing grasklaver in tijdelijk grasland (30 kg N/ha)	N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, beperkte toepassing grasklaver in tijdelijk grasland (10 kg N/ha)	N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, kunstmestgift sterk verminderen door toepassing grasklaver in tijdelijk en permanent grasland (80 kg N/ha)
Type bemesting	Akkerbouw	Toepassing van nitrificatieremmers in kunstmest (10% reductie N ₂ O-emissie) en toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof	Toepassing van nitrificatieremmers in kunst en dierlijke mest (20% reductie N ₂ O-emissie) en toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof	Toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof
	Melkvee	Toepassing van nitrificatieremmers in kunstmest (10% reductie N ₂ O-emissie) en toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof	Toepassing van nitrificatieremmers in kunstmest en dierlijke mest (20% reductie N ₂ O-emissie) en toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof	Toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof
Mestplaatsing	Akkerbouw	Precisiebemesting en infiltreren/bezinken van oppervlakkige afspoeling		
	Melkvee	Toepassing sleepvoetverbod, precisiebemesting, en aanbrengen bufferstroken in grasland		Verhoging diversiteit grasland
Timing	Akkerbouw	Aanvullende toedieningsmaatregelen mest en groenbemesters		
	Melkvee	Aanvullende toedieningsmaatregelen mest en verhogen van leeftijd grasland		

Tabel 6 Samenvatting uitgangspunten ten aanzien van bodem koolstof maatregelen in de drie gehanteerde maatregelpakketten (zie Bijlage 1 voor een gedetailleerde beschrijving).

Categorie		Invulling maatregelpakket		
		Basis 2050	Alles-uit-de-kast	Extensief
Bodem C- maatregelen	Akkerbouw	Extensiveren bouwplan naar 1:4-rotatie met een kleiner aandeel rooigewassen, beperkte toepassing minimale grondbewerking	Beperkte toepassing minimale grondbewerking	Extensiveren bouwplan naar 1:5-rotatie met rustgewassen en minder aandeel rooigewassen, sterke inzet op minimale grondbewerking
	Melkvee	Beperkte vervanging van teelt snijmais door gras, beperkte inzet kruidenrijkgrasland	Beperkte vervanging van teelt snijmais door gras	Aanzienlijke vervanging van teelt snijmais door gras, maximale inzet kruidenrijkgrasland
		Meer vaste mest, groenbemesters, infiltreren/bezinken oppervlakkige afspoeling hebben tevens een effect op bodem C en worden in Tabel 3 nader toegelicht per maatregelpakket.		
		Meer vaste mest, verhoging leeftijd grasland, grasklaver in tijdelijk grasland en bufferstroken in grasland hebben tevens een effect op bodem C en worden in Tabel 5 nader toegelicht per maatregelpakket.		

Het reductiepotentieel voor N₂O-bodememissies is ongeveer hetzelfde voor alle drie maatregelpakketten (Tabel 7), ook al zijn er duidelijke verschillen tussen de maatregelpakketten. In het extensieve pakket wordt bijvoorbeeld veel meer ingezet op toepassing van meer stikstofbindende gewassen en klaver, waardoor N₂O-emissies lager zijn, terwijl in het alles-uit-de-kast-pakket op meer technische maatregelen zoals nitrificatieremmers wordt ingezet. Uiteindelijk hebben beide maatregelen min of meer hetzelfde reductiepotentieel. Voor ammoniak is het reductiepotentieel groter voor het extensieve maatregelpakket, aangezien hier meer beweiding plaatsvindt en een lagere input van kunstmest. Het reductiepotentieel van de maatregelen voor N- en P-uit- en afspoeling is bijna hetzelfde voor de drie pakketten: deels komt dit door toepassing van dezelfde maatregelen en deels doordat het effect van efficiëntere bemesting in het alles-uit-de-kast-pakket wordt opgeheven door het intensievere bouwplan met gemiddeld hogere bemesting.

Tabel 7 Reductiepotentieel (% t.o.v. huidige (2017) emissie per ha voor referentie 2050 en per maatregelpakket voor bodem gerelateerde emissies (bodem C-vastlegging is weergegeven in ton CO₂/ha).

	Referentie 2050	Basis 2050	Alles-uit-de-kast	Extensief	
N ₂ O-bodememissies	Grasland	1	22	25	23
	Akkerland	5	38	42	42
NH ₃ -emissies beweiding en mesttoediening	Grasland	4	27	22	37
	Akkerland	4	49	46	60
CO ₂ -vastlegging landbouw-bodems (ton CO ₂ /ha)	Grasland	0	0,6	0,5	0,7
	Akkerland	0	1,3	1,3	1,6
N-uit- en afspoeling	Grasland	19	41	43	36
	Akkerland	17	24	26	23
P-uit- en afspoeling	Grasland	0	10	10	10
	Akkerland	0	15	14	16

Voor CO₂-vastlegging in landbouwbodems is de potentie het grootst in het extensieve pakket. Voor akkerland is de potentie per hectare hoger dan in grasland, aangezien daar meer maatregelen mogelijk zijn dan voor grasland en er nu nog weinig maatregelen specifiek op C-vastlegging genomen worden. Omzetting van akkerland naar grasland draagt ook sterk bij aan C-vastlegging, en deze landgebruiksverandering is ook in de berekeningen met de optimalisatietool meegenomen. Ook voor uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater is het verschil tussen de

maatregelpakketten beperkt doordat een deel van de maatregelen passen in alle pakketten (*no regret*-opties) en een deel van de maatregelen wel verschillen tussen de pakketten, maar uiteindelijk een min of meer gelijk effect hebben. Voor uit- en afspoeling van fosfaat en stikstof is een beperkt reductiepotentieel voorzien van 10-15%, aangezien de aanvoer vanuit dierlijke mest nog relatief groot blijft en veel van de maatregelen slechts een beperkt effect hebben. Veel van de maatregelen met effect op N- en P-uitspoeling worden in alle scenario's genomen. In de natuurinclusieve scenario's is er nog wel een risico op extra N-en P-uit- en afspoeling door meer mest in de uitlopen bij varkens; dit effect is echter niet meegenomen in de berekeningen.

2.4.4 Uitgangspunten landgebruik

Algemene uitgangspunten

De maatregelpakketten zoals in de voorgaande hoofdstukken beschreven, zijn met name gericht op het verminderen van N₂O- en CH₄-emissies uit de landbouw en het versterken van C-vastlegging in landbouwbodems. Naast deze direct aan de landbouw gerelateerde emissies, zijn er ook andere emissies uit landgebruik die bepalend zijn voor de emissieruimte van de landbouw: met name de emissies uit organische bodems (veen en moerige gronden) en de potentie voor C-vastlegging in biomassa, met name in bossen. Dit is relevant, omdat het uitgangspunt voor de beleidsdoelen voor klimaat netto nul emissies in 2050 voor de sector landbouw en landgebruik samen is.

Ieder jaar rapporteert Nederland in de Nederlandse Emissieregistratie over de broeikasgasemissies uit landgebruik, landgebruiksverandering en bossen (ook wel LULUCF genaamd). In Nederland is de LULUCF-sector nu een nettobron van broeikasgasemissies. Dit wordt met name veroorzaakt door de emissies uit veengronden. De meeste veengebieden in Nederland zijn al eeuwen geleden ontgonnen en ontwaterd om de bodem geschikt te maken voor landbouw. De laagveengebieden in het westen en noorden van het land worden met name gebruikt voor de melkveehouderij (veenweide), terwijl de hoogveengebieden in het oosten van het land (met name de Veenkoloniën) ook voor akkerbouw worden gebruikt. Door de ontwatering oxideren de veenbodems met CO₂- en N₂O-emissies tot gevolg. Vooral in de hoogveengebieden is al veel veengrond verdwenen en blijven moerige gronden (gronden met een veenlaag van 5-40 cm) of zandgronden over. De huidige emissies uit organische bodems liggen rond de 6 Mton CO₂ per jaar.

Naast emissies vindt er ook vastlegging van CO₂ plaats, met name in bossen, aangezien het Nederlandse bos relatief jong is en nog steeds extra koolstof kan vastleggen. Deze vastlegging kan worden vergroot in het bestaande bos door actief beheer (klimaatsslim bosbeheer) of door aanplant van nieuwe bossen. Om de in deze studie vastgestelde doelstellingen m.b.t. de broeikasgasemissies te halen, is ook een daling in de emissies uit landgebruik noodzakelijk. Dit kan o.a. gerealiseerd worden door de koolstofvastlegging in bossen te verhogen en de emissies uit veenweidegebied te verminderen. Het aanplanten van nieuwe bossen is op de lange termijn (na 2100) echter wel minder effectief, aangezien er op lange termijn een nieuw evenwicht tussen opname van CO₂ en afbraak van C uit het bos zal ontstaan, en deze bossen dan niet meer netto bijdragen aan C-vastlegging. Op de middellange termijn, zoals in deze 2050-studie, is C-vastlegging in nieuwe bossen wel een effectieve strategie voor het bereiken van klimaatneutraliteit in landbouw en landgebruik.

In dit hoofdstuk staat beschreven wat het reductiepotentieel is van maatregelen die in landgebruik genomen kunnen worden om te komen tot de benodigde emissiereductie voor de twee milieugebruiksruimten varianten. Aangezien hier duidelijk verschillen zijn tussen alle vier scenario's wordt de emissiereductie niet per maatregelpakket, maar per scenario beschreven. Met de in deze paragraaf beschreven uitgangspunten is per scenario een netto-emissie/-vastlegging in landgebruik berekend.

Emissiereductie in veengronden

Emissies uit veenweidegebied kunnen worden verminderd door het grondwaterpeil te verhogen. Hierdoor zal er minder veen oxideren en neemt de CO₂-emissie af. Om te bepalen welke klimaatwinst er behaald kan worden door peilverhoging in de Nederlandse veenweidegebieden, is eerst bepaald wat de huidige drooglegging (afstand tussen slootpeil/polderpeil en maaiveld) is in de Nederlandse veengebieden (zie Bijlage 2 voor verdere details). Moerige gronden, gronden met een dunne veenlaag

(5-40 cm), zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien het vanwege de kosteneffectiviteit niet de verwachting is dat voor deze gronden grootschalige aanpassingen gedaan worden in waterbeheer. Ook in het Klimaatakkoord is niets afgesproken over specifieke maatregelen voor moerige gronden.

Voor de huidige situatie is eerst bepaald wat het areaal is voor de volgende landschapstypen / droogleggingsklassen:

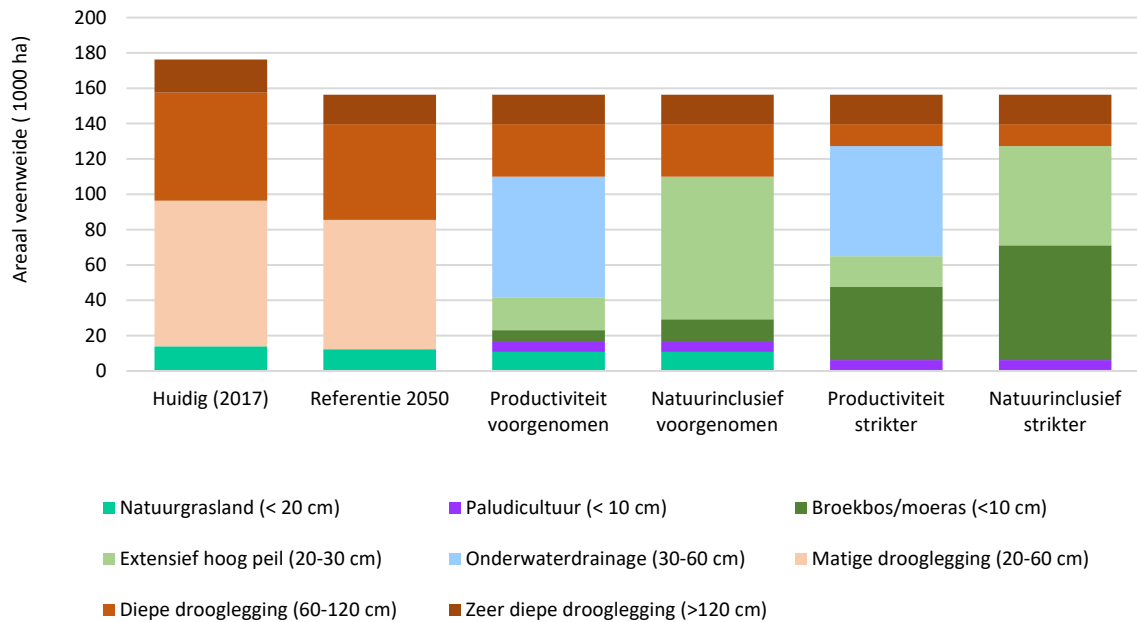
- Natuurgrasland, waarbij de drooglegging <20 cm is;
- Paludicultuur (natte landbouw met teelten zoals lisdodde of riet);
- Natuur, in de vorm van broekbos of moeras;
- Extensief hoog peil, waarbij het peil wordt verhoogd tot een drooglegging van 20-30 cm;
- Onderwaterdrainage, waarbij het peil wordt verhoogd naar 30-60 cm;
- Matige drooglegging, van 20 tot 60 cm;
- Diepe drooglegging, van 60 tot 120 cm, waarbij maatregelen mogelijk zijn;
- Zeer diepe drooglegging, van >120 cm, waarbij maatregelen niet meer effectief zijn.

Vervolgens is per scenario een combinatie van maatregelen geformuleerd waarmee de emissiedoelen gerealiseerd kunnen worden en die passend zijn bij de ontwikkelrichting van de bedrijfsvoering. De arealen van de bovengenoemde landschapstypen onderscheiden zich per scenario van elkaar doordat er differentiatie zit in het type en de mate van peilverhoging per scenario. Voor het areaal veenweidegebieden is voor de scenario's ook een afname meegenomen conform de trend in afname van het totale landbouwareaal (10% afname in 2050). Voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen is minder emissiereductie nodig, waardoor grootschalige peilverhogingen en het uit productie halen van veenweidegebieden minder noodzakelijk is. Voor deze scenario's zijn de aannames in lijn met het Klimaatakkoord, waarbij is aangegeven dat voor circa 90.000 ha veenweide een maatregelenmix moet worden uitgewerkt, bestaande uit het verhogen van het zomerwaterpeil, technieken voor onderwaterdrainage, transitie naar natte teelten en een bijdrage van circa 10.000 ha omzetting naar natuur.

In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario wordt het peil gemiddeld met 10 cm verhoogd, waarbij gebruik wordt gemaakt van onderwaterdrainage. Dit wordt toegepast op de veengronden met een huidige drooglegging tussen de 40 en 80 cm. Voor gebieden met een drooglegging van 20-30 cm wordt extensieve peilverhoging toegepast, aangezien onderwaterdrainage hier niet effectief genoeg is door het relatief hoge peil. De natste stukken (drooglegging < 20 cm) worden omgezet in paludicultuur of uit de productie gehaald. Bij het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario vindt extensieve peilverhoging plaats. Ook hier vindt de peilverhoging plaats op veengronden met een huidige drooglegging tussen de 30 en 80 cm. Echter wordt het peil verhoogd tot 20-30 cm, waardoor enkel nog extensief gebruik kan worden gemaakt van het grasland. De natste delen (drooglegging < 20 cm) worden gebruikt voor paludicultuur of uit productie gehaald en omgezet naar natuur.

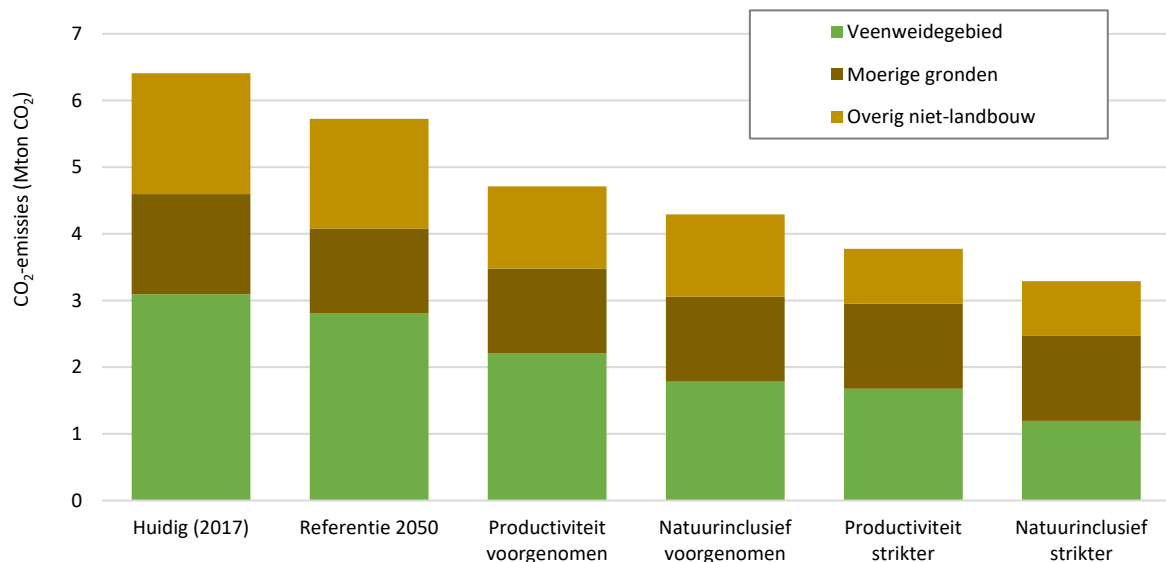
Voor de scenario's met verdergaande beleidsdoelen is vanwege de strikte klimaatdoelstelling uitgegaan van een grotere peilverhoging om emissies uit veenweidegebieden verder te verminderen. In het *Productiviteit strikter*-scenario is de gemiddelde peilverhoging 40 cm, wat gerealiseerd wordt d.m.v. onderwaterdrainage bij een huidige drooglegging van 50 tot 100 cm. Bij een huidige drooglegging van 40-50 cm wordt extensieve peilverhoging toegepast. Als resultaat van het verhogen van het peil wordt een groot deel van het areaal flink vernat. Alle gronden waarvan de drooglegging <10 cm is, zullen uit de productie gehaald worden. In het *Natuurinclusief strikter*-scenario geldt dat voor alle gebieden met een huidige drooglegging van <100 cm, het peil wordt verhoogd naar 20-30 cm. Deze grond wordt vervolgens extensief beheerd. De nattere gebieden, waarvan de huidige drooglegging <50 cm is, worden uit de productie genomen voor natuur, aangezien deze bij verdere peilverhoging te nat zullen worden voor landbouw. Bij omzetting naar natuur kunnen deze gebieden netto nul emissie hebben, waarbij de mogelijke methaanemissies gecompenseerd worden door vastlegging van CO₂ in nieuw veen.

Bovenstaande uitgangspunten resulteren in een verandering van het areaal veengrond zoals weergegeven in Figuur 4. In de uitwerking van de veenweidemaatregelen zal er rekening gehouden moeten worden met regionale verschillen, waarbij in West-Nederland over het algemeen minder diepe ontwatering wordt toegepast dan in Friesland. Dit ruimtelijke aspect is in deze studie echter niet verder uitgewerkt.



Figuur 4 Areaal veengronden per landschapstype en droogleggingsklasse voor de huidige situatie en de vier scenario's.

Met behulp van een emissiefactor, zie Bijlage 3, is vervolgens berekend hoe groot de CO₂-emissies zijn per landschapstype/droogleggingsklasse. Figuur 5 toont de resulterende CO₂-emissies uit organische bodems in 2017 en voor de verschillende scenario's in 2050. Het verschil tussen de huidige emissie en de emissie voor het referentiescenario is het resultaat van de autonome afname van veen en moerige gronden, zoals die de afgelopen decennia ook al heeft plaatsgevonden (De Vries et al., 2014).



Figuur 5 CO₂-emissies (Mton CO₂) uit organische bodems voor de huidige situatie, de referentie en de vier 2050 scenario's.

Uit Figuur 5 is af te leiden dat de grootste klimaatwinst geboekt kan worden door maatregelen in het veengebied. Deze maatregelen omvatten het verhogen van het peil d.m.v. extensieve peilverhoging of onderwaterdrainage of het uit productie halen van landbouwgronden in het veengebied en het omzetten naar natuur in de vorm van moeras of broekbos. Voor de moerige

gronden worden in de scenario's geen specifieke maatregelen genomen en is de emissie gelijk aan het referentiescenario. De emissies voor niet-landbouwgebied nemen in de scenario's met voorgenomen milieudoelen met 25% af t.o.v. het referentiescenario en met 50% in de scenario's met verdergaande milieudoelen. Voor deze afname is verondersteld dat de peilverhogingen in de landbouw ook effect hebben op een deel van de niet-landbouwgronden, en waarschijnlijk zullen ook in bebouwd gebied specifieke maatregelen genomen worden om CO₂-emissies en bodemdaling tegen te gaan.

De maximale emissieverlaging wordt gerealiseerd in het *Natuurinclusief strikter*-scenario, waarbij een reductie van ongeveer 3 Mton CO₂ mogelijk zou zijn. In dit scenario betekent dit dat ruim 40% van het areaal veenweide wordt omgezet in moeras of broekbos, en 40% van het areaal wordt beheerd onder een extensief hoog peil (Figuur 4). De uitkomsten van deze berekeningen zijn meegenomen in de optimalisatietool (paragraaf 2.5) om passende dieraantallen en landgebruik te berekenen binnen de milieugebruiksruimten en andere randvoorwaarden.

Emissies/vastlegging door overig landgebruik

Met het uitgangspunt dat landbouw en landgebruik klimaatneutraal zijn in 2050, is het van belang om ook een goede inschatting te hebben van de mitigatiemogelijkheden in het landgebruik buiten de landbouw. Dit is met name relevant voor de scenario's met striktere beleidsdoelen, waarin landbouw en landgebruik klimaatneutraal moeten zijn binnen Nederland. De mate waarin een vastlegging (netto vastlegging van CO₂) in landgebruik kan worden gecreëerd, bepaalt namelijk de emissieruimte die voor de landbouwsector (methaan en lachgas) beschikbaar is.

Allereerst zijn de emissies en vastlegging van CO₂ in landgebruik (de LULUCF-sector) bepaald voor het jaar 2017, gebaseerd op data uit de emissieregistratie (National Inventory Report; NIR). Hierbij is onderscheid gemaakt naar de categorieën bosuitbreiding, ontbossing, bosbeheer, organische bodems, minerale bodems en overig. In de categorie 'overig' tellen tevens de emissies uit wetlands, overig land en geogste houtproducten mee. Deze manier van indeling komt niet geheel overeen met categorieën die worden gerapporteerd in de emissieregistratie, maar deze indeling sluit beter aan bij het beleid en maatregelen zoals afgesproken in het Klimaatakkoord.

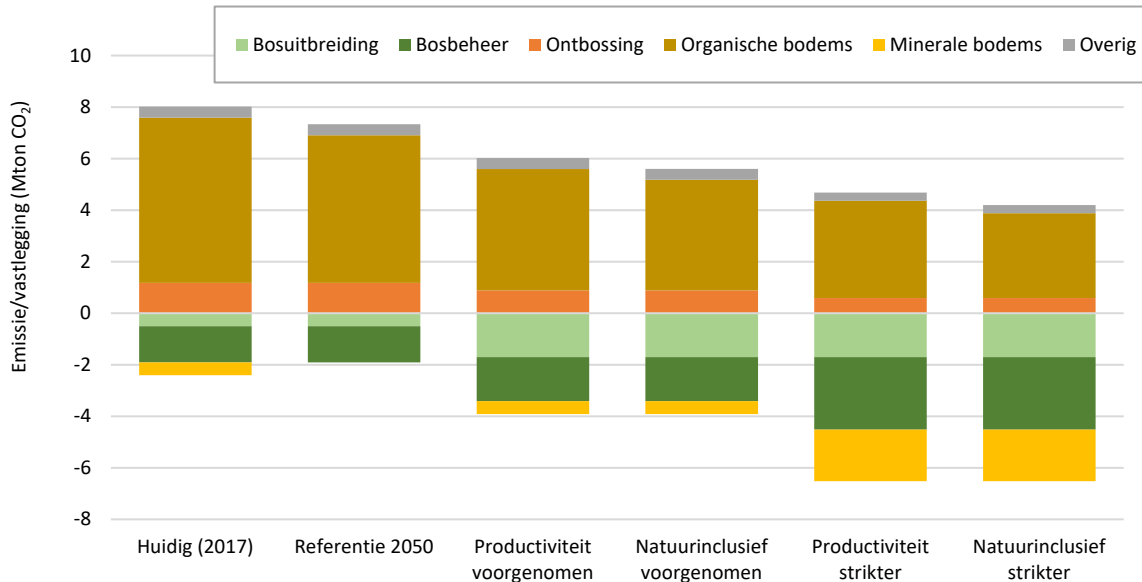
Voor het bepalen van de grootte van de emissie/vastlegging in de verschillende scenario's is een aantal uitgangspunten gehanteerd. De uitgangspunten voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen zijn gebaseerd op het Nederlandse Klimaatakkoord van juni 2019:

- Het percentage ontbossing is met 25% afgenomen t.o.v. het referentiescenario;
- Er wordt 0,6 Mton CO₂ extra vastgelegd in bossen door het verminderen van ontbossing en maatregelen in het bosbeheer;
- Er vindt bosuitbreiding plaats met een reductiepotentieel van 1,2 Mton CO₂ per jaar, in het Klimaatakkoord staan meerdere verwijzingen naar aanplant van bomen (o.a. voor elke gemeente 1% toename per jaar in aantal bomen); het is echter onduidelijk waar en welk oppervlak hiervoor nodig is;
- De C-vastlegging in minerale landbouwbodems is 0,5 Mton CO₂, welke wordt gerealiseerd door het nemen van maatregelen die koolstofvastlegging in de bodem stimuleren;
- Overige LULUCF-emissies blijven gelijk aan het referentiescenario.

De uitgangspunten voor de scenario's met verdergaande beleidsdoelen zijn merendeels gebaseerd op het PBL rapport Verkenning van klimaatdoelen (Ros en Daniels, 2017):

- Het percentage ontbossing is met 50% afgenomen t.o.v. het referentiescenario;
- Er wordt 2,0 Mton CO₂ extra vastgelegd in bossen door het verminderen van ontbossing en maatregelen in het bosbeheer;
- Er vindt bosuitbreiding plaats met een reductiepotentieel van 1,2 Mton CO₂ per jaar; daarnaast kan nog extra bosuitbreiding nodig zijn om voldoende vastlegging te creëren, maar dit zal dan direct ten koste gaan van het landbouwareaal;
- De C-vastlegging in minerale landbouwbodems is 2,0 Mton CO₂, welke wordt gerealiseerd door het nemen van maatregelen die koolstofvastlegging in de bodem stimuleren;
- Overige LULUCF-emissies nemen met 25% af door maatregelen in het overige landgebruik, o.a. door aanplant bomen in bebouwd gebied en toename in gebruik van hout als bouw materiaal (toename van de *harvested wood products pool*).

In Figuur 6 worden de resultaten van de aannames voor de verschillende scenario's weergegeven. Volgens de autonome ontwikkeling van de Nederlandse landbouw en landgebruik neemt het totaal aan emissies met 0,2 Mton CO₂ af in 2050. Deze afname wordt gerealiseerd doordat een deel van het veenweidegebied verdwijnt. Het effect wordt echter ook geremd doordat minerale bodems in het referentiescenario geen vastlegging vormen voor CO₂, aangezien dan geen bodem C-maatregelen genomen worden. De vastlegging in 2017 is het gevolg van de relatief recente omzetting van akkerland naar grasland, door de uitbreidende melkveehouderij. Richting 2050 zet deze trend als gevolg van grondgebondenheid in de melkveehouderij mogelijk wel door, maar deze is geen onderdeel van het referentiescenario.



Figuur 6 CO₂-emissie/vastlegging (Mton CO₂) in landgebruik in 2017 en 2050 voor de referentie en de vier verschillende scenario's. Een negatief getal betekent vastlegging van CO₂ en een positief getal staat voor emissie van CO₂.

Voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen wordt de netto-emissie uit landgebruik geschat op ongeveer 2 Mton CO₂. Bosuitbreiding, bosbeheer en minerale bodems zorgen voor vastlegging van CO₂, terwijl ontbossing en het veenweidegebied een emissiebron van CO₂ zijn. Hierbij is de netto-emissie in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario iets groter dan in het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario, vanwege de lagere emissies uit veenweide in het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario.

In de scenario's met verdergaande beleidsdoelen wordt er netto CO₂ vastgelegd (ongeveer 2 Mton CO₂). Ten opzichte van de andere scenario's wordt deze vastlegging grotendeels veroorzaakt door verbeterd bosbeheer, minder ontbossing, lagere uitstoot uit organische bodems en verbeterd bodembeheer met extra C-vastlegging in minerale bodems. Het verschil tussen de *Productiviteit strikter*- en *Natuurinclusief strikter*-scenario's wordt ook hier bepaald door het verschil in omgang met veenweide, waarbij emissies uit het *Natuurinclusief strikter*-scenario lager zijn.

De resultaten van deze analyse tonen dat het behalen van een netto vastlegging van 2 Mton CO₂ in de scenario's met striktere beleidsdoelen, zoals in paragraaf 2.3.1 is vastgesteld, haalbaar is. De uitkomsten van deze berekeningen zijn meegenomen in de optimalisatietool (paragraaf 2.5) om passende dieraantallen en landgebruik te berekenen binnen de milieugebruiksruimten en andere randvoorwaarden.

2.5 Optimalisatietool

2.5.1 Introductie

De basis van elk scenario bestaat uit de volgende drie elementen: (i) de omvang van de milieugebruiksruimte, d.w.z. de interpretatie van de beleidsdoelen (zie 2.3.1); (ii) het mitigatiepakket, d.w.z. de reeks maatregelen die kunnen worden geïmplementeerd om de negatieve gevolgen van landbouwactiviteiten op het milieu te verminderen (zie 2.4); en (iii) de (maximale) 'omvang' van elk van de economische activiteiten die de landbouwsector omvatten.

Wanneer activiteiten op de een of andere manier tegenstrijdig zijn, bijv. de economische waarde van een activiteit en de negatieve milieu-impact ervan zijn groter dan die welke voortvloeien uit een andere activiteit, is het bepalen van de omvang niet eenvoudig. Ook wanneer gelijktijdig meerdere milieumaatregelen worden overwogen die een samenspel van verschillende economische activiteiten raken en waarbij de maatregelen elkaar mogelijk overlappen, is het niet bij voorbaat duidelijk wat het netto-effect daarvan op de (meervoudige) milieugebruiksruimte en wat de optimale benutting van de milieugebruiksruimte is. In deze context wordt het concept van optimalisatie à la Tinbergen (1969) relevant, omdat het inzicht kan geven in de 'optimale' mix van beleidsmaatregelen en bijbehorende doelwaarden en in de resulterende samenstelling van de agrarische sector, d.w.z. de objectieve waarden die de daaropvolgende analyse zullen sturen. In het kader van dit project is daarom een lineaire beleidsoptimalisatietool in Excel ontwikkeld om te helpen de door te rekenen scenario's te definiëren.

Hoewel via de discussie met de begeleidingscommissie de basisideeën rond de invulling van de scenario's op een gegeven moment wel helder werden, gold dit niet voor de specifieke details. Dat had diverse oorzaken. Eén factor is dat het vormgeven van scenario's complex is omdat er verschillende milieubeperkingen zijn die gelijktijdig in acht moeten worden genomen, terwijl er overlap met betrekking tot de effecten (bijvoorbeeld op de productie) kan zijn en rekening moet worden gehouden met de verwachte emissiereductie als gevolg van de maatregelpakketten. Het voordeel van de beleidsoptimalisatietool was dat het handvaten bood om snel inzicht te krijgen waar de optimalisatieruimte zich bevond en zo ook het denken aan andere beleidsopties of nieuwe mogelijkheden stimuleerde. Met de relatief eenvoudig te hanteren beleidsoptimalisatietool kon steeds een aantal snelle eerste analyses gedaan worden om de effecten te traceren, alvorens daar in de grotere economische en biofysische modellen mee aan de slag te gaan. Een andere factor is dat de tool ruimte gaf om de scenario's te optimaliseren. Hierbij speelt ook mee dat bij het definiëren van scenario's al vaak impliciet bepaalde veronderstellingen worden gehanteerd over hoe de set aan beleidsdoelstellingen het best kan worden gerealiseerd. Echter, het kan niet worden uitgesloten dat er door enige *finetuning* een betere (lees meer kosteneffectieve) oplossing kan worden gekozen. Om dat laatste na te gaan, is de optimalisatietool ingezet. Met de optimalisatietool konden verschillende combinaties van beleidsdoelstellingen (bijv. milieubeperkingen) en de economische activiteiten met hun emissiebijdragen worden verkend, zodat interactief kon worden nagegaan of er nog *winst* mogelijk is zonder dat ingeleverd wordt op de beleidsdoelstellingen.

2.5.2 Toepassing van de optimalisatietool en gehanteerde randvoorwaarden

In de optimalisatietool worden de volgende economische activiteiten onderscheiden: (i) akkerbouw, met uitzondering van de productie van snijmais; (ii) (snij)maisland; (iii) grasland; (iv) biomassateelt (niet ingevuld in de studie); (v) bosbouw; (vi) veenweidegrond; (vii) melkveehouderij; (viii) vleesvarkens; (ix) zeugenhouderij; (x) vleeskuikens; (xi) het houden van legkippen; en (xii) overige (graas)dierhouderij. Deze activiteiten leggen claims op het landgebruik en gaan gepaard met emissies die belastend zijn voor milieu en klimaat. De activiteiten dragen bij aan de economie en de inkomensvorming van agrariërs.

De optimalisatietool omvat informatie over de activiteiten (economisch belang en emissiewaarden) en de milieubeperkingen voortvloeiend vanuit het beleid. Het model is in staat de optimale omvang van activiteiten te berekenen, die gegeven de beperkingen maximaal bijdraagt aan het realiseren van een doelfunctiewaarde. De tool laat diverse doelfuncties toe, maar in de scenario's is steeds gewerkt met

een economische doelfunctie (maximalisatie van brutomarge, een begrip dat dicht in de buurt komt van de toegevoegde waarde). De beperkingen die in beschouwing worden genomen, variëren per scenario (beperkingen bevatten vaak ook doelwaarden vanuit het beleid). Tabel 8 geeft een overzicht van de randvoorwaarden die in de optimalisatietool zijn opgenomen en – waar relevant – scenario-specifiek kunnen worden aangepast. Meer details kunnen worden afgeleid uit de beschrijving van het referentiescenario (zie paragraaf 2.2), de beschrijving van de milieugebruiksruimte (zie paragraaf 2.3.1) en de maatregelpakketten (zie paragraaf 2.4).

Tabel 8 Gehanteerde randvoorwaarden in de optimalisatietool.

Thema	Randvoorwaarden
Fosfaatexcretie	- De hoeveelheid P ₂ O ₅ die door landbouwhuisdieren wordt uitgescheiden, mag niet hoger zijn dan 172,9 kton
Stikstofexcretie	- De hoeveelheid stikstof die door landbouwhuisdieren wordt uitgescheiden, mag niet hoger zijn dan 504,4 miljoen kg
Dierlijk productie rechten	- Het aantal zeugen en mestvarkens mag niet meer bedragen dan de dierrechten (8,1 miljoen rechten) - Het aantal vleeskuikens en leghennen mag niet meer bedragen dan de hoeveelheid beschikbare dierrechten voor pluimvee (67,2 miljoen rechten) - Eventuele substitutie tussen dieren wordt gebaseerd op fosfaatexcreties per dier
Broeikasgasemissies	- De hoeveelheid broeikasgassen die door de landbouw wordt uitgestoten, moet beneden een bepaald plafond blijven. Dit plafond geldt voor het totaal van de methaan- en lachgasemissies en de netto LULUCF- emissie/vastlegging op landbouwgrond. Afhankelijk van het scenario is de plafondwaarde op 11 Mton CO ₂ -eq (voorgenomen beleidsdoelen) of 2 Mton CO ₂ -eq (strikttere beleidsdoelen) gezet
Ammoniakemissie	- De hoeveelheid ammoniak als gevolg van dierlijke productie, graslandgebruik en akkerbouw mag niet hoger zijn dan het aangegeven plafond (85 of 50 kton NH ₃)
Belasting oppervlaktewater	- De hoeveelheid fosfaat en stikstof die uit- en afspoelt naar het grond- en oppervlaktewater dient beneden een bepaald gekozen plafond te blijven
Landgebruik	- Het totale landgebruik kan niet meer zijn dan het beschikbare cultuurareaal (areaal is afhankelijk van scenario's en houdt rekening met autonome afname door vraag voor niet-agrarisch gebruik) - Er is sprake van een bepaalde mate van CO ₂ -vastlegging of -emissie gerelateerd aan specifieke land-gerelateerde activiteiten; omzetting van akkerland naar grasland leidt bijv. tot CO ₂ -vastlegging - Het areaal veengrond kan niet beneden een bepaald minimum komen, maar het maximale areaal kan wel variëren (afhankelijk van het scenario specifieke areaal dat uit landbouwproductie gaat) - Afhankelijk van het scenario is er een specifieke samenstelling van het melkveerantsoen, waarin een bepaalde hoeveelheid gras en mais is opgenomen dat lokaal (in Nederland) moet worden geproduceerd. Dit bepaalt het bijbehorende areaal gras- en maisland - Er bestaat de mogelijkheid om minimum- of maximumbeperkingen te introduceren die ervoor zorgen dat er een minimaal areaal aan akkerland of maximum areaal bos komt
Proportionaliteit	- Aanpassingen in aantal zeugen en mestvarkens zijn aan elkaar gerelateerd. - Aanpassingen in het aantal vleeskuikens en leghennen zijn aan elkaar gerelateerd - Veranderingen in de overige graasdieren zijn gerelateerd aan de veranderingen in het aantal melkkoeien - Om 'agressieve' substitutie tussen sectoren te beperken en/of om een gelijkmatige bijdrage van sectoren aan emissiereductie te bewerkstelligen, kunnen er proportionaliteitscriteria tussen dierlijke en/of plantaardige sectoren worden opgelegd. In de hoofresultaten wordt deze proportionaliteit opgelegd voor de gehele veestapel

Met de optimalisatietool wordt op basis van de reductiefactoren een eerste inschatting gemaakt van de broeikasgas- en ammoniakemissies en de N- en P-belasting naar oppervlaktewater. De uiteindelijke emissies voor de scenario's worden berekend met een gedetailleerd emissiemodel (INITIATOR), zie paragraaf 3.1. Deze berekende emissies kunnen afwijken van de uitkomsten van de optimalisatietool, aangezien het model rekening houdt met meer detail en interacties (bijv. hoeveelheid kunstmest versus stikstofbinding door klaver).

2.5.3 Invulling akkerbouwareaal

De uitkomst van de optimalisatietool geeft een totaalareaal akkerbouw. Echter voor het beoordelen van de milieukundige en economische effecten van de scenario's, is een meer gedetailleerdere invulling van het akkerbouwareaal nodig. Daarom is volgens onderstaande redeneerlijn een relatieve verdeling gemaakt van het akkerbouwareaal naar de volgende gewasgroepen: granen, aardappels, suikerbieten, vollegrondstuinbouw en akkerbouwmatige groenten, boomteelt en overig akkerbouwgewassen.

In het Basis 2050-pakket is dezelfde redeneerlijn gevolgd als in het referentiescenario: het areaal vollegrondstuinbouw en akkerbouwmatige groenten (inclusief uien) neemt met 25% toe ten opzichte van huidig. Het areaal boomteelt (boomkwekerij en fruit) en bloembollen blijft gelijk aan het huidige areaal. Alle overige gewassen (waaronder de grote gewasgroepen granen, suikerbieten en aardappelen) blijven in dezelfde onderlinge verhouding aanwezig in het bouwplan. Bij een afname van het resterende areaal akkerbouw daalt elk gewas evenredig in areaal en bij een toename stijgt elk gewas in dezelfde mate.

In het alles-uit-de-kast-pakket neemt het areaal vollegrondstuinbouw en akkerbouwmatige groenten (inclusief uien) ook met 25% toe ten opzichte van huidig. Eveneens blijft het areaal boomteelt (boomkwekerij en fruit) en bloembollen gelijk aan het huidige areaal. Voor het resterende areaal geldt dat er een verschuiving plaats gaat vinden van granen naar suikerbieten en aardappelen als invulling van de intensivering van het bouwplan.

Ook in het extensieve pakket neemt het areaal vollegrondstuinbouw en akkerbouwmatige groenten (inclusief uien) met 25% toe ten opzichte van huidig en blijft het areaal boomteelt (boomkwekerij en fruit) gelijk aan het huidige areaal. Bloembollen verdwijnen uit het bouwplan. Voor het resterende areaal geldt dat er een verschuiving plaats gaat vinden van aardappelen en suikerbieten naar granen en eventueel overige gewassen als vezelhennep en miscanthus als invulling van de extensivering van het bouwplan.

3 Methodiek beoordeling scenario's

In dit hoofdstuk worden de modellen en methoden besproken waarmee de effecten van de scenario's zijn doorgerekend en beoordeeld. Het betreft modellen om de milieu-impact van de scenario's te berekenen (paragraaf 3.1), modellen om de economische impact te berekenen (paragraaf 3.2) en beoordelingskaders voor kwalitatieve scores op een aantal overige indicatoren (verdienmodel, biodiversiteit, dierenwelzijn en weerbaarheid voor klimaatadaptatie) (paragraaf 3.3). Er wordt steeds eerst een beschrijving van het toegepaste model/raamwerk op hoofdlijnen gegeven en vervolgens een toelichting op de toepassing ervan in deze studie. De beschrijving van deze toepassing moet worden gezien als een aanvulling op de uitgangspunten die in hoofdstuk 2 al zijn geformuleerd.

3.1 Modellen milieu-impact

3.1.1 INITIATOR – algemene beschrijving

De emissies vanuit de landbouw van CH₄, N₂O en NH₃ naar de lucht en de uit- en afspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater zijn berekend op nationale schaal met het model INITIATOR (Integrated Nitrogen Impact Assessment Tool on a Regional Scale). Dit model simuleert onder andere de ruimtelijke verdeling van dierlijke en kunstmest en de daaruit resulterende emissies.

INITIATOR is een relatief eenvoudig en flexibel model dat alle belangrijke N- en P-fluxen op regionale schaal berekent, waaronder de aanvoer van N en P in de vorm van kunstmest, dierlijke mest en depositie en daarnaast nog N-binding, N- en P-opname door het gewas, emissie van stikstofgassen (te weten ammoniak (NH₃), lachgas (N₂O) en stikstofoxiden (NO_x)) naar de atmosfeer en uit- en afspoeling van nitraat, ammonium en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater. Daarnaast berekent het model ook de emissies van het broeikasgas methaan, de verandering in de voorraad aan bodemkoolstof en de bijbehorende emissie of vastlegging van CO₂ uit bodems en de accumulatie en uitspoeling van basen (verzuring) en zware metalen (lood, cadmium, koper en zink). Voor een uitgebreide beschrijving van INITIATOR wordt verwezen naar De Vries et al. (2003) en Kros et al. (2011). Het model wordt tevens gebruikt voor berekening van de mestverdeling ten behoeve van de nationale nutriëntenemissiemodellering en voor de ruimtelijke verdeling van de NH₃-emissie ten behoeve van de nationale berekeningen van de N-depositie (Kros et al., 2019).

De N- en P-excretie worden berekend door een vermenigvuldiging van het aantal dieren (in verschillende categorieën) met zogenoemde excretiefactoren, die aangeven hoeveel mest elk dier in een jaar produceert. Door aanpassing van deze factoren kan het effect van (voer)maatregelen worden gesimuleerd. De stal- en opslagemissies van gasvormige N-verliezen worden berekend door de N-excretie te vermenigvuldigen met N-emissiefractionen, waarbij rekening wordt gehouden met dier- en staltype. Een mestverdelingsmodule berekent vervolgens het transport van dierlijke mest op gemeenteniveau en de aanvoer van mest en kunstmest naar de bodem. Hierbij wordt rekening gehouden met de aanvoer van dierlijke mest (van het eigen bedrijf of via mesttransport) en kunstmest, wettelijke gebruiksnormen, het gewas en de bodemeigenschappen. De NH₃-emissie uit stallen en opslagen en vanuit de bodem vormt de input van het atmosferisch transportmodel voor de berekening van de N-depositie op zowel landbouwgronden als in Natura 2000-gebieden. Een bodemmodule berekent vervolgens wat er met de nutriënten gebeurt: accumulatie, opname, gasvormige emissies of uit- en afspoeling naar het watersysteem. Bij de berekening is een regionale differentiatie aangebracht door rekening te houden met verschillen in bodemgebruik, grondsoort en grondwaterstand, die bepalend zijn voor de optredende processen. Voor de P-modellering is voor P-sorptie gebruikgemaakt van een combinatie van een snelle en langzame pool met een bodemtype afhankelijke parametrisatie. Voor het berekenen van de gasvormige emissies (NH₃, N₂O en CH₄) is nauwgezet afgestemd op de in National Emission Model for Agriculture (NEMA) gehanteerde methodiek en data (Lagerwerf et al., 2019). De

resultaten van INITIATOR zijn waar nodig geschaald naar de NEMA-resultaten voor 2017, zodat de uitkomsten vergelijkbaar zijn met de officiële emissie-registratiecijfers.

Het model maakt gebruik van gedetailleerde ruimtelijke gegevens die grotendeels afkomstig zijn uit beschikbare nationale GIS-datasets, zoals de geografisch expliciete landbouwtellinggegevens, met het aantal dieren per vestiging (GIAB-plus; Van Os et al., 2016). Door deze koppeling kan het model op een hoge ruimtelijke resolutie de N- en P-excretie, stal- en opslagemissies, mest- en kunstmest-verdeling, bodememissie, uit- en afspoeling en N-depositie berekenen.

3.1.2 INITIATOR – toepassing in deze studie

Het model INITIATOR is in deze studie gebruikt om op nationale schaal de effecten van de scenario's op de landbouwemissies naar de lucht van NH₃, N₂O-emissie en CH₄ en de N- en P-belasting van grond- en oppervlaktewater vanuit de landbouw te berekenen. Dit is gedaan voor zowel de huidige situatie als voor de scenario's. Bij alle resultaten hebben we ons beperkt tot de emissies vanuit de sector landbouw. Dit betekent dat emissies van mest die binnen Nederland buiten de sector landbouw wordt afzet (natuurgebieden en particulieren) niet worden meegenomen. Wat NH₃-emissie betreft, gaat het hierbij om ca. 6 kton NH₃ (peiljaar 2017; van Bruggen et al. 2017).

Stap 1: Berekening uitgangssituatie

Het uitgangspunt van de INITIATOR-berekeningen betrof de situatie in 2017. Het gaat hierbij met name om de landgebruiks- en activiteitendata (zoals dieraantallen en excretiefactoren) en de wet- en regelgeving zoals die gold in 2017, en de bij behorende emissies.

Stap 2: Berekening referentiescenario 2050

Voor de berekening van milieueffecten voor het referentiescenario 2050 is uitgegaan van de ontwikkeling van dieraantallen, landgebruik en excretie zoals bepaald/gebruikt door het economische model AGMEMOD (paragraaf 2.2). Hierbij is in INITIATOR aangenomen dat er voor 2050 sprake is van 100% acceptatie (tot de gebruiksnorm) van dierlijke mest door de akkerbouw en er geen overbenutting van dierlijke mest plaatsvindt. Daarnaast is uitgegaan van de gebruiksnormen (incl. derogatie zoals verleend t/m 31 december 2019) en ammoniakemissie-eisen 2021, een autonome toename van de gewasopbrengsten in 2050 ten opzichte van de opbrengsten in 2017 (paragraaf 2.2) en het, indien nodig, toelaten van mestexport.

Stap 3: Doorrekenen scenario's

Voor de scenario's 2050 zijn de ingeschatte emissiereducties ten opzichte van 2017 (paragraaf 2.4) ingebracht in INITIATOR. Daarnaast zijn de voor de uitgangssituatie (2017) gehanteerde dieraantallen en arealen per scenario geschaald op basis van de dieraantallen en arealen die het resultaat waren van de optimalisatie (paragraaf 4.1). Verder geldt net als voor het referentiescenario, 100% acceptatie van dierlijke mest door de akkerbouw, geen overbenutting van dierlijke mest en het, indien nodig, exporteren of verwerken van het overschot aan mest.

3.2 Economische modellen

3.2.1 AGMEMOD – algemene beschrijving

AGMEMOD is het acroniem van 'AGricultural MEmber states MODelling' (<https://agmemod.eu/>). Het model werd ontwikkeld in 2001 door het AGMEMOD Partnership, een consortium van nationale universitaire instituten en onderzoeksbureaus uit EU-landen en potentiële toetredingslanden (Chantreuil et al., 2011). Het is een dynamisch-economisch partieel evenwichtsmodel dat alle sleutelmarkten voor agrarische producten en alle EU-lidstaten omvat. Het model omvat een multi-markt evenwichtssysteem dat evenwichtsprijzen en hoeveelheden oplost (zie ook Leeuwen et al., 2008 voor een meer technische beschrijving). Het model verschaft details over de belangrijkste landbouwsectoren in elke EU-lidstaat. Elke landenmodule bevat de gedragsreacties van economische actoren op prijsveranderingen, beleidsinstrumenten en andere exogene variabelen op de

landbouwmarkt. De meeste (gedrags) vergelijkingen zijn econometrisch geschat, wat maakt dat het model een stevige empirische basis heeft.

In het AGMEMOD-model wordt een bottom-up-benadering gebruikt om de verschillende landenmodellen te integreren. Voor elk product of gewas in elk land worden zowel de landbouwproductie als het aanbod, de vraag, de handel, de voorraden en de binnenlandse prijzen afgeleid van econometrisch geschatte vergelijkingen. Aan de productbalansen op landniveau worden consistentie-eisen opgelegd, zodat wat wordt geproduceerd en wordt geconsumeerd of in voorraden wordt vastgelegd, uiteindelijk altijd moet kloppen. Eén element van de balans tussen vraag en aanbod voor elke grondstof wordt gebruikt als een sluitingsvariabele om het saldo consistent te maken. De projecties van AGMEMOD bieden een interessante combinatie van econometrische resultaten en expertkennis. Met andere woorden, de projecties van de modelleringsystemen worden gevalideerd door standaard econometrische methoden en door overleg met experts die bekend zijn met de landbouwmarkten in de onderzochte regio's. Het AGMEMOD-model levert output voor de volgende agrarische producten: (i) granen (zachte tarwe, harde tarwe, gerst, mais, rogge, andere granen); (ii) oliehoudende zaden (raapzaad, zonnebloemzaad, sojabonen, katoenzaden, plantaardige oliën en maaltijden); (iii) vee en vlees (rundvlees, varkensvlees, pluimvee, schapen en geiten); (iv) melk en zuivelproducten (boter, magere melkpoeder en kaas); (v) sector groenten en fruit (tomaten, sinaasappels, appels, olijfolie); (vi) industriële gewassen (suikerbieten, tabak en katoen) en aardappelen; en (vii) bio-ethanol (uit granen) en biodiesel (uit oliehoudende zaden).

Het AGMEMOD-model wordt elk jaar ingezet voor Market Outlook studies. Als gevolg hiervan is het een van de meest up-to-date modellen rond EU-landbouwmarkten in Europa. Rond AGMEMOD is een EU-breed netwerk van markt experts ontstaan, die worden geraadpleegd om projecties te beoordelen en/of de modelresultaten te 'corrigeren' voor factoren die wel relevant zijn, maar niet gemakkelijk door een model kunnen worden meegenomen, omdat modellen van nature meer op de structurele/systematische factoren focussen (*fundamentals*). De bijdrage van de experts betreft meer de inschatting van de impact van incidentele factoren, zoals specifieke weersomstandigheden en de rol van ziekten (*incidentals*).

3.2.2 AGMEMOD – toepassing in deze studie

Het uitgangspunt van de berekeningen in deze scenariostudie betrof de market outlook referentie voor de periode 2018-2030, gebaseerd op de medium term outlook (MTO) van de Europese Commissie (december 2018). Deze outlook is verlengd tot 2050, waarbij voor de periode 2030-2050 de trends zijn doorgetrokken, gebruikmakend van extra informatie over de klimaatscenario's van het IPCC (SSP2). De macro-economische assumpties zijn eveneens trendmatig doorgetrokken. Wat betreft sectoren is dezelfde indeling gebruikt als die hierboven bij INITIATOR is genoemd (veehouderijbedrijven, akkerbouwbedrijven, melkvee, vleesvarkens, zeugen, vleeskuikens, leghennen en overig vee). Omdat het onduidelijk is in welke mate en hoe het beleid de transities zoals deze in de scenario's zijn weergegeven zal faciliteren, is dit open gelaten. Op het moment van deze studie is er een hervorming van het gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB) gaande, waarin de ambitie is uitgesproken om dit beleid verder te vergroenen. De informatie ontbreekt echter om tot een inschatting te komen hoe het toekomstige landbouwbeleid er (anders) uit zal gaan zien. Gegeven dat aanpassingen in het landbouwbeleid vaak in kleine stapjes verlopen, is de gemaakte veronderstelling de best verdedigbare keuze. Bij toepassing van het model in deze studie zijn op hoofdlijnen de volgende stappen doorlopen:

Stap 1: Berekening Referentie 2050

Op basis van de economische ontwikkelingen, inclusief prijsvorming en export-/importmogelijkheden op de wereldmarkt. De uitgangspunten voor de referentie zijn beschreven in paragraaf 2.2. De voor Nederland resulterende producties in de referentie zijn derhalve gebaseerd op de uitgangspunten over autonome ontwikkelingen, wetgeving en productiviteit zoals in paragraaf 2.2 beschreven. De exacte bijbehorende dieraantallen en arealen per gewas worden 'doorgegeven' aan het INITIATOR-model om de milieueffecten te berekenen voor de referentie.

Stap 2: Doorrekenen scenario's

Voor de scenario's is de output van de optimalisatietool (dieraantallen en gewasarealen) gebruikt als invoer voor het AGMEMOD-model. Ook de scenario-specifieke uitgangspunten ten aanzien van productiviteit (dieren en gewassen) zoals beschreven in paragraaf 2.4 zijn in AGMEMOD ingebouwd. Op basis hiervan zijn prijzen-, productie- en consumptievolumes gesimuleerd. Afgeleid daarvan volgt ook de impact op de internationale handel (import, export) op het niveau van Nederland alsook op EU-niveau.

Stap 3: Indicatoren berekenen

De met AGMEMOD berekende producties en dieraantallen (die consistent zijn met die welke in INITIATOR worden gebruikt) worden gebruikt om een aantal economische indicatoren mee te berekenen, zoals zelfvoorzieningsgraden, productiewaarde en dergelijke. Zie paragraaf 3.4.2 voor een nadere beschrijving van de gehanteerde indicatoren in deze studie.

Stap 4: Informatie doorleveren aan input-outputmodel

De output van stap 4 is vervolgens 'doorgegeven' aan het input-outputmodel, waarmee de impact op de toeleverende en verwerkende industrie (inclusief andere sectoren in de economie) is berekend.

3.2.3 Input-outputtool – algemene beschrijving

De berekening van de toegevoegde waarde en werkgelegenheid van de agro-complexen gebeurt op basis van input-outputtabellen⁹ van het CBS (CBS, 2018) die door Wageningen Economic Research zijn bewerkt tot agrarische input-outputtabellen (Verhoog, 2016). Een input-outputtabel (IO) geeft in één matrix een overzicht van de herkomst van de input en van de bestemming van de output voor alle sectoren van een economie. IO-modellen zijn gebaseerd op uitvoerige data over de economie (op sectorniveau, met een gedesaggreerde weergave voor de gebruikte productiefactoren (arbeid, grond, kapitaal) en productiemiddelen ('interne leveringen' tussen sectoren). Op basis van de input-outputtabel kunnen analyses worden uitgevoerd om samenhangen tussen sectoren te kwantificeren. De agrarische input-outputtabellen bevatten met name voor de primaire land- en tuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie meer detailinformatie dan de oorspronkelijke CBS-tabellen. Vanwege de heterogene activiteiten binnen het agrocomplex is een splitsing gemaakt naar deelcomplexen. Deze deelcomplexen zijn verbonden met een bepaalde agrarische productierichting.

Naast de primaire agrarische sector vormt ook de, daarmee verbonden, voedingsmiddelenindustrie een belangrijk onderdeel van het agrocomplex. De toeleverende en dienstverlenende bedrijfstakken – voor zover zij direct en indirect leveren aan de primaire land- en tuinbouw en aan de voedingsmiddelenindustrie – vormen een ander onderdeel van de agrarische productiekolom. Hiertoe behoren bijvoorbeeld niet alleen de veevoerfabrikanten, kassenbouwers en dierenartsen, maar ook de verpakkingsindustrie. Het agrocomplex omvat ook de handels- en transportactiviteiten die samenhangen met de productie en verwerking van agrarische producten. Hieronder valt het vervoer van agrarische eindproducten naar de binnenlandse consumenten en export.

3.2.4 Input-outputtool – toepassing in deze studie

Als zodanig zijn IO-analyses het informatiefst voor de korte termijn, omdat dan de structuurverandering in de economie beperkt zal zijn en de IO-coëfficiënten corresponderend met de data (van het recentste jaar) dan nog niet of weinig zullen zijn veranderd. In deze studie wordt met veel langere perioden gewerkt dan een paar jaar (tot 2050). De veronderstelling van beperkte structuurverandering kan over zo'n periode – die wel dertig jaar beslaat – niet worden hard gemaakt. In de IO-analyse voor deze studie is daarom een equivalentie-veronderstelling gemaakt. De gerelateerde effecten voor de rest van de economie (toeleverende en verwerkende industrie) worden berekend, veronderstellend dat de economische structuur er in 2050 hetzelfde uit zal zien als die van

⁹ Input-output (IO) analyse is een vorm van macro-economische analyse op basis van de onderlinge afhankelijkheden tussen economische sectoren of industrieën. Deze, door de Amerikaanse Nobelprijswinnaar Leontief ontwikkelde, methode wordt vaak gebruikt voor het schatten van de effecten van positieve of negatieve economische schokken en voor het analyseren van de doorwerkingseffecten van een schok die in een specifieke sector optreedt naar de rest van de economie. Het IO-model is gebruikt om de effecten van het klimaatbeleid in de landbouw op gerelateerde factoren in beeld te brengen.

vandaag. Of anders gezegd: de berekende resultaten geven een indicatie van wat de gerelateerde effecten voor de rest van de economie zouden zijn als het beleid vandaag in één keer zou worden doorgevoerd. Dit is een heroïsche veronderstelling die werd gemaakt omdat het alternatief (nagaan hoe de structuur van de economie er over dertig jaar uit zou zien) nog veel meer veronderstellingen zou vergen en de projectomvang te boven zou gaan.

Gegeven de te maken veronderstellingen moeten de met de IO-tool berekende resultaten als indicatief worden gezien. Ze sluiten aan bij de denkwereld van vandaag en geven de lezer een idee van de orde van grootte die de gerelateerde effecten zouden kunnen hebben. Bovendien zal in de analyse meer naar de verschillen tussen scenario's worden gekeken dan dat er aan de absolute hoogten van bedragen wordt gerefereerd.

In de analyse is gebruikgemaakt van het IO-model zoals dat bij Wageningen Economic Research beschikbaar is. Bij dit model wordt met betrekking tot de landbouw een onderscheid gemaakt in zogenaamde agro-complexen. Een agrocomplex wordt gevormd door de (belangrijkste) aan een primaire sector (bijvoorbeeld de melkveehouderij) verbonden toeleverende, logistieke en verwerkende activiteiten. In dit geval is de agrocomplexbenadering ook gebruikt. Waar dit nodig was (ofwel voor zover dat al niet in het model zelf al werd bepaald), is de veronderstelling gemaakt dat de primaire sector en het bijbehorende agrocomplex op dezelfde (proportionele) manier werden beïnvloed (als de melkproductie met 10% daalt, is aangenomen dat ook de melkverwerking door de zuivelindustrie met 10% daalt).

3.3 Kwalitatieve beoordeling overige effecten

3.3.1 Aanpak op hoofdlijnen

De scenario's laten zien dat er grote veranderingen kunnen optreden in landbouw en landgebruik, de grootte van de veestapel kan variëren en dat de verhouding tussen akkerbouw en veehouderij kan veranderen. Dat is allemaal uit te rekenen, zij het met de nodige onzekerheidsmarges. Sommige effecten van de gekozen scenario's zijn lastig kwantitatief uit te drukken, omdat bepalende uitgangspunten niet kunnen worden vastgesteld. Een nauwkeurige en kwantitatieve berekening van de effecten op het verdienmodel vergt veel aannames, bijvoorbeeld over de inzet van beleidsinstrumenten, terwijl de onzekerheid erg groot is. In andere gevallen zijn effecten lastig kwantitatief uit te drukken, zoals bij biodiversiteit, dierenwelzijn en weerbaarheid tegen klimaatverandering.

Voor deze onderdelen (verdienmodel, dierenwelzijn, biodiversiteit en weerbaarheid) is daarom een andere werkwijze gekozen. De effecten worden kwalitatief benaderd door a) gebruik te maken van een beoordeling door experts; b) een conceptueel denkkader te gebruiken dat in het vakgebied algemeen aanvaard is en breed wordt toegepast; c) de effecten te beoordelen aan de hand van een zogeheten 5- of 7-punts Likertschaal; d) de beoordeling is gemaakt ten opzichte van het referentiescenario; e) de beoordeling wordt alleen gemaakt voor de verschillen in scenario's zoals expliciet aangegeven in de scenariobeschrijving in dit rapport; uitgangspunt is dat landbouwsystemen wat betreft andere praktijken (bijv. t.a.v. diergezondheidszorg, speelmateriaal voor dieren etc.) vergelijkbaar zijn.

De beoordeling door experts is steeds begeleid door een van de leden van het projectteam. De experts kregen schriftelijke informatie over de uitgangspunten en resultaten van de scenariostudie en konden toelichtende vragen stellen aan de leden van het projectteam tijdens de beoordelingsessies. De resultaten van de kwalitatieve beoordeling zijn in tabelvorm weergegeven in paragraaf 4.5. Als achtergrondinformatie wordt per beoordeling een kort schriftelijk verslag gemaakt dat als bijlage in het rapport komt.

Voor de verschillende onderwerpen zijn steeds conceptuele denkkaders gebruikt die breed worden gebruikt. Deze zullen hieronder worden toegelicht.

3.3.2 Conceptuele kaders per onderdeel

Verdienmodel

Voor verdienmodel wordt per sector (melkveehouderij, pluimveehouderij, varkenshouderij, akkerbouw) een inschatting gemaakt van de verwachte verschillen in kosten en opbrengsten tussen scenario's:

1. Verwachte veranderingen in productiekosten:
 - A. Kosten voor grond
 - B. Kosten voor mestafzet
 - C. Directe kosten, waaronder kosten voor externe grondstoffen (energie, aangekocht voer, zaaizaad, gewasbescherming en kunstmeststoffen) en diergebonden kosten (dierenarts, veeverbetering)
 - D. Kosten voor gebouwen
 - E. Bewerkingskosten: arbeid, loonwerk, machines
2. Verwachte veranderingen in opbrengsten:
 - A. Verandering opbrengstprijis als gevolg van verandering verhouding vraag en aanbod
 - B. Hogere opbrengstprijis door meerwaarde uit de markt
 - C. Hogere opbrengsten uit overheidssubsidies of andere diensten

Algemene kosten, zoals adviserings- en accountantskosten en vermogenskosten (kosten voor eigen en vreemd vermogen) worden verondersteld niet te verschillen tussen de scenario's. Kosten voor productierechten zijn niet in beschouwing genomen, omdat in de scenario's vanwege de lange tijdschhorizon niet duidelijk kan worden gedefinieerd hoe die productierechten eruitzien. In de praktijk blijkt vaak dat er ten aanzien van kosten voor productierechten vaak sprake is van het principe van communicerende vaten: als andere kostenposten stijgen, dalen de productierechten en vice versa.

Bij de inschatting van mogelijke extra opbrengsten (2A en 2B) gaat het om het inschatten of en in welke mate een bepaald scenario aanknopingspunten biedt voor hogere opbrengsten. Of dit ook daadwerkelijk gebeurt, hangt af van de sturingsinstrumenten die daarvoor zullen worden ingezet door overheden en/of bedrijfsleven. Ook dat kon binnen de afbakening van deze studie niet concreet worden gemaakt.

Biodiversiteit

Voor biodiversiteit is gekozen voor het conceptueel kader voor biodiversiteit in de melkveehouderij van Erisman et al. (2017). Dat wordt toegepast op melkveehouderij, akkerbouw en de overige vormen van grondgebruik. Dat kader kent de volgende indeling:

- Functionele agrobiodiversiteit (bodemkwaliteit, mineralenkringlopen en gewassen)
- Landschappelijke diversiteit (landschapselementen, ook ten behoeve van functionele agrobiodiversiteit)
- Brongebieden en verbindingszones (maatregelen op landschapsschaal)
- Specifieke soorten (aanvullende maatregelen voor behoud en bevordering)

In de scenariostudie wordt vooral gekeken naar veranderingen op bedrijfsniveau en minder op landschapsniveau. Veranderingen in landgebruik zullen mogelijk sterkere effecten hebben op landschapsniveau dan de gekozen landbouwscenario's (productiviteit en natuurinclusieve). De uiteindelijke score per scenario is daarom uitgevoerd voor agrobiodiversiteit en landschap en soortenbiodiversiteit.

De onderstaande definities zijn gehanteerd:

- Agrobiodiversiteit: de onder- en bovengrondse flora en fauna op landbouwbedrijven die ondersteunend zijn aan de agrarische productie door bij te dragen aan vertering van organische stof (natuurlijke bodemvruchtbaarheid), watervoorziening en -zuivering, een goede bodemstructuur, bestrijding van ziekten en plagen en bestuiving van gewassen (Van Doorn et al., 2016). De genetische agrobiodiversiteit van landbouwhuisdieren wordt daarbij buiten beschouwing gelaten.
- Landschap en soortenbiodiversiteit: de aanwezigheid van landschapselementen als groenblauwe infrastructuur op het bedrijf en de instandhouding van bij het boerenlandschap behorende flora en fauna. De landschapselementen zijn een belangrijke drager voor zowel de agrobiodiversiteit als de soortenbiodiversiteit.

Dierenwelzijn

Mogelijke implicaties van de aangegeven verschillen tussen scenario's voor het welzijn van melkvee, varkens en pluimvee zijn tentatief ingeschat door drie dierenwelzijnsexperts werkzaam bij Wageningen Livestock Research. Als denkrichting voor het inschatten van het welzijn van dieren is de werkdefinitie van de Raad voor Dierenaangelegenheden gebruikt (RDA, 2018¹⁰; gebaseerd op Bracke 1999; 2001):

- Dierenwelzijn is de kwaliteit van leven zoals deze door het dier zelf wordt ervaren.
- Een dier ervaart een positieve staat van welzijn indien het de vrijheid heeft om normale, soorteigen gedragspatronen uit te voeren en het in staat is om adequaat te reageren op de uitdagingen die de heersende omstandigheden bieden.

De staat van welzijn zoals deze onder invloed van de geschetste toekomstscenario's zal veranderen, wordt enerzijds beïnvloed doordat de dieren als gevolg van fokkerij veranderen (dierkenmerken) en anderzijds door veranderende veehouderijomstandigheden (zoals huisvesting, voeding, management en gezondheidszorg).

De dierenwelzijnsexperts hebben de volgende aanpak gehanteerd:

- Vanwege de insteek van de onderliggende studie (emissiereductie) is bij de invulling van de scenario's vaak geen onderscheid gemaakt naar aspecten die voor het welzijn van dieren relevant zijn. Dat maakte het lastig om op basis van de beperkte gegevens een zorgvuldige schatting van dierenwelzijn te maken. Bij de evaluatie van de gevolgen voor het welzijn van dieren hebben experts zich daarom uitsluitend geconcentreerd op verschillen die expliciet omschreven staan in de scenario- en maatregelbeschrijving (zie Bijlage 1) en waarvan experts verwachtten dat deze het welzijn van varkens, koeien of kippen positief dan wel negatief zouden kunnen beïnvloeden ten opzichte van het referentiescenario. Voor andere aspecten (bijv. huisvesting en diermanagement) is aangenomen dat deze gelijk zijn in de gespecificeerde scenario's.
- Deze positieve of negatieve invloed is beschreven en samengevat in een 5-puntsscore voor implicaties voor het welzijn van varkens, koeien en kippen als gevolg van veranderingen in stallen, weidegang en uitloop, dieren en productiviteit, en rantsoenen. De scores zijn gebaseerd op een inschatting van de welzijnsexpert en niet op een wetenschappelijke deskstudy.
- Bij deze inschatting door experts ligt een grote mate van onzekerheid voor de hand, omdat individuele veehouders een eigen invulling geven aan tal van relevante aspecten die het welzijn van dieren beïnvloeden, als onderdeel van fokkerij, management, voeding, gezondheidszorg en huisvesting. Daarnaast is er sprake van interacties tussen deze factoren die op het niveau van het individuele dier verschillend kunnen uitpakken.
- Bij de beoordeling van het welzijn van dieren speelt, naast biologische feiten, de voortschrijdende ontwikkeling in maatschappelijke perceptie over het houden van dieren een rol. Binnen het bestek van de opdracht was er geen ruimte om hier een verantwoorde onderbouwing aan te geven, onder meer omdat de maatschappelijke perceptie sterk onderhevig is aan verandering in de tijd (normen in 2050 zullen waarschijnlijk anders zijn dan nu).

Weerbaarheid tegen klimaatverandering

Naast de emissiedoelen gericht op het vermijden van onbeheersbare klimaatverandering is het aanpassen aan het veranderende klimaat noodzakelijk. Klimaatverandering zal alle regio's van de wereld en alle delen van de maatschappij raken. De effecten zullen ook verschillend zijn per regio en systeem. Door de verschillen in gevolgen kunnen er ook kansen ontstaan dankzij klimaatverandering.

In deze studie is de vraag of de voorgestelde mitigatiemaatregelen het adaptieve vermogen of de weerbaarheid van de landbouwsector zal vergroten dan wel verkleinen. Uitgangspunt is de Nationale Adaptatie Strategie (NAS)¹¹, waarin de effecten van klimaatverandering worden uitgewerkt voor de belangrijkste klimaattrends, namelijk 1) het wordt warmer, 2) het wordt natter, 3) het wordt droger en 4) de zeespiegel stijgt.

Naast deze directe klimaateffecten op de landbouw zijn er ook indirecte effecten die relevant zijn voor de landbouw, zoals veranderingen in het voorkomen en de intensiteit van ziekten en plagen, extreem weer zoals hoosbuien, hittegolven, hagel en verzilting als gevolg van zeespiegelstijging en

¹⁰ <https://www.rda.nl/publicaties/zienswijzen/2018/10/01/rda-zienswijze-dierproeven-ten-behoeve-van-de-veehouderij>

¹¹ <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/overheden/nas/>

verminderde rivierwaterafvoer tijdens de drogere zomers. Tussen de verschillende scenario's tot 2050 zal er geen significant verschil in de richting en orde van grootte van klimaatverandering zijn. Daarom wordt er niet specifiek gekeken naar de relatie tussen de scenario's en adaptatieopgave zelf.

In deze evaluatie wordt gekeken of de mitigatiemaatregelen, op hoofdlijnen positief, neutraal of negatief uitwerken op de adaptatie opgave, gegeven de directe en indirecte klimaateffecten in Nederland. De inschatting richt zich op twee zaken: 1) het effect van de mitigatiemaatregel op de drie adaptatieopgaven en 2) het effect van de mitigatiemaatregel op de financiële weerbaarheid van de ondernemer. Het is dus belangrijk te kijken naar mogelijke beperkingen of problemen die kunnen ontstaan bij de implementatie van de maatregel waardoor de weerbaarheid afneemt, maar ook naar de kosten en daarmee de consequenties voor de financiële weerbaarheid om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen. Er wordt niet ingegaan op verschillen in de mate van temperatuurstijging of veranderingen in hoeveelheid neerslag, waar nodig zullen regionale verschillen worden benoemd. Het is ook niet gericht op het formuleren van de adaptatieopgave.

Om de scenario's te kunnen scoren is eerst een inschatting gemaakt van de effecten op het adaptief vermogen voor onderstaande maatregel categorieën:

- A. Dierlijke productie
 - Stallen
 - Weidegang en uitloop
 - Dieren en productiviteit
- B. Gras en akkerland
 - Bemesting
 - Bodembewerking
- C. Landgebruik
 - Emissies en emissievermindering uit organische bodems

In de dierlijke productie categorie is rantsoen niet meegenomen, omdat dit een combinatie is van verschillende stromen die op het bedrijf samenkomen, waarbij adaptatie op het bedrijf en productie van het voer buiten het bedrijf niet logisch te combineren zijn. De ruimtelijke mitigatiemaatregel 'Emissies/vastlegging door overig landgebruik' is niet meegenomen, omdat deze buiten de scope van de landbouw valt en de details ontbreken om de effecten op een ruimtelijke adaptatiestrategie te analyseren. In het algemeen kan wel gesteld worden dat, afhankelijk van de wettelijke inkadering, landgebruik-veranderingen een langetermijnoptie zijn en daarmee ook de flexibiliteit van de ruimtelijk planning, na toekenning en implementatie van een gebiedsfunctie, afneemt.

Via expert judgement worden de effecten van de maatregelen op het adaptief vermogen via een 5-punts Likertschaal beoordeeld. Het scoren is uitgevoerd door en besproken in het projectteam. Voor de verschillende klimaatimpacts en de financiële weerbaarheid is per mitigatiemaatregel een inschatting gemaakt van de impact van de mitigatiemaatregel op de adaptatieopgave. Waarbij een of meerdere duimen naar beneden een negatief effect duiden, en duimen naar boven een positief effect.

3.4 Overzicht indicatoren

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de indicatoren waarover in hoofdstuk 4 per scenario wordt gerapporteerd en welke ook in de factsheets behorende bij dit rapport worden opgenomen. Per indicator wordt een korte, nadere toelichting gegeven ten aanzien van interpretatie en berekeningswijze. Naast de milieu- en economische indicatoren is ook een aantal niet kwantitatieve indicatoren opgenomen, waaronder verdienmodel, biodiversiteit, dierenwelzijn en weerbaarheid tegen klimaatverandering. De effecten op deze kwalitatieve indicatoren worden beoordeeld aan de hand van een 5- of 7-punts Likertschaal.

3.4.1 Milieu-indicatoren

De kwantitatieve milieu-indicatoren die in deze studie worden meegenomen, zijn broeikasgasemissies (onderscheid binnen en buiten Nederland), ammoniakemissies en uit- en afspoeling van fosfaat en

stikstof naar grond- en oppervlaktewater. Daarnaast is ook de indicator N- en P-balans opgenomen, die inzicht geeft in de N- en P-kringlopen en de mate van sluiting op nationale schaal. De meeste milieu-indicatoren worden berekend met het INITIATOR-model. Een overzicht van de indicatoren staat in Tabel 9.

Tabel 9 Overzicht en toelichting van milieu-indicatoren die in deze studie worden gepresenteerd.

Indicator	Eenheid	Nadere toelichting interpretatie en berekeningswijze
Broeikasgasemissie in Nederland	Mton CO ₂ -eq	De broeikasgasemissies CH ₄ , N ₂ O en CO ₂ uit de landbouw in 2050 worden voor ieder scenario berekend met het model INITIATOR. Tevens berekent het op basis van de optimalisatietool de verandering in de voorraad aan bodemkoolstof.
Broeikasgasemissie buiten Nederland	Mton CO ₂ -eq	AGMEMOD berekent ook of er door de scenario's een verschuiving van landbouwproductie plaatsvindt voor de EU-landen en buiten de EU. Op basis van deze resultaten kan een inschatting worden gemaakt van de impact op broeikasgassen buiten Nederland. Dit zal een analyse op hoofdlijnen zijn, aangezien een gedetailleerde berekening buiten de reikwijdte van het project valt.
Ammoniakemissie	kton NH ₃	De ammoniakemissie uit de landbouw wordt voor ieder scenario in 2050 op nationale schaal berekend met het model INITIATOR. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen NH ₃ -emissies uit stallen en de emissies als gevolg van mesttoediening, beweiding en gewasrijping.
N- en P-belasting grond- en oppervlaktewater	kton N en P	De N- en P-uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater worden op nationale schaal bepaald met het model INITIATOR. N- en P-fluxen worden gebaseerd op de aanvoer van N en P in de vorm van kunstmest, dierlijke mest, depositie, N-binding, N- en P-opname door het gewas en emissies van stikstofgassen. N- en P-excretie worden berekend aan de hand van dieraantallen en zogenaamde excretiefactoren.
N- en P-balans	kton N en P	Op basis van de INITIATOR-resultaten en enkele aanvullende berekeningen worden de N- en P-balans voor de Nederlandse landbouw inzichtelijk gemaakt. Hierin zijn de volgende posten opgenomen: <ul style="list-style-type: none"> - Aanvoer: kunstmest, mengvoer EU, mengvoer buiten EU, N-fixatie en N-depositie - Afvoer: dierlijke producten, plantaardige producten, mestexport en verliezen naar lucht en water

3.4.2 Economische indicatoren

De economische indicatoren die in het onderzoek worden gebruikt, kunnen worden onderverdeeld in een drietal niveaus: i) nationaal, ii) sectoraal, iii) indirecte effecten en iv) bedrijfsniveau.

Met betrekking tot het nationale niveau is de bijdrage van de landbouw aan het bruto nationaal product een belangrijke indicator. Het gaat daarbij in essentie om de toegevoegde waarde. In plaats van met de toegevoegde waarde wordt ook met de bruto productiemarge-indicator gewerkt (gelijk aan opbrengsten minus de variabele (non-factor) kosten).¹² In de uitgangssituatie (2050) is de bruto productiemarge van het totaal aan geanalyseerde activiteiten circa 6 miljard euro.

Wat betreft het sectorale niveau gaat het om de impact van de scenario's op markten, ofwel op aanbod, vraag of binnenlands verbruik en de import en export (zowel in volume als waarde) van

¹² De bruto-productiemarge zoals gebruikt in deze studie is een benadering van de opbrengsten minus de belangrijkste variabele kosten, waarvan het plausibel is dat deze ook in de toekomst op eenzelfde manier een rol zullen spelen. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om de kosten samenhangend met aangekocht krachtvoer in de dierlijke sectoren. Dieren die worden gehouden zullen eten en het geconsumeerde veevoer is in veehouderijsectoren een belangrijke kostenfactor. Voor andere (minder belangrijke) kostenfactoren (bijvoorbeeld energie, kosten voor diergezondheid) is een inschatting van hoe deze er in 2050 uit zullen zien veel lastiger en waarschijnlijk meer scenario-specifiek.

landbouwproducten. Er bestaat een directe samenhang tussen de handelspositie en de zogenaamde zelfvoorzieningsgraad-indicator (gedefinieerd als de ratio van binnenlandse productie en binnenlandse consumptie). Als de zelfvoorzieningsgraad meer dan 100 procent is, is er sprake van een netto exportpositie. De focus ligt bij de sectorale indicatoren op de primaire landbouw, eventueel rekening houdend met een eerste verwerking als het gaat om aan bederf onderhevige producten zoals zuivel.

De indirecte effecten betreffen aan de landbouw gerelateerde activiteiten. Daarbij kan worden gedacht aan de toeleverende en verwerkende industrie, maar ook aan verdere stadia van de keten, zoals distributie, logistiek en retail. Maatregelen die de landbouwproductie beïnvloeden, hebben ook een impact op de met de landbouw samenhangende activiteiten. Dit wordt in beeld gebracht met behulp van twee typen indicatoren: a) de met de landbouwactiviteiten samenhangende toegevoegde waarde (= effect op het nationaal inkomen), en b) de met de landbouwactiviteiten samenhangende werkgelegenheid (in voltijds arbeidsjaren).

Tabel 10 Overzicht en toelichting van economische indicatoren die in deze studie worden gepresenteerd.

Thema/indicatoren	Eenheid	Nadere toelichting interpretatie en berekeningswijze
Nationaal		
– Bruto productie-marge BP landbouw	Miljard euro	Bruto-productiemarge is proxy variabele voor toegevoegde waarde; geeft effect op nationaal inkomen.
Sectoraal		
– Productievolume	1000 ton	Indicatoren op productniveau; informatie wordt gebruikt om overzicht te geven van markt-effecten en effecten op internationale handel; Afgeleide indicator is de zelfvoorzieningsgraad (= productie/binnenlands verbruik*100%) die het spiegelbeeld vormt van de netto handelspositie.
– Zelfvoorzieningsgraad	%	
Indirecte effecten		
– Toegevoegde waarde	€/sector of complex Arbeidsjaren (FTE)	Samenhangende activiteiten gebaseerd op agro-complex benadering. Indicatoren worden berekend met Input-Outputmodel (belangrijk is dat daarbij de <i>equivalence</i> -assumptie wordt gehanteerd, waardoor de resultaten indicatief van aard zijn). Om die reden zal de weergave van de resultaten worden toegespitst op de procentuele veranderingen in deze indicatoren en niet op absolute bedragen of aantallen arbeidsplaatsen.
– Werkgelegenheid		
Bedrijfsniveau		
– Verdienmodel	Kwalitatief	De gevolgen van de scenario's voor het verdienmodel voor primaire ondernemers zijn kwalitatief ingeschat met behulp van experts (expert-evaluatie) en zijn indicatief van aard.

De effecten op bedrijfsniveau gaan over de mogelijke impact op de agrarische bedrijven. Via de effecten op de werkgelegenheid (zie hierboven) wordt er ook een werkgelegenheidseffect voor de landbouw (per bedrijfstak berekend). Rekening houdend met een (vast) aandeel van de bedrijfshoofden in de totale arbeidsinzet in de landbouw kan er een indicatieve inschatting worden gemaakt van het effect van een scenario op het aantal bedrijven (relatief ten opzichte van het referentiescenario). Omdat de toekomstige bedrijfsstructuur onbekend is, kan een dergelijke doorvertaling slechts zeer indicatief zijn voor de inschatting van het aantal bedrijven in de sectoren. De verschillende scenario's leiden ook tot veranderingen in kosten (investeringen) en opbrengsten en raken daarmee het verdienmodel of verdienvermogen van de sectoren. De onzekerheden, zowel met betrekking tot kosten, opbrengsten, de bedrijfsstructuur en de rol van het landbouwbeleid maken het onmogelijk dit effect te kwantificeren. De impacts worden daarom op een kwalitatieve manier bepaald met behulp van expertsessies.

4 Resultaten en discussie

4.1 Scenario beschrijvingen op hoofdlijnen

De beschrijvingen van de scenario's (verhaallijnen) geven een beeld van de gestelde doelen, de ontwikkelrichting van de landbouw en de maatregelen en het landgebruik dat nodig is om de milieudoelen te halen. Het gaat om scenario's waarin wordt verondersteld dat alle landbouwbedrijven in Nederland de geschetste ontwikkelrichting volgen en de bijbehorende maatregelen toepassen. Daarmee zijn het 'extreme' scenario's die beogen inzicht te bieden en aanknopingspunten te geven voor de discussie over de toekomst van de Nederlandse landbouw. Voor alle scenario's is de insteek dat het krimpen van de veestapel een consequentie is van het niet behalen van de milieudoelen na het implementeren van de technische maatregelen. De verhaallijnen van de vier scenario's worden hieronder kort beschreven en ook geïllustreerd met een visuele weergave van de landbouw en het landgebruik in 2050.

4.1.1 Productiviteit voorgenomen-scenario

- Milieugebruiksruimte: voorgenomen beleidsdoelen
- Ontwikkelrichting bedrijfsvoering: productiviteit gedreven bedrijfsvoering
- Mitigatiepakket: basis 2050

Het *Productiviteit voorgenomen*-scenario is gebaseerd op een voortzetting van de huidige situatie. Veranderingen die optreden, zijn het resultaat van te nemen maatregelen om aan de milieueisen te voldoen. Voor dit scenario wordt uitgegaan van voorgenomen beleidsdoelen en de veronderstelling dat toekomstige klimaatdoelen op Europese schaal gedifferentieerd worden. Hierdoor zal de milieugebruiksruimte voor de Nederlandse landbouw in 2050 beperkt afnemen. Er wordt een pakket van mitigatiemaatregelen ingezet waarvan wordt verwacht dat deze in 2050 maatschappelijk geaccepteerd zijn en niet zullen leiden tot extreem hoge kosten. Dit geaccepteerde Basis 2050-pakket van mitigatiemaatregelen bevat activiteiten zoals het verlagen van het N- en P-gehalte in het rantsoen, snelle afvoer en scheiding van mest, voeradditieven en methaan deels afvangen en aangepaste bemesting in akkerbouw en grasland. Met dit Basis 2050-pakket kunnen de gestelde milieudoelen behaald worden zonder dat krimp van de veestapel nodig is t.o.v. het referentiescenario. Het graslandareaal neemt toe ten koste van akkerland als gevolg van de opgelegde grondgebondenheid voor de melkveehouderij in 2050. Hierdoor neemt het areaal snijmais beperkt af. Koolstofvastlegging in bodems en landgebruik is in dit scenario minder belangrijk, omdat de Nederlandse landbouw en landgebruik in dit scenario niet klimaatneutraal hoeft te zijn. In de veenweidegebieden zal met name door het toepassen van onderwaterdrainage het peil worden verhoogd, waardoor emissies afnemen. Een klein deel van het veenweidegebied zal worden ingezet voor paludicultuur, waar natte teelten als lisdodde kunnen bijdragen aan duurzame productie. Figuur 7 geeft een visuele indruk van het *Productiviteit voorgenomen*-scenario.



Figuur 7 Visuele weergave van de landbouw en het landgebruik in 2050 voor het *Productiviteit voorgenomen*-scenario (Illustratie: Erik Eshuis).

4.1.2 *Natuurinclusief voorgenomen-scenario*

- Milieugebruiksruimte: voorgenomen beleidsdoelen
- Ontwikkelrichting: natuurinclusieve bedrijfsvoering
- Mitigatiepakket: extensief

De milieugebruiksruimte in dit scenario is even groot als in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario. Dit scenario gaat echter uit van een natuurinclusieve bedrijfsvoering die gebruik maakt van de natuurlijke omgeving in plaats van het streven naar maximale productiviteit. In deze extensievere vorm van landbouw is meer aandacht voor biodiversiteit. In dit scenario wordt het extensieve maatregelenpakket toegepast, waarbij het uitgangspunt is dat er minder externe inputs worden gebruikt. Hierdoor zullen productieniveaus (per dier en per hectare) minder hard stijgen of zelfs dalen ten opzichte van de autonome ontwikkeling. Maatregelen die thuishoren in een natuurinclusief scenario zijn het verminderen van kunstmest- en krachtvoergebruik, meer rustgewassen in het bouwplan en de diversiteit van het grasland verhogen. In dit natuurinclusieve scenario hebben alle dieren toegang tot een uitloop of weidegang. De maatregelen die zijn opgenomen in het extensieve pakket hebben een lager reductiepotentieel dan de maatregelen in het Basis 2050-pakket, vanwege meer weidegang en verliezen via uitloopopeningen en het uitsluiten van bepaalde maatregelen zoals niet-natuurlijke additieven en nitrificatiereemers. Voor het behalen van de milieudoelen is een beperkte krimp van de veestapel nodig. Door de extensivering zal er, ondanks een krimp in de veestapel, geen land beschikbaar komen voor andere doeleinden. Het areaal grasland neemt ook in dit scenario iets toe, door een hoger aandeel gras in het rantsoen voor melkkoeien. Het aandeel mais in het rantsoen is daarentegen lager, en daarmee neemt het areaal snijmais af. In de veenweidegebieden wordt met name ingezet op peilverhogingen, waardoor alleen een extensieve vorm van melkveehouderij mogelijk is. In dit scenario zullen de natste delen uit productie worden gehaald en worden omgezet naar natuur en op een beperkt areaal zal paludicultuur worden toegepast. Figuur 8 geeft een visuele indruk van het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario.



Figuur 8 Visuele weergave van de landbouw en het landgebruik in 2050 voor het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario (Illustratie: Erik Eshuis).

4.1.3 Productiviteit strikter-scenario

- Milieugebruiksruimte: striktere beleidsdoelen
- Ontwikkelrichting: productiviteit gedreven bedrijfsvoering
- Mitigatiepakket: alles-uit-de-kast

Voor dit scenario gelden strengere milieubeleidsdoelen dan voor de hiervoor beschreven scenario's. Er wordt van uitgegaan dat er geen ruimte komt om toekomstige klimaatdoelen op Europese schaal te differentiëren, maar dat de landbouw en landgebruik binnen Nederland klimaatneutraal moet worden. Hierdoor zal de klimaatmitigatie voor de Nederlandse landbouw fors toenemen ten opzichte van de voorgenomen beleidsdoelenscenario's. In dit scenario zal daarom vol ingezet moeten worden op alle beschikbare mitigatiemaatregelen, het alles-uit-de-kast-maatregelpakket. Dit pakket is gericht op maximale emissiereductie en onderscheidt zich van het Basis 2050-pakket doordat er ook maatregelen worden opgenomen waar momenteel maatschappelijke weerstand tegen is, zoals luchtdichte stallen voor alle dierlijke sectoren, geen weidegang en uitlopen, en grootschalige toepassing van nitrificatieremmers. Ondanks het feit dat alles-uit-de-kast wordt gehaald, is het onvoldoende om aan de milieubeleidsdoelen, met name de klimaatdoelen, te voldoen. Om voldoende vastleggingscapaciteit te creëren voor het compenseren van de resterende landbouwemissies, is extra bebossing nodig, maar daarnaast zal ook de veestapel met bijna 20% moeten krimpen. Sniijmais blijft een belangrijk deel van het rantsoen, maar het areaal neemt door krimp van de melkveestapel wel af. Door de afname in de veestapel zal een deel van het grasland worden omgezet naar bos (ruim 270 duizend ha). In het veenweidegebied wordt enerzijds ingezet op onderwaterdrainage, maar een ander deel zal ook uit productie worden genomen en tot natuur worden omgevormd. Het areaal voor akkerbouw neemt net als in de andere scenario's af, maar blijft intensief gebruikt met veel aardappels en suikerbieten in de rotatie. Figuur 9 geeft een visuele indruk van het *Productiviteit strikter*-scenario.



Figuur 9 Visuele weergave van de landbouw en het landgebruik in 2050 voor het *Productiviteit strikter*-scenario (Illustratie: Erik Eshuis).

4.1.4 *Natuurinclusief strikter*-scenario

- Milieugebruiksruimte: striktere beleidsdoelen
- Ontwikkelrichting: natuurinclusieve bedrijfsvoering
- Mitigatiepakket: extensief

Net als in het *Productiviteit strikter*-scenario, is het uitgangspunt in dit scenario ook een kleinere milieugebruiksruimte door strengere milieubeleidsdoelen. In dit scenario is de ontwikkelrichting van de landbouw echter natuurinclusief, met inzet van hetzelfde maatregelpakket als het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario. Aangezien de milieudoelen in dit scenario een stuk strenger zijn, zal de veestapel met ongeveer 40% moeten krimpen ten opzichte van het referentiescenario voor het behalen van met name de klimaatdoelen. Als gevolg van de forse krimp treedt er een grote verschuiving in landgebruik op. Een fors deel van het landbouwareaal, met name grasland, zal worden gebruikt voor de aanplant van bos, ruim 380 duizend ha, wat een verdubbeling is van het huidige bosareaal in Nederland. Een deel van de aangeplante bomen zal geïntegreerd worden in de landbouw, zogenaamde agroforestry systemen. De gecreëerde vastlegging van CO₂ is nodig voor het behalen van klimaatneutraliteit in de landbouw en landgebruik. Daarnaast zal een aanzienlijk deel van het veenweidegebied volledig uit landbouwproductie worden gehaald en worden omgezet in broekbos of moeras natuur. Omdat in het extensieve scenario minder dieren per hectare worden gehouden, neemt het areaal grasland minder sterk af dan het aantal dieren. Het areaal snijmais neemt wel sterk af, tot een kwart van het referentiescenario, door de krimp van de melkveestapel in combinatie met een rantsoen met veel minder snijmais. Figuur 10 geeft een visuele indruk van het *Natuurinclusief strikter*-scenario.



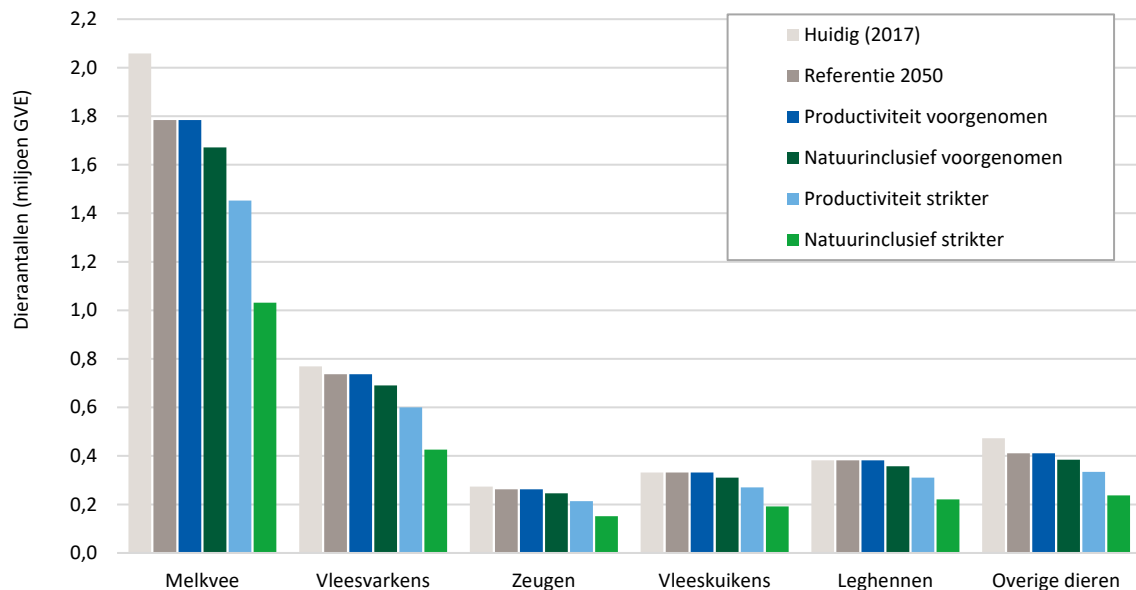
Figuur 10 Visuele weergave van de landbouw en het landgebruik in 2050 voor het *Natuurinclusief strikter*-scenario (Illustratie: Erik Eshuis).

4.2 Dieraantallen en landgebruik

Figuur 11 en Tabel 11 geven een overzicht van de dieraantallen in 2017, voor het referentiescenario in 2050 en de vier verschillende scenario's 2050. Voor het bepalen van de dieraantallen voor het referentiescenario is de autonome ontwikkeling doorgezet naar 2050, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Het aantal varkens neemt af door de warme sanering die al in het huidige beleid is opgenomen. Het aantal stuks melkvee neemt ook af. Dit komt vooral doordat onvoldoende land beschikbaar is voor de productie van gras en mais voor het huidige aantal koeien. Voor de pluimveehouderij wordt geen afname verwacht. Een daling in dieraantallen hoeft niet te betekenen dat de productie ook afneemt, omdat er ook een stijging van de productiviteit wordt verondersteld, afhankelijk van het scenario (zie paragraaf 4.4 voor effect op productievolumes).

Tabel 11 Dieraantallen voor de huidige situatie (2017) en de 2050 scenario's in miljoen dieren. Melkvee is uitgedrukt in aantal aangeklede melkkoeien (incl. jongvee), en ook voor pluimvee en varkens zijn ouderdieren en biggen verrekend in de aantallen.

Scenario's	Melkvee	Vlees- varkens	Zeugen	Vlees- kuikens	Leghennen	Overige dieren
Huidig (2017)	1,67	5,63	0,93	48,2	35,0	0,88
Referentie 2050	1,45	5,40	0,89	48,2	35,0	0,77
Productiviteit voorgenomen	1,45	5,40	0,89	48,2	35,0	0,77
Natuurinclusief voorgenomen	1,36	5,05	0,84	45,2	32,8	0,72
Productiviteit strikter	1,18	4,39	0,73	39,2	28,5	0,62
Natuurinclusief strikter	0,84	3,12	0,52	27,9	20,2	0,44



Figuur 11 Dieraantallen (in miljoen grootvee-eenheden (GVE), 1 melkoe is 1 GVE) voor de huidige situatie (2017) en 2050-scenario's.

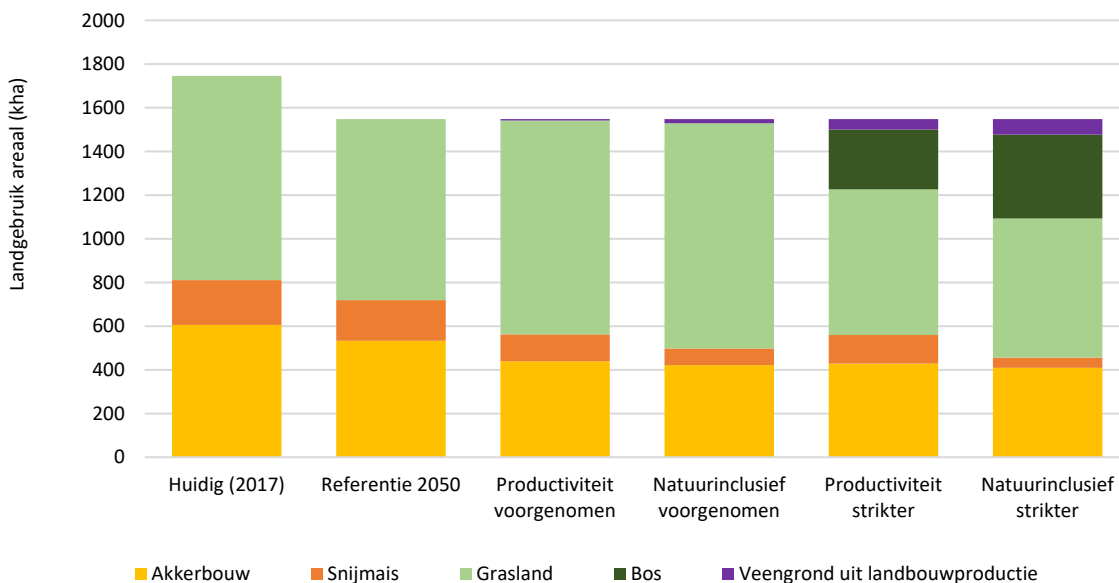
In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario worden milieubeleidsdoelen gehaald door het invoeren van het Basis 2050-maatregelpakket. Doordat milieubeleidsdoelen gehaald worden, kan de grootte van de veestapel behouden blijven. Het reductiepotentieel van het Basis 2050-pakket is groter dan benodigd voor het behalen van de milieubeleidsdoelen. Dit impliceert dat er ruimte zou zijn voor een toename van de veestapel. Echter door de veronderstelde grondgebondenheid in de melkveesector en de dierrechten voor de varkens- en pluimveesector, kan de veestapel niet verder groeien.

In het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario vindt een krimp van 6% van de veestapel plaats ten opzichte van het referentiescenario doordat de milieubeleidsdoelen niet op alle vlakken worden gehaald via het maatregelenpakket. De melkveehouderij zal door de grondgebondenheid en extensivering meer grasland per dier nodig hebben. Aangezien mogelijkheden voor uitbreiding van het grasland areaal beperkt zijn, is afname van het aantal stuks melkvee noodzakelijk. In de pluimveehouderij neemt de fosfaatexcretie toe in de natuurinclusieve scenario's door de lagere voederconversie, waardoor het fosfaatplafond voor deze sector wordt bereikt en niet langer de dierrechten beperkend zijn. De klimaatdoelen zijn bij volledige implementatie en effectiviteit van de maatregelen dus geen beperkende factor voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen.

In het *Productiviteit strikter*-scenario zijn de milieubeleidsdoelen strenger. Het alles-uit-de-kast-maatregelenpakket wordt ingezet om aan de doelen te voldoen. De opgave rond het verminderen van broeikasgasemissies levert ondanks het toegepaste maatregelenpakket onvoldoende op om te voldoen aan het klimaatdoel van netto klimaatneutrale landbouw en landgebruik. Hierdoor zijn ook structurele maatregelen nodig en krimpt de veestapel met 18%. In deze studie wordt uitgegaan van een proportionele krimp van de veestapel, waardoor alle sectoren met hetzelfde percentage moeten krimpen om aan de milieubeleidsdoelen te voldoen. In het *Natuurinclusief strikter*-scenario vindt met 42% een forse krimp van de veestapel plaats. Voor dit scenario wordt, net als in het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario, het extensieve maatregelenpakket toegepast. Het reductiepotentieel is echter onvoldoende om te voldoen aan het doel van netto klimaatneutrale landbouw en landgebruik binnen Nederland.

In de melkveehouderij daalt het aantal koeien van 1,97 GVE per ha (gebaseerd op areaal onder grasland en snijmais) in het referentiescenario, naar 1,79 GVE per ha in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario en naar 1,66 GVE per ha in de natuurinclusieve scenario's. In het *Productiviteit strikter*-scenario neemt het aantal koeien per ha daarentegen toe naar 2,04 GVE per ha.

Figuur 12 toont het landgebruik in 2017, voor de referentie in 2050 en de vier verschillende scenario's. Het totale landbouwareaal is in 2050 afgenomen met ongeveer 200.000 ha als gevolg van de autonome trend aan verlies van landbouwgrond van ongeveer 0,3% per jaar. Hierdoor neemt tevens het areaal grasland, snijmais en akkerland af in het referentiescenario.



Figuur 12 Arealen landgebruik voor de huidige situatie (2017) en 2050-scenario's.

In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario neemt het areaal grasland juist toe. Dit is het gevolg van het ingezette grondgebondenheidstraject in de melkveehouderij, wat leidt tot meer grasland en

minder krachtvoer. Het areaal snijmais neemt hierdoor licht af. Het areaal akkerbouw neemt tevens af. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de melkveehouderij een economisch sterkere positie blijft houden en de akkerbouw zal verdringen.

In het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario neemt het areaal akkerland evenveel af als in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario, om dezelfde reden. Het areaal snijmais neemt verder af, doordat het aandeel snijmais in het rantsoen wordt verlaagd en er daarnaast minder melkkoeien zijn. Het areaal grasland neemt toe door het hogere aandeel gras in het rantsoen en doordat de graslandopbrengst lager is in dit scenario, is een groter areaal nodig. In het veenweidegebied zullen de natste delen van het gebied (18.000 ha) uit productie worden gehaald en omgezet naar natuur om zo emissies te beperken.

Het *Productiviteit strikter*-scenario karakteriseert zich door een flinke afname in het areaal grasland. Dit ontstaat door een afname van het aantal melkkoeien, in combinatie met een lager aandeel gras in het rantsoen en hogere ruwvoeropbrengsten per hectare. Hierdoor is er aanzienlijk minder grasland nodig. Het areaal snijmais is ondanks de afname in dieraantallen vergelijkbaar met het *Productiviteit voorgenomen*-scenario, omdat een hoger aandeel snijmais in het rantsoen wordt verondersteld. Ondanks de afname in het areaal grasland blijft het areaal voor akkerbouw min of meer gelijk aan het areaal in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario. Dit komt omdat in het *Productiviteit strikter*-scenario aanplant van bos noodzakelijk is om de resterende emissies uit de landbouw te compenseren; hiervoor is ruim 270 duizend ha nodig. Ook een deel van het veenweidegebied, bijna 50.000 ha, wordt uit productie gehaald en omgezet in broekbos of moeras om emissies uit veenweide verder te verminderen.

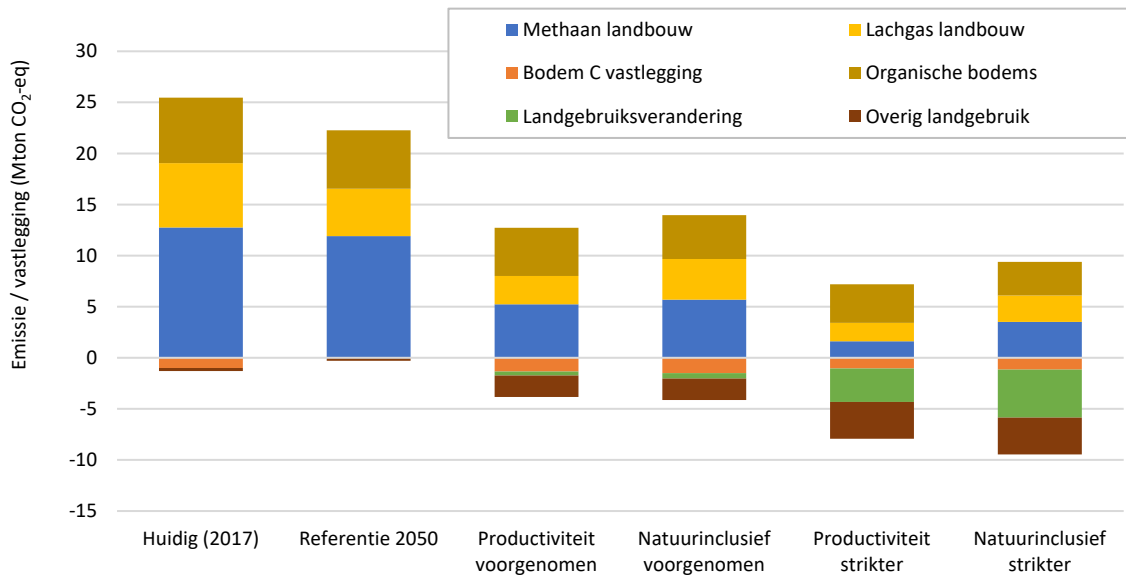
Het *Natuurinclusief strikter*-scenario levert de grootste verschuiving in landgebruik. Om aan de milieubeleidsdoelen te voldoen, is in dit scenario een grotere vastlegging van CO₂ nodig in de vorm van bosaanplant, aangezien de mitigatiemaatregelen een lager reductiepotentieel hebben. Daarnaast wordt ook een groot deel van veenweidegebied (71.000 ha) uit landbouwproductie gehaald om emissies uit veenweide te voorkomen. Doordat de veestapel fors krimpt, is het areaal grasland relatief klein. Snijmais wordt nog in beperkte mate verbouwd; door een forse afname van de veestapel en het lage aandeel snijmais in het rantsoen in dit scenario, is de vraag klein. Ook is de akkerbouw in dit scenario ongeveer gelijk in omvang ten opzichte van de andere scenario's. Er zijn wel minder koeien dan in het *Productiviteit strikter*-scenario, maar die hebben per koe meer land nodig. Daarnaast is er meer bos nodig om de hogere emissies uit de landbouw op te vangen.

4.3 Milieueffecten

4.3.1 Emissies binnen de Nederlandse landbouw

Broeikasgasemissies

In Figuur 13 is emissie van de broeikasgassen methaan en lachgas voor de huidige situatie, het referentiescenario 2050 en de vier scenario's gegeven, zoals berekend met het model INITIATOR. In deze figuur zijn voor de volledigheid ook de landgebruik-gerelateerde emissies en vastlegging opgenomen, om de volledig broeikasgasbalans van landbouw en landgebruik weer te geven. Onder de categorie landgebruiksverandering zijn de emissies/vastlegging gerelateerd aan landgebruiksveranderingen binnen de landbouw opgenomen. De aanplant van bos op landbouwgrond levert daarbij de grootste bijdrage. Onder overige landgebruik valt met name de CO₂-vastlegging in bestaand bos.



Figuur 13 Berekende methaan en lachgasemissie (Mton CO₂) met INITIATOR en overige CO₂-emissies (positief) en vastlegging (negatief) in landgebruik voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's. Landgebruiksverandering omvat met name de omzetting van landbouwgrond naar bos, en overig landgebruik is met name C-vastlegging in het bestaande bos.

In het referentiescenario 2050 nemen de methaan- en lachgasemissie af naar 16 Mton CO₂-eq. Dit is het resultaat van autonome ontwikkelingen in productiviteit, waardoor het aantal koeien afneemt ten opzichte van de huidige situatie, ook al neemt de methaanemissie per koe wel toe. Voor N₂O is de afname het gevolg van de lagere bemesting doordat er geen overbenutting van dierlijke mest meer plaatsvindt. Met het Basis 2050-maatregelpakket kunnen in het scenario *Productiviteit voorgenomen* de methaan- en lachgasemissie beneden het emissieplafond van 9 Mton CO₂-eq blijven, dit gaat echter wel uit van volledige implementatie en de effectiviteit van de maatregelen zoals beschreven in paragraaf 2.4. In het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario is door het lagere reductiepotentieel wel een beperkte krimp van de veestapel nodig om onder het emissieplafond te blijven.

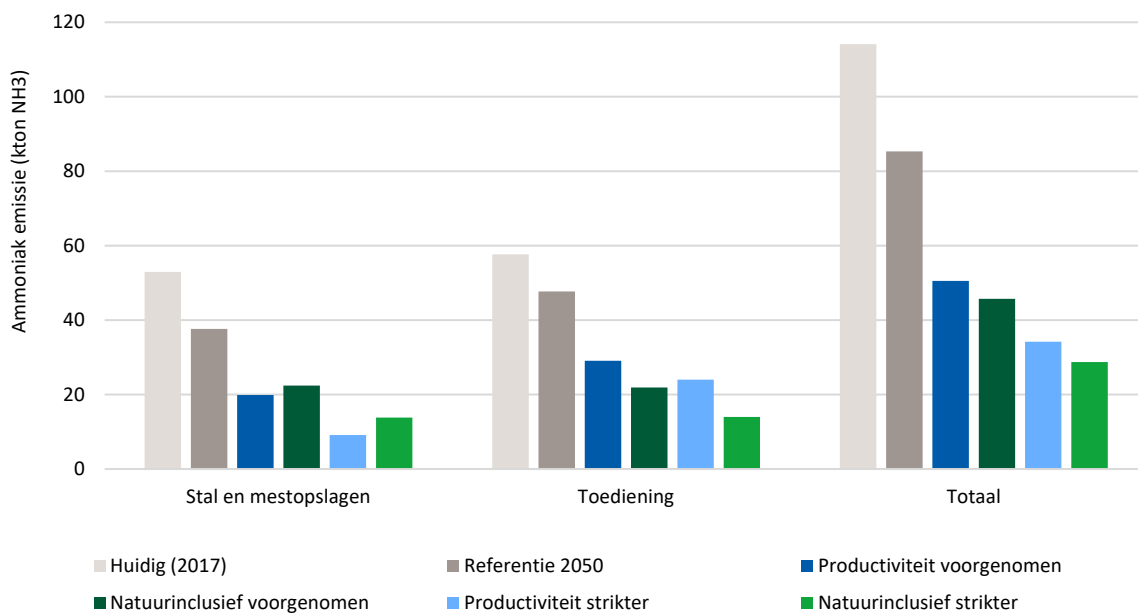
In het *Productiviteit strikter*-scenario zijn de methaan- en lachgasemissie het laagst (3,5 Mton CO₂-eq), deels door de daling van de veestapel (-19%), maar ook door de toepassing van methaan-emissiearme stallen en geen beweiding. In de natuurinclusieve scenario's zijn de methaan- en lachgasemissie hoger dan in de productiviteit-gedreven scenario's. Dit wordt met name veroorzaakt door de hogere N₂O-emissie bij beweiding en de lagere effectiviteit van het extensieve maatregelpakket. Hierdoor is met name in het *Natuurinclusief strikter*-scenario compensatie nodig

door een hogere CO₂-vastlegging, waardoor een groter areaal bos nodig is om te voldoen aan de doelstelling van netto klimaatneutrale landbouw en landgebruik in 2050.

Ammoniak emissie

In Figuur 14 zijn de totale milieueffecten voor de ammoniakemissie weergegeven zoals die berekend zijn met het model INITIATOR. De totale berekende NH₃-emissie in het referentiescenario is 85 kton NH₃, dit ligt rond het gedefinieerde ammoniakplafond van 85 kton NH₃ voor de voorgenomen beleidsdoelen. Met name de ammoniakemissie uit stallen en mestopslagen daalt in het referentiescenario door verdere implementatie van het Besluit emissiearme huisvesting. De ammoniakemissie in de scenario's ligt ruim onder dit ammoniakplafond. Het *Productiviteit voorgenomen*-scenario ligt met 51 kton NH₃-emissie net boven het striktere beleidsdoel van 50 kton, de andere drie scenario's liggen eronder.

Het effect van de maatregelenpakketten én aanpassingen in omvang van de veestapel blijken dusdanig effectief dat de gestelde beleidsdoelen naar verwachting worden gehaald. De snelle afvoer van mest naar de opslag en scheiding in gier en vaste mest draagt het meest bij aan deze emissiereductie. Een kanttekening hierbij is wel dat van veel van de meegenomen maatregelen, met name voor stallen en mestopslagen, in de praktijk nog moet blijken of de beoogde emissiereductie ook werkelijk haalbaar is. Het *Natuurinclusief strikter*-scenario leidt tot de laagste NH₃-emissie, wat vooral het gevolg is van een sterkere krimp van de veestapel en meer weidegang. De natuurinclusieve scenario's hebben wel een hogere N₂O-emissie en N-uit- en afspoeling vergeleken met de productiviteit-gedreven scenario's. Dit is met name het gevolg van toename van beweiding: dit leidt tot minder ammoniakemissie, maar leidt wel tot meer stikstoftoevoer naar grond- en oppervlaktewater en denitrificatie waarbij lachgas vrijkomt.

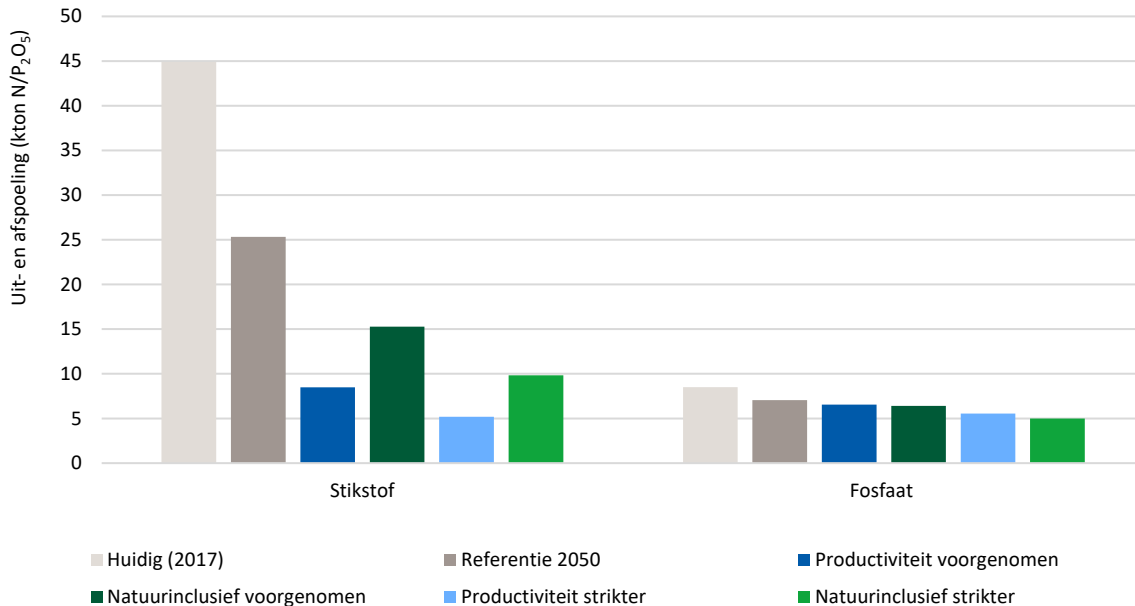


Figuur 14 Berekende totale fluxen voor NH₃-emissie vanuit stallen en mestopslagen (incl. beweidingsemissies) en mesttoediening (incl. kunstmest en gewasafrijpingsemissies) voor de huidige situatie (2017) en 2050-scenario's.

N- en P-belasting grond- en oppervlaktewater

De berekende resultaten voor N- en P-belasting naar grond- en oppervlaktewater laten een drastische afname zien voor de 2050-scenario's (Figuur 15). De nationale beleidsdoelen voor stikstoftoevoer naar grond- en oppervlaktewater blijken al op basis van het huidige beleid zoals meegenomen in het 2050-referentiescenario te worden gehaald. Dit komt deels door de afname in landbouwareaal, maar belangrijker is het uitgangspunt dat er geen overbenutting (normoverschrijding) van dierlijke mest meer is, dus dat iedereen volgens de normen bemest. In de andere scenario's zijn de uit- en

afspoeling nog lager door de genomen maatregelen. In de natuurinclusieve scenario's zijn de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat hoger dan in de productiviteit-gedreven scenario's, dit is het gevolg van de lagere gewasopbrengst en toepassing van meer weidegang. Bij deze resultaten dient wel de kanttekening te worden gemaakt dat het hier om een landelijk totaal gaat. Op lokale en regionale schaal, met name op de uitspoelingsgevoelige zandgronden, zal er met name voor stikstof nog een risico op normoverschrijding blijven bestaan. Voor fosforuitspoeling zal in alle situaties, als gevolg van de hoge achtergrondbelasting en nalevering van in het verleden geaccumuleerde fosfaat, de werkelijke uitspoeling hoger liggen, waardoor mogelijk de gewenste beleidsdoelen toch niet gehaald worden.

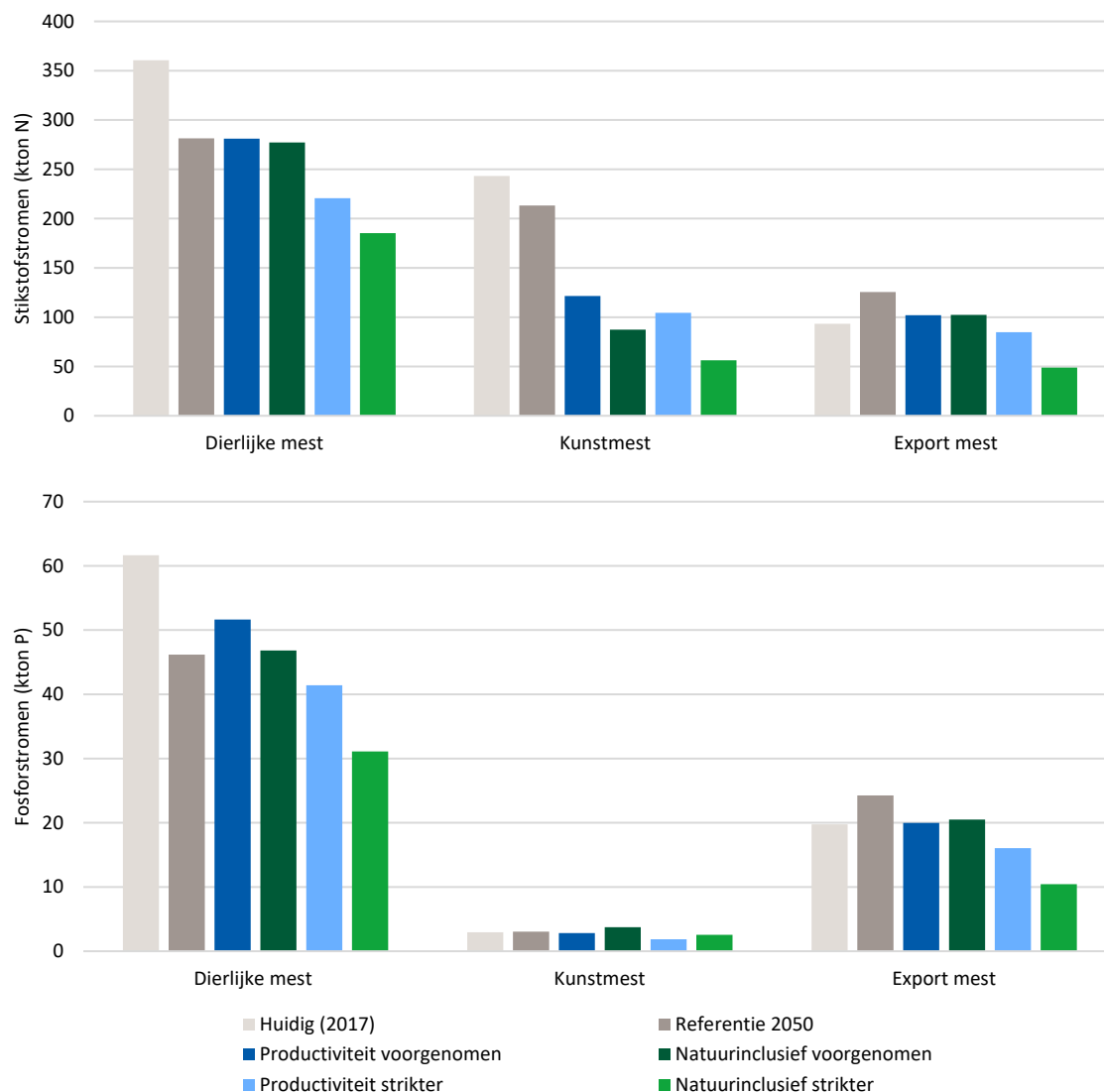


Figuur 15 Berekende N- en P-uitspoeling naar grond- en oppervlakte water (kton N/P) voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's.

4.3.2 Nutriëntenstromen en balansen

Mestgiften en mestexport

De berekende mestgiften laten zien (Figuur 16) dat de dierlijke mestproductie voor zowel N als P afneemt in de volgorde Referentie 2050, *Productiviteit voorgenumen*, *Natuurinclusief voorgenumen*, *Productiviteit strikter* en *Natuurinclusief strikter*. De afname van de P-toevoer via dierlijke mest is duidelijk geringer dan voor N. Dit is het gevolg van beperkte mogelijkheden om de P-excretie verder te verlagen. Hier is de afgelopen jaren, gedreven door het opgelegde fosfaatplafond, al veel bereikt, waardoor mogelijkheden voor een verdere verlaging beperkt zijn. Dit in tegenstelling tot stikstof, waar meer mogelijkheden zijn voor verlaging van de N-excretie. De getoonde P-afname is dan ook voornamelijk het gevolg van de afname in de veestapel.



Figuur 16 Berekende totale stikstof (boven) en fosfor (onder) giften voor dierlijke mest en kunstmest en de export van mest voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's.

De N-kunstmestgiften zijn bij *Productiviteit strikter* relatief hoog, terwijl er desondanks nog dierlijke mest (volgens de huidige wet- en regelgeving) moet worden geëxporteerd of verwerkt. Zelfs voor het *Natuurinclusief strikter*-scenario is de mestplaatsingsruimte niet voldoende om binnen de huidige en voor de komende jaren beoogde wet- en regelgeving alle in Nederland geproduceerde mest in Nederland af te zetten, omdat het landbouwareaal in dat scenario ook behoorlijk afneemt. De dierlijke mestgiften per hectare zijn in alle scenario's vrijwel gelijk, omdat de gebruiksnormen gelijk blijven. De afname in dierlijke N-mestgift in het referentiescenario ten opzichte van de Huidige situatie wordt veroorzaakt door de aanname dat er in 2050 geen sprake is van overbenutting (normoverschrijding). De afname in de kunstmestgiften is met name het gevolg van een combinatie van maatregelen die leidt tot efficiëntere bemesting en hogere opbrengsten. Bij de natuurinclusieve scenario's is door extra stikstofbinding, met name door klaver in grasland, veel minder stikstofkunstmest nodig.

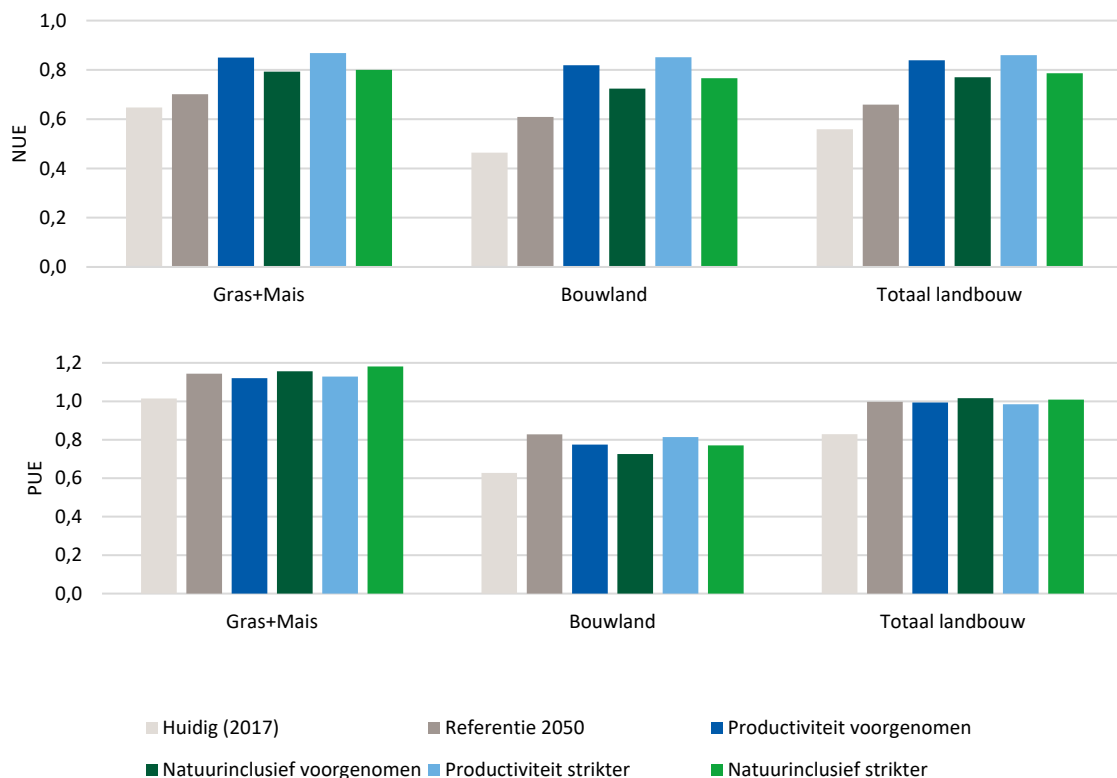
Doordat de opbrengstverhoging bij de productiviteit-gedreven scenario's hoger is dan bij de natuurinclusieve scenario's, is in de productiviteit-gedreven scenario's een hogere (kunst)mestgift nodig. In de natuurinclusieve scenario's wordt daarentegen veel meer gebruikgemaakt van natuurlijke stikstofbinding, met name via toepassing van klaver in graslanden. Dat er bij de natuurinclusieve scenario's nog P-kunstmest wordt gegeven, komt doordat de hoeveelheid dierlijke mest door N wordt gelimiteerd (170 kg N/ha; geldt ook voor de niet-derogatie melkveebedrijven). De via dierlijke mest aangevoerde hoeveelheid P kan hierdoor te laag worden, waardoor er nog aanvullend P-kunstmest

nodig is of een anderszins verkregen P-meststof, bijv. door struviet te winnen uit dierlijke mest of humane stromen.

Nutriënten gebruiksefficiëntie

Om na te gaan wat het overalleffect van de maatregelen is in termen van het vermogen om toegevoerde stikstof vast te leggen in de geproduceerde gewassen, is de zogenaamde stikstof- en fosfor- gebruiksefficiëntie (veelal afgekort als NUE, Nitrogen Utilization Efficiency, en PUE) berekend (Figuur 17). De NUE is een veelgebruikte maat die verschillende definities kent. Hier hanteren we de maat zoals gehanteerd door het EU-Nitrogen Expert Panel (Oenema et al., 2015), waarbij de NUE gedefinieerd is als het percentage via de oogst afgevoerde hoeveelheid N, gedeeld door som van alle N-toevoeren (dierlijke mest, compost, kunstmest, biologische stikstofbinding en depositie). De streefwaarde voor de NUE ligt tussen de 50 en 90%. Onder de 50% is er sprake van onacceptabele verliezen (met name via NH₃-emissie en N-uitspoeling), terwijl bij waarden boven de 90% er een te hoog risico is voor uitmijning.

De resultaten laten zien dat de NUE vrijwel overal tussen de 50 en 90% ligt. De enige uitzondering is de huidige situatie voor akkerland, met een NUE net onder de 50%. Onder invloed van de maatregelen in de scenario's neemt de NUE duidelijk toe. Dit is het resultaat van een toename in gewasproductie (door gebruik van bestaande of nog te ontwikkelen productievare gewassen) en een afname van verliezen door een efficiëntere bemesting. De NUE is het hoogst (ruim 80%) voor de productiviteit-gedreven scenario's. De NUE voor gras valt duidelijk hoger uit dan voor akkerland, maar blijft onder de bovengrens (risico op bodemuitputting) van 0,9. De natuurinclusieve scenario's laten lagere NUE's zien, wat vooral het gevolg is van lagere opbrengsten en bij grasland ook ten gevolge van meer beweiding.



Figuur 17 Resulterende stikstof- en fosfor-gebruiksefficiëntie (NUE boven, PUE onder) voor de huidige situatie (2017) en 2050-scenario's.

De PUE laat vergelijkbare resultaten zien als de NUE, zei het dat de waardes hoger liggen dan de NUE's. Dit komt doordat er bij P, in tegenstelling tot N, nauwelijks verliezen optreden. Het enige verlies dat zich voordoet, betreft P-uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Opvallend is dat voor grasland de PUE groter dan 1 wordt. Dit betekent dat er sprake is van enige uitmijning van P. Gezien

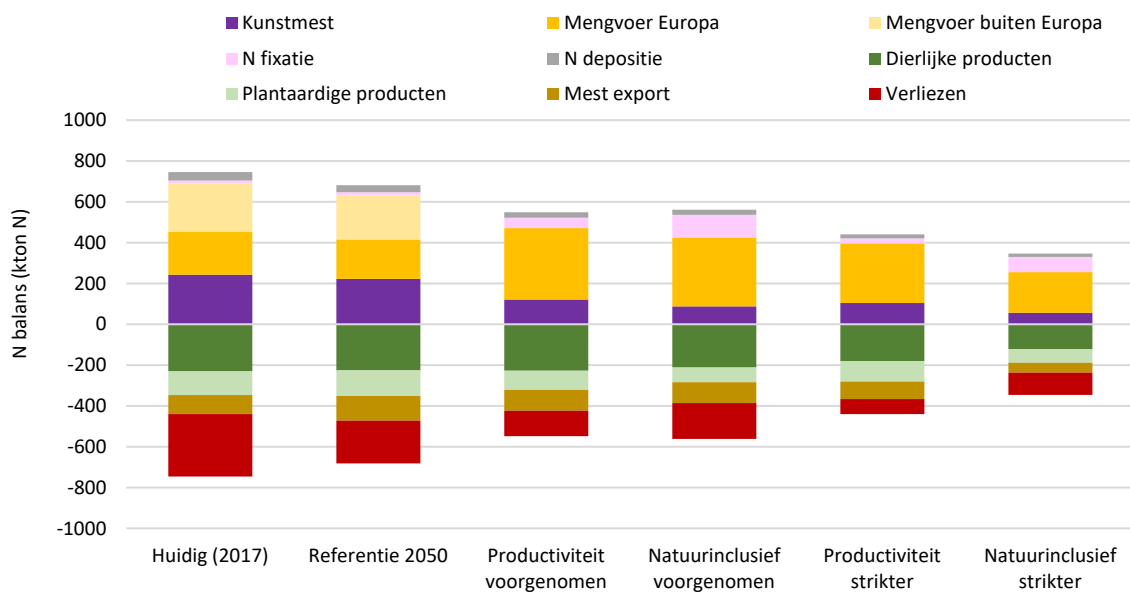
de huidige P-voorraden in de gemiddelde Nederlandse graslandbodems levert dit op de middellange termijn (20-30 jaar) geen problemen op. Op langere termijn is er wel weer aanvullende bemesting nodig, daarvoor kan dan ook teruggewonnen fosfaat uit humane reststromen worden ingezet. Bij een PUE van 1,1 bedraagt de uitmijning voor een gemiddelde graslandbodem ca. 1% (ten opzichte van de P-AL; uitgaande van een opbrengst van 10 ton droge stof en een 'neutrale' P-AL van 35 mg P₂O₅/100g). Daarnaast is grasland relatief ongevoelig voor fosfaattekorten. Bovenal draagt de uitmijning van fosfaat bij aan een lagere P-belasting van het oppervlaktewater.

Voor het referentiescenario en het *Productiviteit strikter*-scenario loopt de PUE voor bouwland op tot maximaal 0,8. Dit betekent dus dat er in totaal meer P wordt aangevoerd dan er via het gewas wordt afgevoerd. Een lagere PUE voor bouwland is in overeenstemming met de praktijk. Zo is bouwland gevoeliger voor lage P-giften, met name geldt dit voor aardappelen en uien.¹³ Met een gemiddelde PUE van 0,8 is het risico op opbrengstderving gering.

Nationale nutriëntenbalansen

In het kader van het sluiten van kringlopen en de visie Kringlooplandbouw is het relevant om inzicht te hebben in de nutriëntenstromen voor de verschillende scenario's. Op basis van de resultaten van het INITIATOR-model en een aantal aanvullende berekeningen is per scenario een inschatting gemaakt van deze nationale nutriëntenbalans, waarbij de zogenaamde farm-gate-balans is gebruikt. Hierin wordt de balans gemaakt van de aanvoer van nutriënten naar de boerderij en afvoer van nutriënten van de boerderij. Interne nutriëntenstromen zoals toediening van dierlijke mest, teelt van ruwvoer en gewasresten worden hier niet in meegenomen. De kringloop op nationale schaal wordt beter gesloten als de externe aanvoer van nutriënten via geïmporteerd voer en kunstmest verlaagd wordt of als de verliezen worden verminderd.

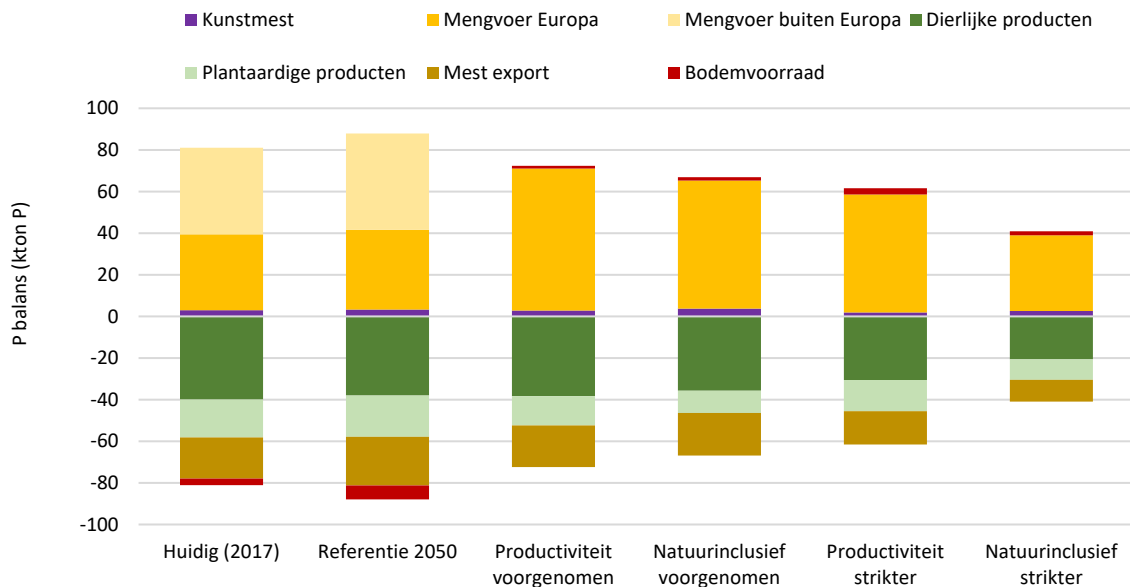
De resultaten voor stikstof (Figuur 18) laten zien dat import van mengvoer de grootste aanvoerpost is. Het grote verschil tussen het referentiescenario en de andere scenario's is dat er in de scenario's geen import van veevoer van buiten Europa meer plaatsvindt. Dit betekent dat deze hoeveelheid voer nu binnen Europa geteeld moet worden. Voor de scenario's met geen/beperkte krimp van de veestapel betekent dat een toename van 75-80% van de huidige hoeveelheid eiwit die voor het mengvoer wordt geteeld. In de natuurinclusieve scenario's is de hoeveelheid N-kunstmest beduidend lager, aangezien deze wordt vervangen door de toename in N-fixatie door o.a. klaver.



Figuur 18 Nationale stikstofbalans (farm gate) voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's.

¹³ <https://www.handboekbodembemesting.nl/nl/handboekbodembemesting/Handeling/Bemesting/Fosfaat/Gewasgericht-advies/Gewasgericht-advies-voor-volvelds-fosfaatbemesting-op-basis-van-Pw.htm>

Het beeld voor fosfor (Figuur 19) is voor veevoer, plantaardige en dierlijke producten en mestexport vergelijkbaar met stikstof. Fosfaatkunstmest is voor alle scenario's maar een zeer kleine aanvoerpost. In tegenstelling tot stikstof zijn bij fosfor de verliezen (af- en uitspoeling van P) maar beperkt en draagt het fosfaatoverschot bij aan de bodemvoorraad. In de scenario's is de bodembalans echter licht negatief, wat betekent dat er uitmijning van fosfaat plaatsvindt. Zoals eerder in deze paragraaf besproken, is dit gezien de hoge historische opgebouwde fosfaatvoorraad de komende decennia geen probleem.



Figuur 19 Nationale fosforbalans (farm gate) voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's.

4.3.3 Broeikasgasemissies buiten de Nederlandse landbouwsector

Keten gerelateerde broeikasgasemissies

De nationale emissieregistratie (en daarmee ook het Klimaatakkoord) onderschat de broeikasgasemissies van voedselproductie, aangezien zowel nationaal als buiten de landsgrenzen effecten te veronderstellen zijn die niet direct aan landbouw en voedsel zijn gekoppeld in de emissieregistratie. Deze worden in deze paragraaf tegen het licht gehouden. De emissies die in de nationale emissieregistratie onder de landbouw vallen, zijn de niet-CO₂-emissies die op het primaire bedrijf ontstaan: methaan uit pens, darm en mestopslagen en lachgas uit mestopslagen en bij de aanwending van dierlijke mest en kunstmest. Alle andere emissies worden of in andere sectoren gerapporteerd of vallen buiten de Nederlandse emissieregistratie. Het gaat dan om emissies uit energieverbruik op primaire bedrijven, emissies van de toeleverende industrie (kunstmest, veevoer), en emissies gerelateerd aan de import van veevoer. Deze emissies worden met een keten of LCA-benadering in beeld gebracht. De emissies buiten de emissiesector landbouw in de emissierapportage (NIR) zijn zelfs groter (25 Mton CO₂-eq/jaar) dan die van de NIR landbouw (19 Mton CO₂-eq/jaar), zie Tabel 12. Er zijn drie grote groepen te onderscheiden: het energiegebruik in de (veevoer)keten en de primaire bedrijven, goed voor 13,5 Mton CO₂-eq/jaar en de emissies van de landgebruiksverandering (vooral soja uit Latijns-Amerika en palmpitschroot uit Azië), goed voor 8,9 Mton CO₂-eq/jaar. De teeltemissies in het buitenland bedragen dan nog 2,4 Mton CO₂-eq/jaar.

De maatregelpakketten om emissies te beperken, zijn in principe alleen gericht op emissiereductie op het primaire bedrijf en niet op de keten. Er kunnen echter wel keteneffecten optreden, bijvoorbeeld door veranderend gebruik van voergrondstoffen en kunstmest, zowel qua hoeveelheid als qua type. Tegelijkertijd vinden er andere ontwikkelingen plaats, die invloed uitoefenen op de emissies van de veehouderijketen die buiten de directe landbouw rapportage voor Nederland en zelfs buiten Nederland

plaatsvinden, zoals de wereldwijde energietransitie en het al dan niet plaatsvinden van landgebruiksveranderingen (ontbossing) voor de teelt van veevoer.

Tabel 12 Huidige broeikasgasemissies op keten niveau voor melk, vlees en eieren uit de Nederlandse landbouw in Mton CO₂-eq/jaar. (Bron: Vellinga et al., 2018; data over het jaar 2016).

		Melk & rundvlees	Varkens	Pluimvee	Akkerbouw	Overig	Totaal
Emissie volume NIR landbouw	CH ₄ / N ₂ O	13,0	3,2	0,5	1,6	0,5	18,7
Totaal emissies buiten NIR landbouw	CO ₂ / N ₂ O/ CH ₄	8,3	6,7	8,2	0,4	1,2	24,8
waarvan:							
Energie NL landbouw primair	CO ₂	0,9	0,3	0,3	0,4	0,0	1,9
Energie veevoerketen en kunstmest binnen NL	CO ₂	4,5	1,3	1,1	0,0	0,7	7,6
Energie veevoerketen buiten NL	CO ₂	0,3	1,9	1,7	0,0	0,1	4,0
Teeltemissies lachgas (en methaan) veevoer-keten buiten NL	N ₂ O	0,7	1,0	0,7	0,0	0,1	2,4
LULUCF veevoerketen buiten NL	CO ₂ / N ₂ O	1,9	2,3	4,4	0,0	0,3	8,9

Een uitgangspunt in het (Nederlandse en internationale) klimaatbeleid is het sterk verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen. In 2050 zal energie met name uit hernieuwbare bronnen moeten komen. Deze energietransitie heeft invloed op de CO₂-emissies op het primaire bedrijf, maar ook in de mengvoerketen binnen en buiten Nederland. Als de energietransitie volledig slaagt, zullen de broeikasgasemissies in theorie teruggaan naar nul. Deze verandering in emissies geldt voor alle vier scenario's.

Voor de scenario's is kringlooplandbouw als uitgangspunt genomen. Dit is, in overleg met de begeleidingscommissie, zodanig geformuleerd dat al het veevoer betrokken moet kunnen worden uit Europa (incl. Oekraïne). Er komt in alle scenario's dus geen veevoer meer van buiten Europa. Dit betekent dat de veevoergrondstoffenstromen fors zullen veranderen. Reststromen als swill en diermeel zullen mogelijk beter worden benut en er kunnen verschuivingen optreden in gewassen. Als alleen Nederland zijn veevoer uit Europa haalt en de andere landen blijven doorgaan zoals voorheen, zullen er in Europa slechts kleine veranderingen optreden. Het betekent dat de transportemissies zullen afnemen, tegelijk kan mogelijk de eiwitkwaliteit van het voer afnemen door het verdwijnen van soja uit de veevoerrantsoenen. Dat vereist mogelijk een grotere inzet van synthetische aminozuren of alternatieve eiwitteelten in Europa. Als voor de gehele EU geldt dat geen veevoergrondstoffen van buiten komen, zullen de effecten veel ingrijpender zijn. De verwachting is dat bij een stop op veevoer van buiten Europa, de veehouderij in Europa niet in de huidige grootte kan blijven voortbestaan. (Vellinga et al., 2020, in voorbereiding).

De emissies van lachgas in de teeltgebieden gaan veranderen door het niet meer betrekken van soja en palmpitschroot en mogelijk door de teelt van andere gewassen in Europa. De veranderingen in de grootte van de veestapel in een aantal scenario's zullen ook hun effect hebben op de Nederlandse vraag naar veevoergrondstoffen. In het *Natuurinclusief strikter*-scenario zal enerzijds de veestapel sterk krimpen, maar zal ook het areaal bos toenemen. Door verschuiving van een deel van de dierlijke productie naar andere landen zal de teeltemissie zich ook verplaatsen en dus niet verdwijnen. Als er meer bos nodig is om de vastlegging van C te vergroten, betekent het dat minder akkerbouwgrond beschikbaar is en dat niet alleen minder veevoer wordt geproduceerd, maar ook minder gewassen voor humane voeding. Dat kan weer leiden tot een toenemende vraag. De verandering van de teeltemissies zullen een gevolg zijn van meerdere ontwikkelingen. Het netto-effect is moeilijk in te schatten.

In grote lijnen kan het erop neerkomen dat van de ruim 24 Mton CO₂-eq aan ketenemissies die niet binnen de NIR landbouw vallen, er maximaal 2,4 Mton CO₂-eq overblijft als gevolg van de lachgasemissies bij de teelt in de vier scenario's (Tabel 13). Voor de scenario's met een kleinere veestapel zal deze naar verhouding waarschijnlijk iets kleiner zijn. Belangrijkste uitgangspunt hierbij is dat de benodigde wereldwijde energietransitie in 2050 geslaagd is en er geen gebruik meer wordt gemaakt van fossiele brandstoffen. Doordat in de scenario's geen gebruik meer wordt gemaakt van voergrondstoffen van buiten de EU, is daarnaast een flinke emissiereductie te verwachten ten opzichte van de huidige situatie (8,9 Mton per jaar), omdat geen emissie als gevolg van landgebruiksverandering bij de teelt van voergrondstoffen plaatsvindt (met name soja).

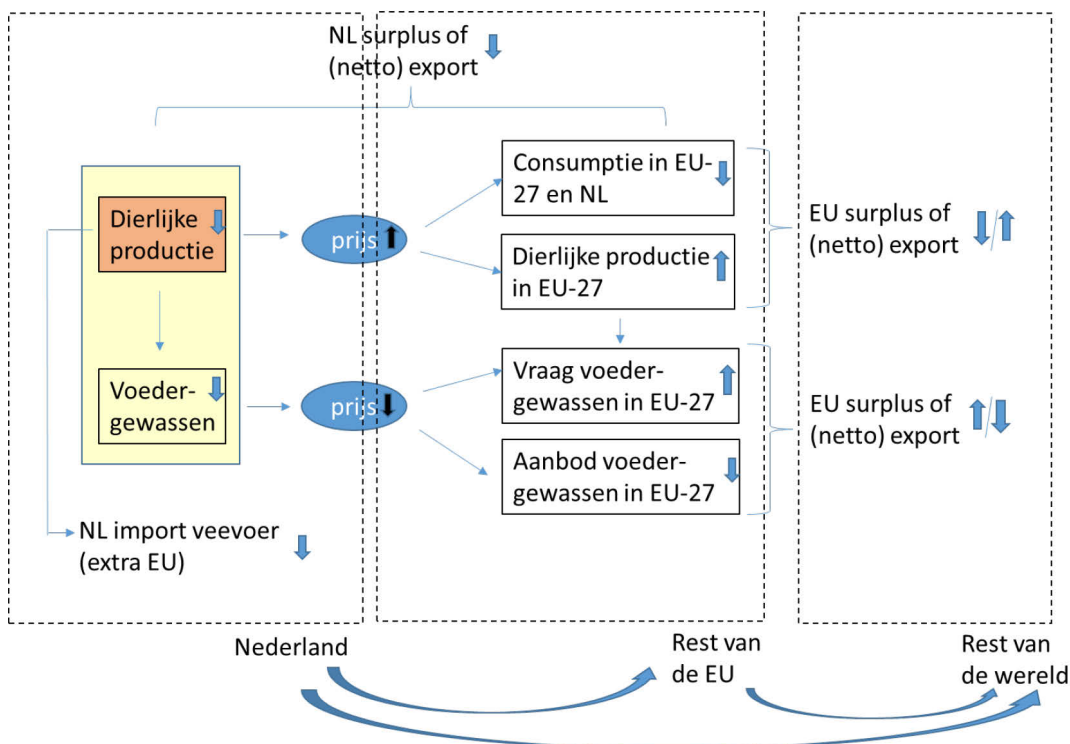
Tabel 13 *Inschatting van de broeikasgasemissies (in Mton CO₂-eq) op ketenniveau voor de totale landbouw in en buiten Nederland voor alle vier 2050-scenario's vergeleken met de huidige emissies.*

		2017	2050-scenario's
Emissie volume NIR landbouw	CH ₄ /N ₂ O	18,7	9 of 2
Totaal emissies buiten NIR landbouw	CO ₂ /N ₂ O/CH ₄	24,8	2,4
waarvan:			
Energie NL landbouw primair	CO ₂	1,9	0
Energie veevoerketen en kunstmest binnen NL	CO ₂	7,6	0
Energie veevoerketen buiten NL	CO ₂	4,0	0
Teeltemissies lachgas (en methaan) veevoerketen buiten NL	N ₂ O	2,4	2,4
LULUCF veevoerketen buiten NL	CO ₂ /N ₂ O	8,9	0

Substitutie effecten op broeikasgasemissies buiten Nederland

Voor broeikasgassen is het van belang om ook het effect op de totale wereldwijde uitstoot in beeld te krijgen, aangezien het een mondiaal probleem is, in tegenstelling tot ammoniak en waterkwaliteit. De aanpassingen in de Nederlandse productie als gevolg van de scenario's creëren doorwerkingseffecten naar de Europese (EU) markt en de wereldmarkt, de zogenaamde substitutie-effecten. Deze wereldwijde veranderingen in productie en consumptie bepalen uiteindelijk het netto-effect op broeikasgasemissies van de veranderde productie in Nederland. Figuur 20 geeft een overzicht van de belangrijkste marktreacties op de scenario's en de richting daarvan. De afname van de dierlijke productie in Nederland leidt tot een daling van de vraag naar voedergewassen en veevoer. De daling van de dierlijke productie heeft een (licht) prijsopdrijvend effect. Als gevolg daarvan zal de productie in andere EU-lidstaten waarschijnlijk toenemen. Tegelijkertijd leiden de gestegen prijzen ertoe dat de consumptie zowel in Nederland als in alle EU-lidstaten iets gaat dalen. Omdat de vraag naar vlees en zuivelproducten inelastisch is, zal de daling van de consumptie beperkt blijven (dit geldt voor alle scenario's). Hierbij kan worden verondersteld dat de effecten groter zijn naarmate de krimp in dieraantallen groter is.

De effecten van deze marktveranderingen op de wereldwijde broeikasgasemissie konden niet kwantitatief worden uitgewerkt. Een reden is dat het lastig is om te overzien wat andere EU-landen voor klimaatbeleid met betrekking tot de landbouw- en voedselsector zullen gaan voeren. Dat laatste zal in sterke mate bepalend zijn voor de uiteindelijke effecten in kwantitatieve zin. Wel is hieronder een kwalitatieve beschrijving opgenomen van de te verwachten effecten.



Figuur 20 Doorwerkingseffecten van de Nederlandse klimaatscenario's op vraag-aanbodverhoudingen in de EU en de rest van de wereld.

Het resultaat voor de relatie van de EU ten opzichte van de rest van de wereld is niet bij voorbaat duidelijk, omdat er bewegingen zijn die elkaar in meerdere of mindere mate kunnen compenseren. Waar de productie in Nederland daalt, stijgt die in de andere EU-lidstaten. Omdat in de meeste gevallen de stijging bij andere EU-lidstaten kleiner is dan de afname in Nederland, resulteert er per saldo een daling van de productie. Omdat de daling in consumptie steeds beperkt is, is het effect aan de aanbodkant bepalend. De export van dierlijke producten door de EU neemt in de meeste gevallen af en de import ervan neemt toe. Met andere woorden: er vindt binnen de EU slechts gedeeltelijke compensatie plaats van de negatieve effecten van de klimaatscenario's op de Nederlandse productie. Ook het effect op de handel is klein: de procentuele veranderingen in de handelspositie van de EU liggen in de orde van grootte van 0 tot 2 procent. Het netto-effect is naar verwachting dat de dierlijke productie buiten de EU zal uitbreiden. Het is afhankelijk van de verhouding tussen de carbon-footprint van die productie en die in Nederland of er netto sprake zal zijn van een toename van de broeikasgasemissies.

Het netto-effect van de doorwerking van de ingrepen in de Nederlandse landbouw met betrekking tot de emissiereductie van broeikasgassen is ambigu. De doorwerking van extra milieubeperkingen maakt dierlijke productie duurder en induceert zowel in de EU als in de rest van de wereld een beperkte daling van de consumptie van dierlijke producten. Dat is tegelijkertijd ook het helderste effect dat bijdraagt aan een reductie van broeikasgasemissies wereldwijd. De open vraag zit bij de effecten aan de productiekant. Daar vindt een herallocatie plaats: de productie verschuift in relatieve zin naar andere EU-landen en andere regio's buiten de EU. Het hangt af van de relatieve efficiëntie (broeikasgas emissies per kg dierlijk product) ten opzichte van de Nederlandse productie om te bepalen wat het uiteindelijke effect zal zijn. Zijn die andere landen/regio's minder efficiënt dan in Nederland, dan zouden de emissie van broeikasgassen hierdoor kunnen stijgen (het *leakage*-effect). Ook andere landen (inclusief de EU-lidstaten en de EU met haar New Green Deal) die het akkoord van Parijs hebben ondertekend, zullen hun beleid op het klimaatthema gaan aanpassen, waardoor de uiteindelijke effecten er nog weer heel anders uit kunnen gaan zien, ook met betrekking tot de effecten op derde (niet-EU-)landen.

4.4 Economische effecten

Algemeen

De emissies vanuit de landbouw zijn in deze scenariostudie via twee sporen teruggebracht tot het niveau dat benodigd is voor realisatie van de gestelde doelen: ten eerste via een verbetering van de emissie-efficiëntie (verlaging van de emissie per eenheid product, dier of hectare) door technische maatregelen en in de tweede plaats door inkrimping van de productie (bijvoorbeeld het aantal dieren). Deze 'afgedwongen' reductie in emissies kan uiteraard invloed hebben op de concurrentie- en inkomenspositie van de landbouw (en de aan landbouw gerelateerde activiteiten):

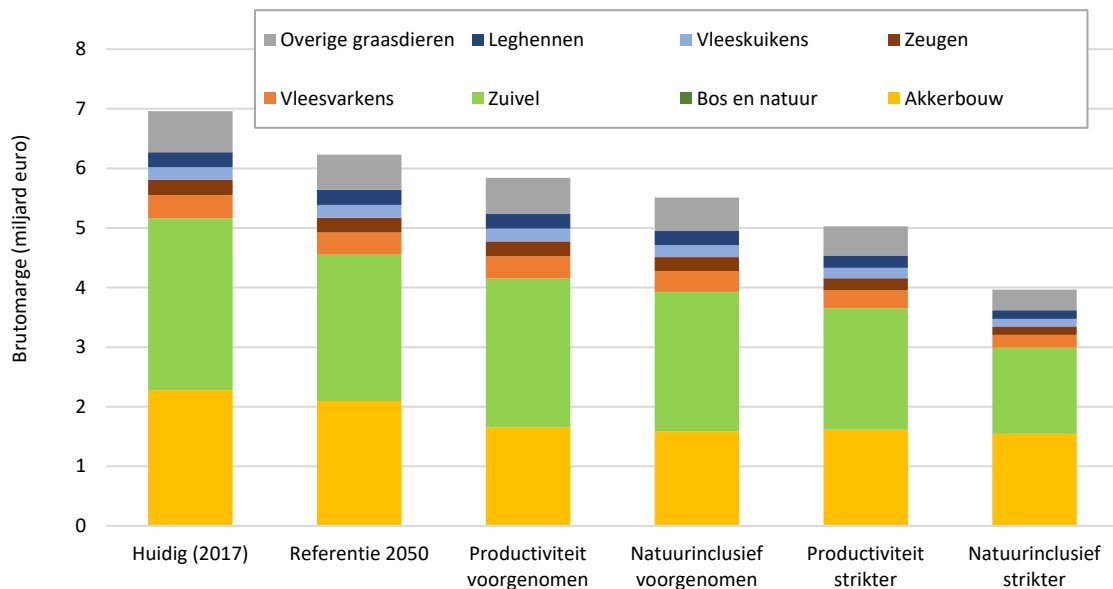
1. De inkrimping van de economische activiteit (bijv. de veestapel) leidt tot een reductie aan inkomsten, omdat de economische omvang van de sector afneemt.
2. Het verbeteren van de emissie-efficiëntie vraagt om allerlei emissie-reducerende maatregelen, waar kosten (en investeringen) aan verbonden zijn.

In deze paragraaf wordt een inschatting gegeven van die effecten, waarbij met name wordt ingezoomd op punt 1. Wat betreft de kosten en benodigde investeringen van de in deze studie gebruikte mitigatiepakketten is te weinig informatie beschikbaar om een goede kwantitatieve inschatting te maken van het economische effect in 2050. De reden hiervoor is dat het onmogelijk is om deze op een realistische manier in te schatten met een tijdshorizon van dertig jaar. Ten eerste is onduidelijk hoe prijsverhoudingen en kosten voor technische innovaties zich over een dergelijke periode gaan ontwikkelen. Ten tweede is in deze studie niet gespecificeerd via welke beleidsinstrumentenmaatregelen gestimuleerd zullen gaan worden. Daarom is besloten om dit alleen kwalitatief te beoordelen (zie paragraaf 4.5.1). Dit betekent dat de hier gepresenteerde economische impacts onvolledig zijn, omdat een deel van de kosten die aan de omslagscenario's verbonden is, niet is meegerekend.

Sectorale resultaten en markteffecten

In Figuur 21 is het effect van de scenario's op de brutomarge van de landbouw aangegeven. Hierin is, zoals hierboven toegelicht, het eerste effect (inkrimping van de activiteit) meegenomen, maar het tweede effect (kosten en investeringen van emissie-reducerende maatregelen) niet. Het weergegeven effect op de brutomarge is daarmee waarschijnlijk een onderschatting: het werkelijke verlies aan brutomarge kan hoger zijn, omdat er netto kosten voor de maatregelen moeten worden gemaakt die in de huidige weergave nog niet zijn verrekend. In paragraaf 4.5.1 wordt hier kwalitatief wel op ingegaan.

De brutomarge van de geanalyseerde sectoren bedraagt in het referentiescenario (Referentie 2050) in totaal circa 6 miljard euro. Het verloop van de (totale) brutomarge weerspiegelt het verloop van de impact van de scenario's op de omvang van de economische activiteiten. Dit hangt weer samen met het verloop van het aantal dieren en het landgebruik. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario neemt de brutomarge met circa 6% af. Bij het *Natuurinclusief strikter*-scenario is het verlies aan brutomarge het grootst en ligt deze naar schatting ruim 2 miljard euro (35%) lager dan in het referentiescenario. Van het berekende verlies aan brutomarge komt meer dan de helft voor rekening van de zuivelsector. Dat hangt enerzijds samen met het relatief hoge aandeel van de zuivelsector in de totale brutomarge en anderzijds met de impact van de milieubeperkingen op de zuivelsector.



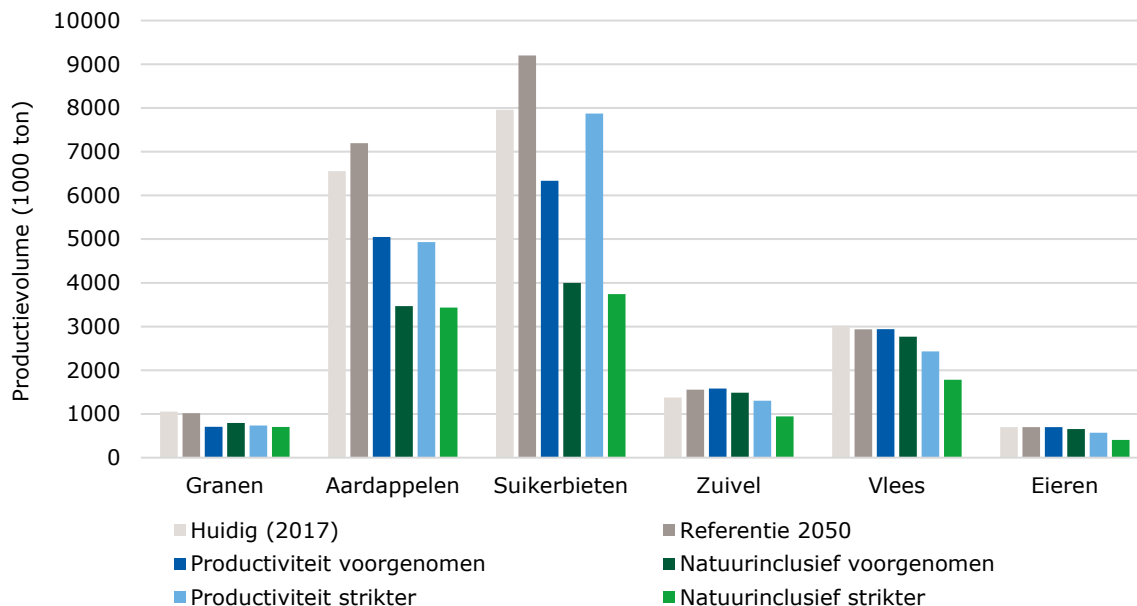
Figuur 21 Omvang en samenstelling van brutomarge in de landbouw voor de huidige situatie (2017) en de verschillende 2050-scenario's.

Hierboven is al opgemerkt dat deze veranderingen in de brutomarge exclusief de extra kosten zijn die zullen moeten worden gemaakt om de te nemen emissiereductiemaatregelen te financieren. Er is ook geen rekening gehouden met eventuele extra inkomsten, bijvoorbeeld doordat via de markt een 'meerwaarde' van kringloopproducten (hogere prijs) kan worden gerealiseerd. Het is verder niet denkbeeldig dat de transitie naar kringlooplandbouw, naast hogere consumentenprijzen, ook gefaciliteerd zal worden door het beleid, bijvoorbeeld via betalingen voor het voldoen aan bovenwettelijke eisen met betrekking tot duurzaamheid. De rol van beleidsbetalingen en de manier waarop deze vorm zouden kunnen krijgen, zijn geen onderdeel van deze studie geweest (zie verder paragraaf 4.5.1).

Volumeontwikkelingen

In de akkerbouw is het beeld van de ontwikkeling van het productievolume gemengd. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario is er een reductie van het productievolume van rond de 30% bij granen, aardappels en suikerbieten, wat vooral wordt veroorzaakt door de afname van het akkerbouwareaal. De akkerbouwproductie bij *Productiviteit strikter* is vergelijkbaar met het *Productiviteit voorgenomen*-scenario. In beide *Natuurinclusieve* scenario's loopt de akkerbouwproductie het meest terug, vooral door een halvering van de aardappel- en suikerbietproductie (Figuur 22).

Bij de dierlijke productie neemt in het referentiescenario de melkproductie toe met 13% vergeleken met 2017. Ook al daalt het aantal melkkoeien, de melkopbrengst per koe neemt sterker toe. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario zijn de dierlijke productie volumes vergelijkbaar met het referentiescenario. Omdat het uitgangspunt wordt gehanteerd dat de dierlijke sectoren proportioneel moeten bijdragen aan emissiereductie, wordt in de figuur voor vlees het totaal van de vleesproductie gepresenteerd en niet per subsector. De reductie van de dierlijke productievolumes loopt op in de scenario's *Natuurinclusief voorgenomen*, *Productiviteit strikter* en *Natuurinclusief strikter*. In het laatste geval ligt de afname van de dierlijke productie in de orde van grootte van 40 tot 50%. Vanwege het uitgangspunt dat de dierlijke sectoren in gelijke mate zullen worden aangeslagen om bij te dragen aan emissiereductie, liggen de dalingen in de productie van zuivel, varkensvlees, slachtkippen, eieren en bij overige graasdieren in dezelfde orde van grootte. De kleine verschillen die in de grafiek te zien zijn, zijn het gevolg van procentuele verschillen in de uitgangspunten ten aanzien van de productiestijging per dier.



Figuur 22 Productievolumes voor de belangrijkste gewassen en dierlijke producten voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's.

Veranderingen in handelspositie

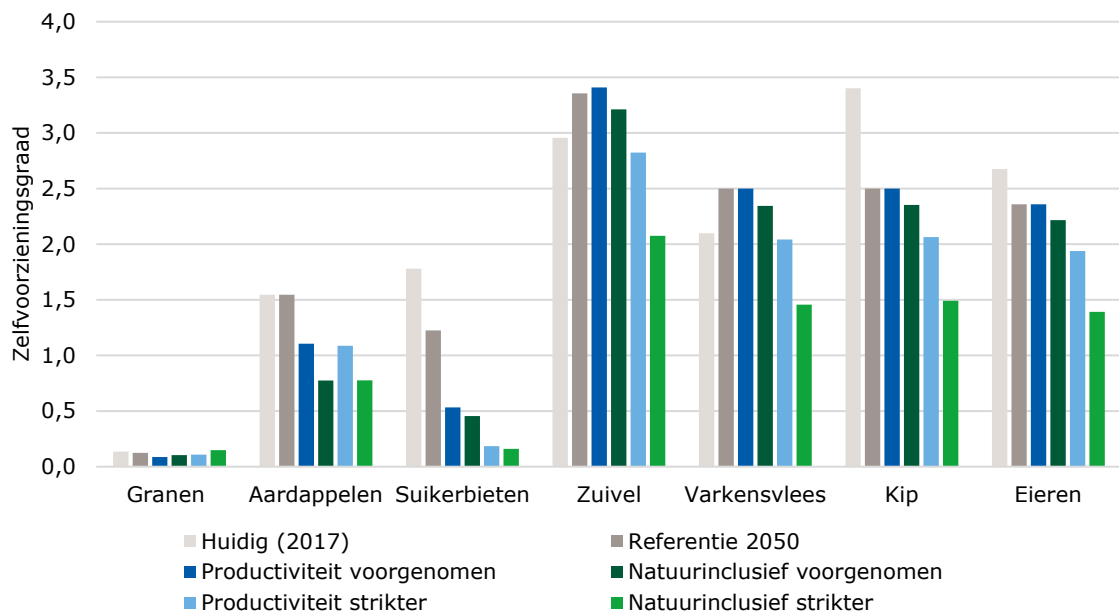
Omdat er in de scenario's aanzienlijke aanpassingen in de productie optreden bij min of meer gelijkblijvende consumptieniveaus, zijn er naar verwachting sterke effecten op de netto-handel. Het algemene patroon is dat Nederland minder exporterend zal worden, of in een aantal gevallen van een exporteur zal switchen naar een importeur. In alle vier scenario's blijft Nederland een tekortland voor granen, met een zelfvoorzieningsgraad in de orde van grootte van 10 tot 15% (Figuur 23). Bij aardappelen, waarvoor geldt dat Nederland in de uitgangssituatie een zelfvoorzieningsgraad heeft van ruim 150%, daalt deze tot beneden de 100% voor de natuurinclusieve scenario's. Nederland wordt dan per saldo dus importerend, omdat het niet langer in de eigen behoefte kan voorzien. Bij suikerbieten daalt de zelfvoorzieningsgraad bij alle scenario's tot onder de 100% en wordt Nederland netto-importeur voor suiker.

In alle vier scenario's blijft Nederland naar verwachting een exporteur van zuivelproducten. Bij zuivel heeft Nederland in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario in 2050 een geschatte zelfvoorzieningsgraad van circa 335% (of 3,35). In het *Natuurinclusief strikter*-scenario loopt de zelfvoorzieningsgraad met circa 1/3 terug naar 2,0.

Bij vlees ligt het beeld gemengder. Voor varkensvlees neemt de zelfvoorzieningsgraad toe en bij kip neemt deze af in het referentiescenario; dit komt door een verschuiving in de consumptie, waarbij in Nederland minder varkensvlees en meer kip wordt gegeten in 2050. Voor de vier 2050-scenario's volgt de zelfvoorzieningsgraad de trend in dierlijke productie. Zelfs in het *Natuurinclusief strikter*-scenario, met een afname van de veestapel met 42%, blijft Nederland nog een netto-exporteur van varkensvlees en kip. Hierbij is puur naar het netto-effect op de in Nederland plaatsvindende productie gekeken. De praktijk is complexer, omdat Nederland enerzijds levende dieren (varkens) exporteert die elders worden geslacht en/of levende dieren importeert (pluimvee) die in Nederland wordt geslacht. In dat laatste geval wordt dit in de statistieken wel als Nederlandse vleesproductie weergegeven, maar het is duidelijk dat het niet gaat om productie van levende have die oorspronkelijk in Nederland plaatsvond. Bovendien leidt de vleesverwaarding in onderdelen (vierkantsverwaarding) ertoe dat bepaalde onderdelen naar derde landen zullen blijven worden geëxporteerd, ook als de zelfvoorzieningsgraad onder de 100% daalt.

Bij eieren geldt, net als bij zuivel, dat Nederland een zelfvoorzieningsgraad houdt die hoger is dan 100%, teruglopend van circa 235% in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario tot 140% in het

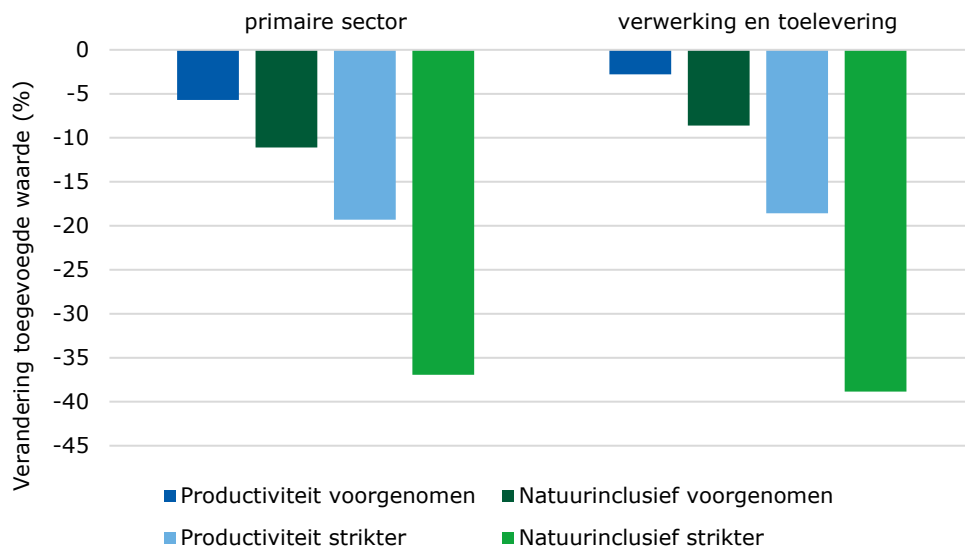
Natuurinclusief strikter-scenario. Nederland blijft dus in alle vier scenario's een netto-exporteur van eieren.



Figuur 23 Zelfvoorzieningsratio's voor de huidige situatie (2017) en de 2050-scenario's.

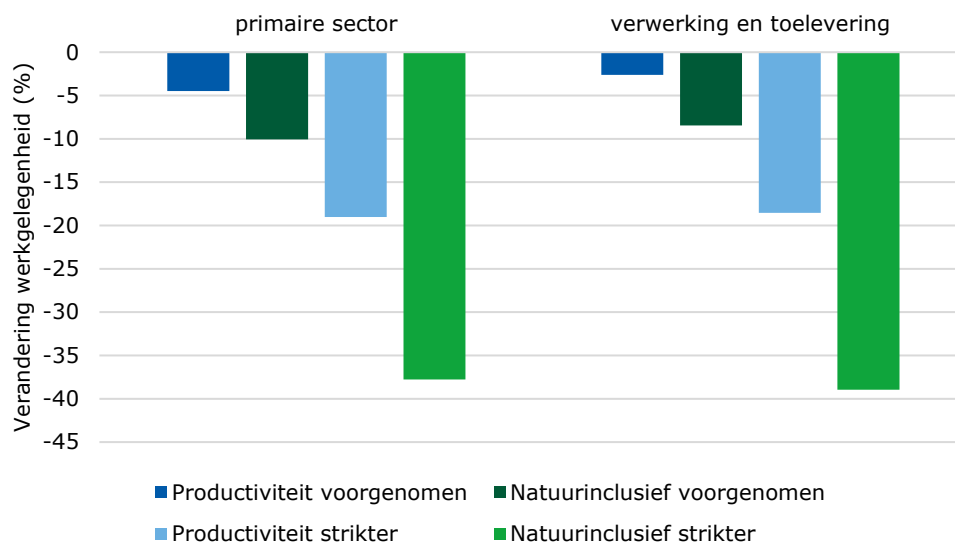
Samenhangende sectoren en werkgelegenheid

Figuur 24 en Figuur 25 geven de veranderingen in toegevoegde waarde en werkgelegenheid bij de verschillende scenario's weer, uitgedrukt in procentuele veranderingen ten opzichte van het referentiescenario. Een complicatie bij de bepaling van de effecten op gerelateerde sectoren (bijv. de toeleverende en verwerkende industrie) is dat alleen oordeelsvorming mogelijk was, door uit te gaan van de bestaande verhoudingen en ketenrelaties. In 2050 kan en zal dat er waarschijnlijk anders uit gaan zien dan vandaag het geval is en de gemaakte schattingen moeten dus als indicatief worden gezien. In de analyse is zowel de impact bij de primaire sector als de impact op de aan de landbouwsector gerelateerde sectoren meegenomen. Zowel voor de toegevoegde waarde als de werkgelegenheid geldt dat deze in het extreemste scenario (*Natuurinclusief strikter*) met circa 40% kan dalen. In vergelijking met de huidige situatie komt dat neer op een verlies aan toegevoegde waarde van bijna 7 miljard euro voor de Nederlandse economie als geheel, waarvan circa 1 miljard euro bij de primaire productielandbouw. Er is voorzichtigheid geboden om de verandering in de toegevoegde waarde in de primair landbouw en het gerelateerde agrocomplex te gebruiken als indicator voor de bijdrage van de landbouw aan de nationale economie. De toegevoegde waarde-indicator geeft bijvoorbeeld geen inzicht in de bij de diverse scenario's waarschijnlijke 'bijkomende' maatschappelijke kosten (dit geldt trouwens ook voor de eerder besproken brutomarge-indicator). Zo mag bijvoorbeeld worden verwacht dat de maatschappelijke kosten (herstelinvesteringen in lucht, water, bodem) bij de natuurinclusieve scenario's lager zullen zijn dan bij de productiviteit-gedreven scenario's. Voor een totaalbeeld zou het goed zijn om de bijdrage van de landbouwsector aan de economie in de vorm van de toegevoegde waarde en de maatschappelijke kosten (als economische maatstaf voor afwentelingseffecten) samen te nemen.



Figuur 24 Verandering in toegevoegde waarde (inkomen) in primaire en verwerking en toelevering (in % t.o.v. de referentie).

Wat betreft de werkgelegenheid betekent dat een indicatief verlies aan fulltime arbeidsplaatsen in het extreemste scenario (*Natuurinclusief strikter*) in de orde van grootte van een kleine 100 duizend arbeidsplaatsen denkbaar is. Dit omvat dan zowel werkers in de landbouw als bedrijfshoofden (en bedrijven).



Figuur 25 Verandering in werkgelegenheid per scenario voor de totale landbouw (primaire sectoren) en de daaraan gerelateerde verwerkende en toeleverende industrie (in % t.o.v. de referentie).

4.5 Overige effecten

4.5.1 Verdienmodel

In paragraaf 4.4 is aangegeven dat bij de berekening van de impact op de primaire sector geen rekening is gehouden met kosten en investeringen voor de technische mitigatiemaatregelen. Er is ook geen rekening gehouden met eventuele extra inkomsten, bijvoorbeeld doordat via de markt een 'meerwaarde' van kringloopproducten (hogere prijs) kan worden gerealiseerd. Om hier toch een beeld van te kunnen geven, is gebruikgemaakt van kwalitatieve expert inschatting. In onderstaande tabellen zijn de kwalitatieve scores voor het verwachte effect op opbrengsten en kosten voor primaire bedrijven weergegeven. De scores zijn gebaseerd op expertkennis (zie paragraaf 3.4.2). De +-scores betreffen verwachte toenames ten opzichte van het referentiescenario. Dit geldt ook voor de kosten: een + betekent dus bij kosten een ongunstig effect en bij opbrengsten een gunstig effect. De omvang van de effecten is kwalitatief aangegeven: bij een sterker verwacht effect is gebruikgemaakt van ++ of +++. Varkens en pluimvee zijn in één tabel samengevoegd, omdat de uitkomsten niet noemenswaardig verschilden.

Tabel 14 Kwalitatieve beoordeling van verwachte effecten van kosten en opbrengsten op het verdienenmodel voor melkveebedrijven. Score is ten opzichte van het referentiescenario (- betekent negatief effect op verdienenmodel en + betekent positief effect op verdienenmodel).

Sector: melkvee	Verwachte effecten door verschil in ontwikkeling kosten per onderdeel:					Verwachte effecten door verschil in ontwikkeling opbrengsten als gevolg van:			
	Grond	Mestafzet	Directe kosten*	Gebouwen	Arbeid, loonwerk, machines	Prijsveranderingen (vraag/aanbod)	Meerwaarde uit markt	Andere diensten	
Productiviteit voorgenomen	0	-	-	--	-	0	+	0	
Natuurinclusief voorgenomen	--	+	-	-	-	0	+	+	
Productiviteit strikter	-	--	--	---	-	0	+	0	
Natuurinclusief strikter	--	+	-	-	-	0	+	+	

*) Kosten voor externe grondstoffen (energie, krachtvoer, zaaizaad, gewasbescherming en meststoffen) en diergebonden kosten (dierenarts, veeverbetering e.d.).

Tabel 15 Kwalitatieve beoordeling van verwachte effecten van kosten en opbrengsten op het verdienenmodel voor akkerbouwbedrijven. Score is ten opzichte van het referentiescenario (- betekent negatief effect op verdienenmodel en + betekent positief effect op verdienenmodel).

Sector: akkerbouw	Verwachte effecten door verschil in ontwikkeling kosten per onderdeel:					Verwachte effecten door verschil in ontwikkeling opbrengsten als gevolg van:			
	Grond	Mestafzet	Directe kosten*	Gebouwen	Arbeid, loonwerk, machines	Prijsveranderingen (vraag/aanbod)	Meerwaarde uit markt	Andere diensten	
Productiviteit voorgenomen	-	0	0	0	0	0	0	0	
Natuurinclusief voorgenomen	0	-	-	0	-	0	+	+	
Productiviteit strikter	++	--	-	-	-	+	0	0	
Natuurinclusief strikter	++	---	--	-	-	+	+	+	

*) Kosten voor externe grondstoffen (energie, krachtvoer, zaaizaad, gewasbescherming en meststoffen).

Tabel 16 Kwalitatieve beoordeling van verwachte effecten van kosten en opbrengsten op het verdienmodel voor varkens en pluimveebedrijven. Score is ten opzichte van het referentiescenario (- betekent negatief effect op verdienmodel en + betekent positief effect op verdienmodel).

Sector: varkens en pluimvee	Verwachte effecten door verschil in ontwikkeling kosten per onderdeel:					Verwachte effecten door verschil in ontwikkeling opbrengsten als gevolg van:			
	Grond	Mestafzet	Directe kosten*	Gebouwen	Arbeid, loonwerk, machines	Prijsveranderingen (vraag/aanbod)	Meerwaarde uit markt	Andere diensten	
Productiviteit voorgenomen	n.v.t.	0	0	-	0	0	0	0	
Natuurinclusief voorgenomen	n.v.t.	0	--	---	0	0	0	0	
Productiviteit strikter	n.v.t.	0	-	--	0	0	0/+	0	
Natuurinclusief strikter	n.v.t.	0	---	---	0	0	++	0	

*) Kosten voor externe grondstoffen (energie, krachtvoer) en diergebonden kosten (dierenarts, veeverbetering e.d.).

Bij alle sectoren is de inschatting dat de kosten stijgen ten opzichte van het referentiescenario: bij natuurinclusieve landbouw meer dan bij productiviteit-gedreven landbouw en bij strengere milieudoelen meer dan bij voorgenomen milieudoelen. Uitzonderingen zijn mestafzet en kosten voor arbeid, loonwerk en machines bij varkens en pluimvee. Bij akkerbouw is er een wisselende verwachting ten aanzien van grond: bij productie-gedreven landbouw wordt een hogere grondprijs verwacht, omdat meer hoog salderende gewassen zullen worden geteeld en bij natuurinclusieve landbouw juist het tegenovergestelde. Daar betekenen laag salderende gewassen dat de akkerbouwer eenvoudigweg alleen lagere grondprijzen kan opbrengen. Tegelijkertijd lijken de grondprijzen voor melkveehouders hoger te worden bij natuurinclusieve landbouw, omdat meer grond per dier of per 100 kg melk nodig is. Dat kan betekenen dat melkveehouders de akkerbouw gaan verdringen of dat akkerbouwers meer geld kunnen verdienen met de teelt van eiwithoudende gewassen voor de melkveehouderij. In het laatste geval hoeven melkveehouders de eiwithoudende gewassen dan niet zelf te telen.

Ten aanzien van mest is de inschatting dat de kosten voor melkveehouders dalen bij natuurinclusieve landbouw, omdat dan meer grond zelf wordt gebruikt zodat minder mest elders afgezet hoeft te worden. In de akkerbouw worden hogere prijzen voor bemestingsproducten verwacht bij de strengere milieudoelen, omdat duurdere meststoffen nodig zullen zijn en meer gebruik van duurdere vaste (stro)mest in het geval van natuurinclusieve landbouw. Voor de veehouderijsectoren worden hogere directe kosten verwacht, vooral vanwege beperkingen in de keuze van veevoergrondstoffen, terwijl de akkerbouw vooral duurdere middelen voor gewasbescherming voorziet. Verder zullen de kosten van gebouwen stijgen voor de veehouderijsectoren door extra eisen, zowel voor emissiebeperking (met name in *Productiviteit strikter*) als voor het voldoen aan de gestelde eisen voor uitloop (natuurinclusieve scenario's).

Mede omdat de Nederlandse landbouw opereert in een exportafhankelijke markt, zullen hogere opbrengsten vooral moeten komen uit meerwaarde op de te verkopen producten via o.a. keurmerken en streekproducten. Hierbij is dan wel vereist dat consumenten inzicht hebben in de bedrijfsvoering en dat zij bereid zijn daarvoor extra te betalen. Omdat Nederlandse agroproducten voor een deel in het buitenland worden geconsumeerd (in EU of daarbuiten), is het creëren van generieke meerwaarde voor Nederlandse agroproducten niet eenvoudig. De realisatie van meerwaarde lijkt zich vooral tot de nationale schaal te beperken (bijvoorbeeld via versterking van korte ketens), hoewel er ook in voor Nederland belangrijke exportregio's (bijvoorbeeld in Noordwest-Europa) een toename van het aantal consumenten is dat betrokken is of raakt op duurzaamheid en dierenwelzijnsissues (zie ook rapport van Taskforce verdienvermogen¹⁴). Daarnaast kunnen er voor grondgebonden sectoren andere

¹⁴ https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/10/07/goed-boeren-kunnen-boeren-niet-alleen_rapport-van-de-taskforce-verdienvermogen-kringlooplandbouw

inkomsten beschikbaar komen vanwege het leveren van ecosysteemdiensten (bijv. natuur/biodiversiteit, waterbuffering e.d.) en worden voor de akkerbouw hogere prijzen voorzien in geval van natuurinclusieve landbouw, door een lagere productie van gewassen als aardappelen. Bij varkens en pluimvee worden er alleen mogelijkheden gezien voor hogere opbrengsten via marktconcepten in het geval van natuurinclusieve landbouw.

Alles overziend, is de verwachting dat de kosten meer zullen stijgen dan de opbrengsten, wat zal leiden tot een meer of minder sterke sanering en schaalvergroting: alleen de beter presterende bedrijven kunnen verder. De melkveehouderij lijkt daarbij nog de minst slechte papieren te hebben. De varkens- en pluimveehouderij krijgen het moeilijker in de productiviteit-gedreven landbouw, want dan staan er tegenover de hogere kosten naar verwachting geen hogere opbrengsten. Er zijn ook samenwerkingsperspectieven, vooral bij natuurinclusieve landbouw: de akkerbouw kan de dan lager salderende gewassen mogelijk enigszins compenseren met de teelt van eiwithoudende voedergewassen, waarvoor de veehouderij een voor de akkerbouw passende prijs betaalt. De veehouderijsectoren hebben dan minder grond in eigen gebruik nodig dan zonder deze uitwisseling.

Een laatste aspect dat gerelateerd is aan het verdienmodel, is de structuurontwikkeling in de landbouw. Het viel buiten de scope van dit onderzoek die te differentiëren naar de scenario's. Algemene verwachting is dat de continue trend van schaalvergroting (wijkers zorgen voor toename omvang van de blijvers) van de afgelopen decennia ook in de toekomst doorzet. De met schaalvergroting gepaard gaande toename van de arbeidsproductiviteit is een belangrijke factor voor de inkomensgroei per bedrijf. Per saldo is dit ook een drijvende kracht achter de daling van de (arbeids)kosten per eenheid product. De verwachting is dat ook in de toekomst inkomensgroei door schaalvergroting nodig blijft om bij een krimpende winstmarge per eenheid product toch nog op een acceptabel inkomstenniveau per arbeidskracht uit te komen. Het is echter moeilijk aan te geven hoe zich dit zal ontwikkelen in de verschillende scenario's.

4.5.2 Biodiversiteit

Kansen voor agrobiodiversiteit

Bij de agrobiodiversiteit wordt onderscheid gemaakt tussen de melkveehouderij en de akkerbouw. In de melkveehouderij wordt veel blijvend grasland gebruikt waar minder sprake is van verstoring van bodem en vegetatie dan bij de akkerbouw, waar ieder jaar de grond wordt bewerkt en een nieuw gewas wordt gezaaid of gepoot. De gekozen scenario's geven slechts hoofdrichtingen aan: een sterk op productiviteit gerichte landbouw en een extensieve, natuurinclusieve landbouw. Binnen de beide hoofdrichtingen zijn veel mogelijkheden om zowel de agrobiodiversiteit als het landschap en de soortenbiodiversiteit ten positieve of ten negatieve te beïnvloeden. De bedrijfsvoering kan in beide hoofdrichtingen een grotere invloed uitoefenen dan de hoofdrichtingen zelf (Tabel 17).

De scenario's met 'productiviteit-gedreven landbouw' hebben door hun oriëntatie wel minder kansen om agrobiodiversiteit en soortendiversiteit op het bedrijf te stimuleren dan de natuurinclusieve scenario's. In de akkerbouw heeft dat te maken met het bouwplan en de gewaskeuze: bij de natuurinclusieve bedrijfsvoering zijn er minder aardappelen en suikerbieten, wat zorgt voor een beperkter gebruik van bestrijdingsmiddelen. Dat kan een positief effect hebben op de aanwezigheid van insecten en boerenlandvogels. Ook zal de intensiteit van de grondbewerking afnemen door de afname van de rooivruchten. Het organische stofgehalte kan daardoor hoger worden. De positieve effecten van het extensievere bouwplan kunnen echter geheel teniet worden gedaan door grootschalige teeltmethoden. De ruimtelijke variatie in de teelt van gewassen, zoals toegepast in de strokenteelt, heeft een veel grotere positieve bijdrage op beide typen van biodiversiteit. De ruimtelijke gewasvariatie en het beheer van sloten en perceelranden is niet in de scenario's beschreven en kan in beide scenario's worden uitgevoerd. Eenzelfde effect is te verwachten in de melkveehouderij: in de natuurinclusieve scenario's zal er meer gras en minder mais zijn, wat een positief effect kan hebben op beide typen biodiversiteit en op het organische stofgehalte van de bodem. Het gebruik van technologie en automatisering is niet onderscheidend, het kan in beide scenario's zonder problemen worden toegepast.

Het aanplanten van bos om een extra vastlegging te creëren, kan een positief effect hebben op de biodiversiteit. Bij het *Productiviteit strikter*-scenario zal het bos strikt gescheiden zijn van de landbouw, omdat het als een potentiële verstoring wordt gezien. De winst voor agrobiodiversiteit is dan nihil, wel is er sprake van winst voor soortenbiodiversiteit, al gaat het dan niet meer om boerenlandsoorten. In het natuurinclusieve scenario zal agroforestry worden toegepast, de combinatie van houtteelt en gewassen of gras. Dat zal niet overal kunnen (de open veen- en kleiweidelandschappen), maar daar waar het wordt toegepast, zal de biodiversiteit sterk kunnen toenemen.

Kansen voor landschap en soortenbiodiversiteit

Ook hier geldt dat de bedrijfsvoering binnen de scenario's sterker bepalend kan zijn dan de scenario's zelf (Tabel 17). De biodiversiteit kan in beide worden bevorderd, maar ook worden verminderd. Maar de natuurinclusieve scenario's bieden wel meer kansen voor landschap en soortenbiodiversiteit dan de productiviteit-gedreven scenario's. Dat is gebaseerd op de extensieve bouwplannen, het grotere aandeel gras bij melkvee en de mindere inzet van bestrijdingsmiddelen en meststoffen. Het *Productiviteit strikter*-scenario zet het sterkst in op conditionering van de productieomgeving en is daarmee de vergaandste vorm van landsparing. Door het intensiveren van de productie op de vruchtbaarste gronden, is er elders minder landbouwgrond nodig; deze grond kan dan gebruikt worden voor natuur- en biodiversiteitsbehoud. Deze ruimte voor natuur ligt dan echter grotendeels buiten Nederland. De aanplant van 270 duizend ha bos en ook een deel veenweide dat uit landbouwproductie gaat, bieden echter ook kansen voor landschap en soortenbiodiversiteit buiten de landbouw. De verkleining van de veestapel bij het *Natuurinclusief strikter*-scenario kan betekenen dat vee elders wordt gehouden, met mogelijk risico op afwenteling door verlies aan biodiversiteit elders.

Tabel 17 Score van de scenario's voor de biodiversiteit indicatoren agrobiodiversiteit en landschappelijke kwaliteit en soortenbiodiversiteit.

	Productiviteit voorgenomen	Natuurinclusief voorgenomen	Productiviteit strikter	Natuurinclusief strikter
Agrobiodiversiteit akkerbouw	-	+	-	+
Agrobiodiversiteit melkveehouderij	-	+	-	+
Landschap en soortenbiodiversiteit	-	+	0	++
Effect van bedrijfsvoering in alle scenario's	Van -- tot ++	Van -- tot ++	Van -- tot ++	Van -- tot ++

4.5.3 Dierenwelzijn

In de volgende paragrafen is samengevat op welke manier de aanpassingen in stallen, weidegang/uitloop, fokkerij, productiviteit en rantsoenen het welzijn van varkens, koeien en kippen kunnen beïnvloeden ten opzichte van het referentiescenario. Deze beschrijving is gebaseerd op een meer gedetailleerde uitleg die is opgenomen in Bijlage 3. Naast deze beschrijving zijn implicaties van de scenario's voor het welzijn van dieren samengevat in een positieve dan wel negatieve score.

Tabel 18 Mogelijke implicaties¹ van de verschillen tussen scenario's voor het welzijn van melkvee, varkens en pluimvee, ten opzichte van het referentiescenario (expertopinie).

Diersoort	Aspecten	Scenario			
		Voorgenomen productiviteit	Voorgenomen natuurinclusief	Strikter productiviteit	Strikter natuurinclusief
Melkvee	Stalinrichting	0	0	-	0
	Weidegang	0	++	--	++
	Dier & productiviteit	0	+	-	+
	Rantsoen	0	0	0	0
Varkens	Stalinrichting	+	+	+	+
	Uitloop	0	0/+	0/-	0/+
	Dier & productiviteit	0	+	-	+
	Rantsoen	0	+	0	+
Pluimvee	Stalinrichting	0	++ ^a / - ^b	-- ^a / + ^b	++ ^a / - ^b
	Uitloop	0	+	--	+
	Dier & productiviteit	0	++ ^c / 0 ^d	-- ^c / 0 ^d	++ ^c / 0 ^d
	Rantsoen	0	0	0	0

1) Toelichting gebruikte tekens: -- (zeer negatieve implicaties voor het welzijn van dieren), - (negatieve implicaties),

0 (neutraal, nauwelijks/geen negatieve of positieve implicaties), + (positieve implicaties), ++ (zeer positieve implicaties)

a) Uiten van soort specifiek gedrag

b) Gezondheid en thermoregulatie

c) Vleeskuikens

d) Leghennen

Voor het referentiescenario is een voortzetting van de huidige praktijken in de veehouderij aangenomen. In de huidige veehouderij openbaren de belangrijkste welzijnsproblemen zich als volgt:

- Melkvee: gezondheidsstoornissen (mastitis, klauw- en locomotieproblemen, reproductie- en stofwisselingsstoornissen), technopathieën (beschadigingen aan huid, hakken, knieën en benen) en een tekort aan comfort en beweging(svrijheid) (harde, vuile, natte vloeren, krappe boxen, harde ligbodems). Vroegtijdige sterfte en moederloze opfok van kalveren, de relatief hoge producties en korte levensduur van koeien en onvoldoende mogelijkheden voor de expressie van natuurlijk gedrag worden als problematisch gezien.
- Varkens: abnormaal/ongewenst gedrag en technopathieën (staartbijten, oorbijten, flankbijten, belly nosing, stereotiep gedrag, agressie, huidlaesies), gezondheidsproblemen (kreupelheid, longproblemen, maagzweren, biggensterfte), aantasting van de integriteit (castratie, staartcouperen, tandenknippen) en gedragsbeperkingen (geen/beperkte mogelijkheid tot wroeten, nest bouwen, modderbad nemen, omdraaien (kraamzeugen), thermoregulatorisch gedrag, etc.).
- Pluimvee: gezondheidsproblemen (voetzool- en pootproblemen en daarmee gepaard gaande locomotieproblemen bij vleeskuikens), abnormaal/ongewenst gedrag en technopathieën (beschadigend pikgedrag, borstbeenbreuken bij leghennen; huidbeschadigingen bij vleeskuiken-ouderdier-hennen), aantasting van de integriteit (snaveln behandelen bij vleeskuiken-ouderdieren, tenen knippen bij hanen van vleeskuiken-ouderdieren; extreme lichaamsbouw bij vleeskuikens, waardoor normaal bewegen beperkt wordt) en gedragsbeperkingen (geen/beperkte mogelijkheid tot stofbaden en scharrelen).

Stallen

In alle scenario's wordt mest primair gescheiden (melkvee en varkens) of gedroogd (pluimvee) en vaker verwijderd uit stallen. Daardoor zal de luchtkwaliteit (o.a. concentraties aan ammoniak en fijnstof) voor alle diersoorten vermoedelijk verbeteren ten opzichte van het referentiescenario, wat longproblemen en ontstekingen kan voorkomen of verminderen. Schonere en drogere vloeren leiden tot een betere hygiëne van de leefomgeving, poten en huid en tot minder infecties, minder uitglijden en minder kreupelheid. De specifieke keuze van mestscheidingstechniek kan echter neveneffecten hebben voor het welzijn van melkvee en varkens, hetgeen positief dan wel negatief kan uitpakken. Bij scheidingsvloeren moet mest voldoende worden verwijderd zonder de vloeren glad te maken of dieren te hinderen in hun gedrag. Ook voor pluimvee geldt dat het drogen en vaker uit de stal verwijderen van mest de kwaliteit van het binnenklimaat verbetert, wat verenpikken bij leghennen kan

verminderen. Het drogere strooisel biedt tevens meer mogelijkheden voor soortspecifiek scharrel- en stofbadgedrag, kan de incidentie van voetzoollaesies bij vleeskuikens verlagen en geeft bij leghennen en vleeskuiken-ouderdieren minder kans op via mest overdraagbare aandoeningen (coccidiose). Het droge strooisel levert echter veel fijnstof op en daardoor mogelijk gezondheidsproblemen. Het fijnstofprobleem zal toenemen naarmate het strooisel droger is en door de grote hoeveelheid stof, zal het filteren van de lucht moeilijk zijn.

Pluimvee- en varkensstallen zijn gesloten in de productiviteit-gedreven scenario's, en hebben uitloopopeningen in de natuurinclusieve scenario's. In gesloten stallen zijn het klimaat en de luchtkwaliteit beter te regelen dan in stallen met uitloopopeningen, met bovengenoemde voordelen. Dieren hebben mogelijk voordeel van frisse buitenlucht in de natuurinclusieve scenario's, maar er is ook een wat minder goede temperatuurregeling in de stal als gevolg van de uitloopopeningen. Om de warmte in de stal te houden, wordt in huidige stalsystemen de ventilatie vaak beperkt, waardoor het strooisel verslechtert en stalklimaat niet optimaal is (hoge gehalten aan ammoniak). Leghennen worden in het *Productiviteit strikter*-scenario gehouden in kooisystemen (koloniehuisvesting), waarbij mestbehandeling voor een beter klimaat zorgt dan in andere scenario's en het stofniveau naar verwachting veel lager is dan in strooiselsystemen. Kooisystemen bieden echter minder faciliteiten (m.n. minder strooisel) en ruimte per dier dan stallen waarin de dieren vrij rondlopen, waardoor er minder mogelijkheden zijn tot het uiten van soortspecifiek gedrag. Daarnaast geven draadgazenroosteroppervlakten met name bij zwaardere dieren risico's op borstirritatie/blaren, voetzoolproblemen en slechte locomotie. Plastic roosteroppervlakten geven risico op mestvervuiling. Samenvattend kennen alle staltypes zowel voordelen als nadelen voor dierenwelzijn. Er vindt doorlopend onderzoek plaats naar stalontwerpen die in meerdere opzichten optimaal fungeren.

Melkveestallen zijn alleen in het *Productiviteit strikter*-scenario gesloten. Een welzijnsnadeel van de dichte stal voor melkvee is dat koeien, in vergelijking met open stallen of de weide, fors minder worden blootgesteld aan een diversiteit – en daarmee gewenning – aan prikkels. Klimaatbeheersing in gesloten melkveestallen heeft als voordeel dat de temperatuur en de luchtvochtigheid beter kunnen worden afgestemd op de eisen die koeien daaraan stellen. Voor koeien wordt een temperatuur van 25°C beschouwd als de kritieke temperatuur waarboven ze gaan zweten, respiratoir vocht verliezen en een verhoogde lichaamstemperatuur krijgen. Hoogproductieve koeien produceren meer warmte, waardoor hun bovenste kritieke temperatuur waarschijnlijk 3-5 graden lager ligt. Verwacht wordt dat het aantal hittedagen in de toekomst verder zal toenemen. Het voordeel van klimaatbeheersing in het *Productiviteit strikter*-scenario zou echter weleens beperkt kunnen zijn, omdat er ook in de andere scenario's met open stallen mogelijkheden zijn om de staltemperatuur voor de koeien aangenaam te houden, zoals 's nachts weiden in plaats van overdag en het gebruik van ventilatoren of sprinklers.

In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario en de natuurinclusieve scenario wordt enterisch methaan uit ademlucht van koeien afgevangen in ligboxen. Dit hoeft geen welzijnsproblemen op te leveren, op voorwaarde dat dieren door de benodigde apparatuur niet in hun bewegingen worden belemmerd.

Weidegang en uitlopen

In het *Productiviteit strikter*-scenario hebben dieren geen toegang tot de weide of een uitloop. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario hebben een deel van het melkvee en een deel van het legpluimvee toegang tot de weide of uitloop en hebben varkens en vleeskuikens geen uitloop, op een aantal biologische bedrijven na. In de natuurinclusieve scenario's hebben alle dieren toegang tot een weide of uitloop. Weidegang en uitloop voor vee heeft in onze hedendaagse samenleving een belangrijke relatie met de maatschappelijke perceptie. Thans speelt dit vooral bij melkvee; de gemiddelde Nederlandse burger vindt het permanent opstallen van melkvee onacceptabel, zo blijkt uit een representatieve enquête (Boogaard et al., 2011).

Voor dierenwelzijn is meer weidegang en toegang tot een uitloop in de natuurinclusieve scenario's voor alle diersoorten positief beoordeeld ten opzichte van het referentiescenario. Het doen van een generieke uitspraak over het welzijn van dieren bij uitloop/weidegang en permanent opstallen heeft echter zijn beperkingen vanwege de grote variatie in management en omstandigheden. Bovendien ontbreekt het aan actuele studies waarin sprake is van een zuiver, voldoende contrast tussen beide situaties. Voor melkvee zijn er duidelijke aanwijzingen dat weidegang uit oogpunt van diergedrag en

diergezondheid voordelen heeft, maar op het niveau van het individuele dier of het bedrijf hangt dit sterk samen met de nutritionele behoeften van het dier en met de specifieke omstandigheden in de stal en in de weide. Zo kan opstallen koeien beperken in hun natuurlijk gedrag en is er meer risico op technopathieën, gebrek aan comfort, locomotieproblemen en kreupelheid naarmate koeien relatief langer op stal verblijven. Daar tegenover staat dat de stal beschutting biedt tegen slechte weersomstandigheden en de rantsoensamenstelling (energie-, eiwit en overige nutriënten) en eenvoudiger kan worden afgestemd op het individueel lactatiestadium en productieniveau.

Varkens met een verharde uitloop hebben iets minder risico op verveling, toegang tot frisse lucht, iets meer lichaamsbeweging en een uitwijkmogelijkheid voor agressieve soortgenoten in vergelijking met permanent binnen gehuisveste varkens. Daartegenover staat minder beschutting in de stal tegen slechte weersomstandigheden en bijv. tocht in de stal vanwege de uitloopopeningen. In deze studie is vanwege het risico op normoverschrijding van de mineralenuitspoeling in onverharde uitlopen gekozen voor een verharde uitloop. Een onverharde beplante uitloop geeft varkens echter substantieel meer keuze- en bewegingsvrijheid om hun soortspecifieke en individuele behoeftes te bevredigen, zoals wroeten, het opzoeken van koelere of warmere ligplaats, modderbad en voeropname van gras of andere beplanting. Het contrast van de voordelen van een uitloop t.o.v. andere scenario's wordt minder groot wanneer de situatie in de stal wordt verbeterd, bijv. door introductie van een varkenstoilet dat het gebruik van stro en andere substraten mogelijk maakt als wroetmateriaal, buikvulling en ligbed.

Een uitloop voor pluimvee biedt de dieren scharrel- en stofbadmogelijkheden en variatie in nutriënten, temperatuur en licht. Een ander voordeel van buitenuitloop is het feit dat effectief de bezettingsdichtheid in de stal omlaaggaat als een deel van de dieren buiten is. Buitenuitloop levert enerzijds een verrijking van de leefomgeving van het dier, maar anderzijds vormt het een ziekterisico voor de dieren en is er een risico op predatie. Daarnaast is het dicht bij de stal gelegen deel van de uitloop vaak kaal, omdat scharrelende kippen de begroeiing opeten en kapot scharrelen. In de buitenuitloop is de variatie in temperatuur en luchtvochtigheid groter en wordt meer gevraagd van het aanpassingsvermogen van de kip. Enerzijds zal de frisse lucht goed zijn voor het dier, anderzijds kunnen gure omstandigheden (en besmetting met ziektekiemen van wilde vogels of andere dieren) een aanslag zijn op de weerstand van het dier.

Dieren en productiviteit

Productiviteit neemt in alle scenario's toe: het meest in het *Productiviteit strikter*-scenario, het minst in het natuurinclusieve scenario. Bij melkvee wordt een hogere productiviteit in de productiviteit-gedreven scenario's gerealiseerd door genetische selectie en beter management, terwijl in de natuurinclusieve scenario's daarnaast deels andere robuustere runderrassen worden gebruikt. Een sterke toename in productiviteit van melkvee is door welzijnsexperts licht negatief beoordeeld vanwege een grotere kwetsbaarheid van dieren die niet door iedere veehouder gecompenseerd zal kunnen worden met beter management, betere voeding en huisvesting. Van belang is daarom dat ontwikkelingen in huisvesting, voeding en management gelijke tred houden met ontwikkelingen in melkproductieniveau. Ook voor varkens vormt productieverhoging een zeker welzijnsrisico. Zo kan een verdere toename in het aantal biggen per zeug resulteren in lagere geboortegewichten van biggen, wat leidt tot lagere overlevingskansen en verminderde vitaliteit en productieresultaten van vleesvarkens.

Bij vleeskuikens in het *Productiviteit strikter*-scenario hebben snelgroeiende vleeskuikens een zeer efficiënte voederbenutting, maar hebben door hun bouw en hoge gewicht aan het einde van de mestperiode snel last van voetzool- en pootproblemen en daarmee gepaard gaande locomotieproblemen. Deze problemen belemmeren hen ook om zich normaal te bewegen en om hun soortspecifieke gedrag uit te kunnen voeren. Daarbij komt dat ouderdieren van snel groeiende vleeskuikens in de opfok sterk beperkt worden in hun voergift. Tragere groeiers in het *Productiviteit voorgenomen* en de natuurinclusieve scenario's hebben minder poot- en locomotieproblemen. Voor legpluimvee worden in alle scenario's dezelfde hoogproductieve dieren gebruikt, waarbij witte hennen efficiënter in voerbenutting zijn dan bruine hennen.

Bij melkvee wordt genetisch geselecteerd op dieren met een lagere methaanemissie in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario en de natuurinclusieve scenario's. In het *Productiviteit strikter*-

scenario wordt niet specifiek gefokt op lage methaanemissie, omdat emissies worden afgevangen in de stal. Voor melkvee kunnen fokkerij-inspanningen die te eenzijdig gericht zijn op het verhogen van de productiviteit, efficiëntie of methaanreductie mogelijk afwentelingen hebben op andere functionele kenmerken en daardoor nadelig uitwerken voor het welzijn van de betrokken dieren. Een integraal fokdoel met aandacht voor zowel productiviteit als functionele kenmerken is echter al gangbaar. Hierdoor lijken gezondheidsrisico's van selectie op lagere methaan beheersbaar (bijv. in de knel komen van organen, pensverzuring), mits mogelijke nadelen tijdig in beeld zijn en betrouwbaar kunnen worden gemeten, zodat deze in het fokdoel voldoende aandacht kunnen krijgen.

Rantsoen

De verhouding mais/gras in het rantsoen van melkvee is gelijk aan de huidige situatie in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario, hoger in het *Productiviteit strikter*-scenario, en lager in de natuurinclusieve scenario's. Daarnaast worden voederadditieven voor methaanreductie bijgevoerd in het *Productiviteit voorgenomen*- en de natuurinclusieve scenario's. Voor alle diersoorten wordt het eiwitgehalte in het voer verlaagd, met name in de productiviteit-gedreven scenario's.

Een relatief hoog aandeel mais en krachtvoer in het rantsoen kan hoogproductieve koeien in het begin van de lactatie ondersteunen, maar ook meer kans op pensverzuring geven. Door het verstrekken van een rantsoen met een lagere passagesnelheid of door het dagelijks toevoegen van natriumbicarbonaat kan de balans in stand worden gehouden. Wat betreft de voederadditieven 3-nitrooxypropanol (3-NOP) en nitraat voor melkvee zijn er – indien verantwoord gebruikt – op dit moment geen aanwijzingen voor welzijnsproblemen bij koeien, maar langduriger studies moeten uitsluitel geven over eventuele risico's zoals toxiciteit.



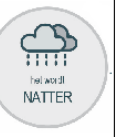




Het verstrekken van (nog) minder eiwit in het rantsoen in vergelijking met de huidige hoeveelheid wordt voor varkens als een welzijnsrisico ingeschat. Ook bij pluimvee geldt over het algemeen dat een te laag eiwitgehalte of kwalitatief minder geschikte eiwitten ervoor zorgen dat de productie verslechtert, darmproblemen optreden of beschadigend pikgedrag kan ontstaan. Bij vleeskuikenonderzoek leidde een verlaging van het eiwit in het voer tot droger strooisel en daarmee tot minder voetzoollaesies, maar de vraag is of een verdere verlaging mogelijk is zonder de productiviteit van de dieren aan te tasten. Bij ouderdieren kan voer met een hogere energetische waarde leiden tot een lagere eiwitopname, maar doordat de dieren hun voer eerder op hebben, kan het tot iets meer objectpikken leiden. Verder kan de eiwitsamenstelling een effect hebben op de kwaliteit van de bevedering en daarmee op veer- en huidschade door het treden door de hanen. Een verantwoord management bij eiwitverlaging is van belang, zoals het toevoegen van bepaalde aminozuren om deficiënties zo veel mogelijk te voorkomen.

4.5.4 Weerbaarheid tegen klimaatverandering

Bij de beoordeling is gekeken naar twee zaken: 1) het effect van de mitigatiemaatregel op de adaptatieopgave en 2) het effect van de mitigatiemaatregel op de financiële weerbaarheid van de ondernemer. De beoordeling is dus niet gericht op het inschatten van de adaptatieopgave zelf, gegeven de verwachte klimaatverandering.

Tabel 19 geeft een overzicht van de expertinschatting van de effecten van de verschillende hoofdcategorieën mitigatiemaatregelen op de adaptatieopgave en de financiële weerbaarheid. De impacts van de mitigatiemaatregelen op adaptatie zijn neutraal of licht negatief ingeschat. Het is dus niet de verwachting dat mitigatiemaatregelen een belemmering vormen voor de adaptatieopgave. Een deel van de verklaring bij de voorzichtige inschatting is gelegen in de regionale verschillen. Zo zullen, naast regionale en lokale verschillen in klimaatimpacts, de verschillen in type bedrijf en bodem medebepalend zijn voor de implementatie van de mitigatiemaatregel en de adaptatieopgave.

Tabel 19 Effect van de mitigatiemaatregel op de adaptatieopgave en de financiële weerbaarheid.

							
Dier							
Stallen	-	0	0	0	0	0	-
Weidegang	-	0	-	-	0	-	0
Productiviteit	0	0	-	-	-	-	-
Gras en akkerland							
Bemesting	-	-	-	-	0	0	0
Bodembewerking	0	0	0	0	0	0	0
Landgebruik							
Emissiereductie uit organische bodems	-	-	-	-	0	0	0

In het algemeen zal de adaptatieopgave bij systemen die afhankelijk zijn van natuurlijke processen – inclusief klimaatverandering – toenemen naarmate de dynamiek en variabiliteit van deze processen toeneemt. De adaptatieopgave zal bij toenemende extremen en veranderingen in ziekten en plagen bij de natuurinclusieve ontwikkelrichting lastiger zijn dan bij de productiviteit-gedreven ontwikkelrichting. Kennis en technologie zijn belangrijke stuurfactoren, die bij beide ontwikkelrichtingen intensief kunnen worden ingevuld. Daarom worden geen verschillen op basis van kennis en technologie in de adaptatieopgave tussen de verschillende scenario's verwacht.

Bij de stallenmaatregelen is het effect op de adaptatieopgave beperkt, omdat klimaatcontrole al een belangrijk aandachtspunt is bij het ontwerp en bouw van nieuwe stallen. Bij hogere temperaturen en toename van extremen zullen er wel extra kosten gemaakt moeten worden. Voor de natuurinclusieve scenario's zal de veel langere weidegangperiode in combinatie met hogere temperaturen de adaptatieopgave gericht op dierenwelzijn en productiviteit wel verhogen.

Bemesting zal minder effectief zijn bij veranderingen in klimaat en klimaatextremen in de scenario's waar productiviteit centraal staat, waardoor er een extra opgave zal zijn om op een efficiënte manier hoge producties te halen. De natuurinclusieve scenario's zijn minder gericht op hogere productiviteit, hierdoor is er meer flexibiliteit in de bemesting. Extreem weer en nattere omstandigheden kunnen de efficiency van bemesting beïnvloeden en verliezen door uitspoeling vergroten. Bij toenemend gebruik van organische mest zal de precisie van de hoeveelheid en toediening van de meststof extra aandacht vragen. De stuurbaarheid en voorspelbaarheid van bemesting zal bij weersextremen minder worden en hierdoor de adaptatieopgave vergroten.

Het verminderen van CO₂-emissies uit organische bodems zal bij een hogere temperatuur lastiger zijn en dit wordt ook versterkt door droogte. Bij deze combinatie zal het lastig zijn de huidige productiesystemen aan te passen zonder de efficiëntie van de mitigatiemaatregel te verlagen. Onderwaterdrains bieden wellicht een tijdelijke verlichting. Ook bij een natter en extremer weersregime zal het lastig zijn de productiefunctie van de organische bodems te handhaven.

De relatie tussen mitigatiemaatregel en financiële weerbaarheid wordt voornamelijk bepaald door de kosten van de maatregel of de gevolgen voor de productiviteit en de daaraan gekoppelde inkomstenderving. Zo zal koeling in stallen bij hogere temperaturen belangrijker worden, de extra kosten hiervoor kunnen negatieve gevolgen hebben op de financiële weerbaarheid. Weersextremen en ziekten en plagen hebben de potentie om de productiviteit en daarmee direct inkomsten negatief te beïnvloeden. Of indirect als een financiële buffer belangrijker wordt in een onzekerder of extremere

productieomgeving. De relatie met mitigatiemaatregelen en ziekten en plagen is echter zwak. Zolang er geen financiële consequenties zijn bij de uitstoot van broeikasgassen, is de inschatting dat operationele veldgerichte maatregelen geen grote investeringen vergen en geen belangrijke gevolgen hebben voor de financiële weerbaarheid.

Bij de evaluatie van de scenario's, op basis van Tabel 19, komt naar voren dat het *Productiviteit voorgenomen-*, de *Natuurinclusief voorgenomen-* en het *Productiviteit strikter-*scenario's niet tot meer problemen leiden bij het invullen van de adaptatieopgave, deze scenario's krijgen allemaal een neutrale 0-score. Bij hoge investeringen kan de financiële weerbaarheid mogelijk wel in het geding komen, de financiële buffer om schokken op te vangen is dan simpelweg kleiner. In het *Natuurinclusief strikter-* scenario zal de adaptatieopgave voor de landbouw waarschijnlijk moeilijker worden. In dit scenario resulteert een forse krimp in de veestapel in een grote verschuiving in landgebruik, waarbij het areaal bos sterk zal toenemen. Deze herinrichting van het landschap betekent ook dat de ruimtelijke adaptatieopties in Nederland beperkt zullen worden; dit instrument wordt daardoor minder flexibel. Het is dus zaak met de aanleg van de nieuwe ruimtelijke indeling naast de mitigatiefunctie ook de adaptatiefunctie van het landelijk gebied mee te nemen. Daarnaast kunnen ook in het *Natuurinclusief strikter-*scenario hoge investeringen de financiële weerbaarheid verminderen, dit resulteert daarom in een negatieve score voor dit scenario.

5 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten van deze studie, zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4, zijn gebaseerd op de in hoofdstuk 2 beschreven uitgangspunten. Hoewel genomen in overleg met de begeleidingscommissie, zijn bepaalde keuzes voor instellingen in de optimalisatietool deels arbitrair. Ook is een aantal uitgangspunten onder de maatregelpakketten behoorlijk onzeker en sterk afhankelijk van de invulling van toekomstig beleid. Met een gevoeligheidsanalyse kan bekeken worden wat het effect op de uitkomsten is van andere mogelijke aannames voor de belangrijkste of meest onzekere parameters. Dit geeft inzicht in de mate van onzekerheid bij keuzes voor beleid en visievorming, waaraan deze studie kan bijdragen.

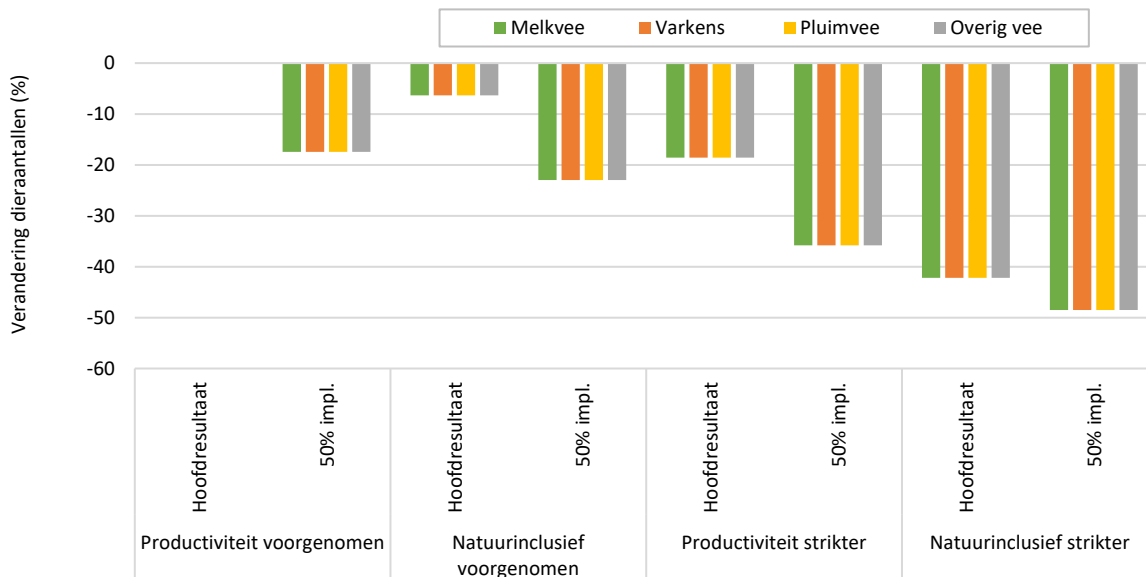
Bij de gevoeligheidsanalyse worden achtereenvolgens behandeld: 1) implementatiegraad (aantal bedrijven dat maatregelen toepast) en effectiviteit (mate waarin maatregelen effectief blijken) van maatregelen, 2) proportionaliteit tussen (dierlijke) sectoren (wordt een eventuele krimp van de veestapel wel of niet gelijkmatig over sectoren verdeeld), 3) aanleg bos (mate waarin nieuw bos wordt aangelegd in Nederland), en 4) het toepassen van het verdergaande beleidsdoel ten aanzien van ammoniak in de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen (*Productiviteit voorgenomen* en *Natuurinclusief voorgenomen*).

Optimalisatie van het voerspoor in de melkveehouderij (mate waarin benutting mineralen door dieren wordt opgevoerd) was ook een van de aspecten die is getoetst in de gevoeligheidsanalyse. De resultaten zonder optimalisatie, waarbij de huidige gehalten van N en P in het krachtvoer zijn aangenomen, laten een toename in N- en P-excretie zien. Echter deze toename leidt niet tot veranderingen in dieraantallen of landgebruik, aangezien een andere randvoorwaarde, de beschikbaarheid van grasland, meer beperkend is. Deze resultaten zijn dan ook niet verder in dit hoofdstuk beschreven.

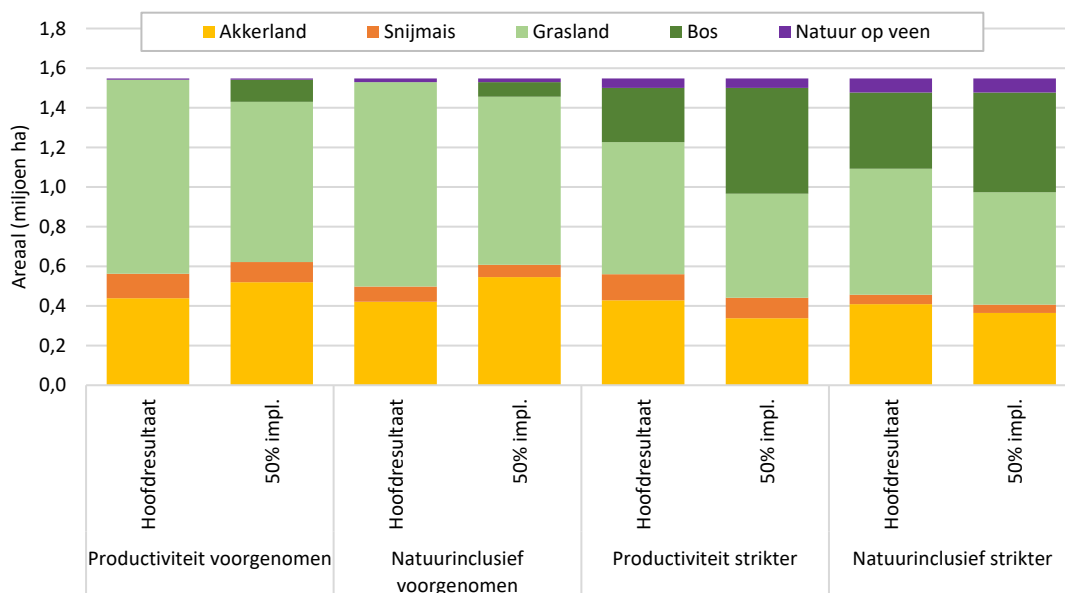
5.1 Implementatiegraad/effectiviteit maatregelen

De reductiepotentiëlen van de maatregelpakketten zijn gebaseerd op volledige implementatie van de maatregelen en de effectiviteit zoals beschreven in paragraaf 2.4. Als de implementatie of effectiviteit van de maatregelen echter lager is in de praktijk, dan is het reductiepotentieel kleiner en zijn er mogelijk meer structurele maatregelen in veestapel en landgebruik nodig. In deze gevoeligheidsanalyse zijn twee varianten doorgerekend met een lager reductiepotentieel. In de eerste variant zijn de reductiepotentiëlen voor alle maatregelen gehalveerd, waarbij uitgegaan wordt van lagere implementatie of effectiviteit van de maatregelen. In de tweede variant is alleen de effectiviteit gehalveerd van de maatregelen omtrent stallen, het gaat dan om stalaanpassingen voor scheiding van mest en urine bij de bron en luchtdichte stallen voor het *Productiviteit strikter*-scenario. Deze categorie is apart gekozen, omdat dit maatregelen zijn met een in theorie groot reductiepotentieel, maar dit zijn ook maatregelen die in de praktijk nog niet zijn ingevoerd en nog in ontwikkeling zijn, waardoor de effectiviteit in de praktijk onzeker is.

In Figuur 26 is het effect van 50% implementatie van alle maatregelen op dieraantallen weergegeven. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario is in dat geval ook een krimp van de veestapel nodig met 17% (nu 0%) om de milieubeleidsdoelen, met name klimaat, te halen. Voor het *Natuurinclusief voorgenomen*- (van 6 naar 23%) en *Productiviteit strikter*-scenario (van 18 naar 35%) is ook een additionele krimp van de veestapel met 17% nodig. Alleen in het *Natuurinclusief strikter*-scenario (van 43 naar 48%) is de additionele krimp beperkt, aangezien in dit scenario al een grote krimp is opgenomen en de effectiviteit van de maatregelen minder is. Dit betekent dat lagere effectiviteit of implementatie van de maatregelen in alle scenario's zal moeten leiden tot krimp van de veestapel om aan de klimaatdoelen te voldoen.

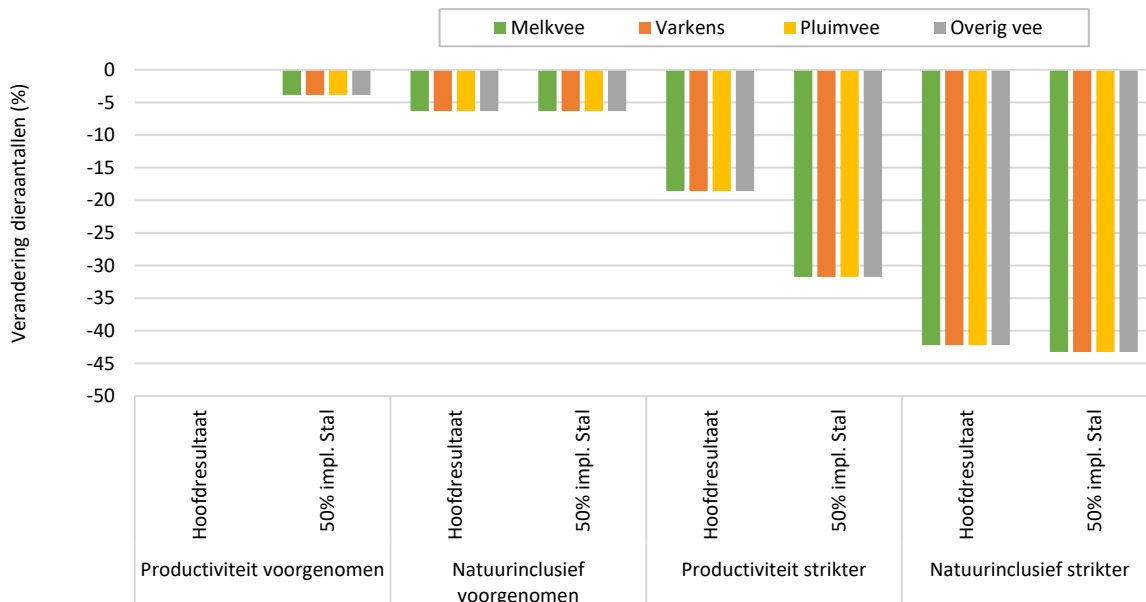


Figuur 26 Effect van 50% implementatie van maatregelen op dieren aantallen vergeleken met effect van 100% implementatie zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.



Figuur 27 Effect van 50% implementatie/effectiviteit van maatregelen op landgebruik vergeleken met effect van 100% implementatie zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.

Voor de variant met alleen 50% effectiviteit van de stalmaatregelen is het effect kleiner, maar ook dan zal er een beperkte krimp (4%) van de veehouderij nodig zijn in het *Productiviteit voorgenoemen*-scenario en een veel grotere krimp (13% extra) voor het *Productiviteit strikter*-scenario. Voor de natuurinclusieve scenario's is de impact zeer beperkt, aangezien door de grote mate van beweiding, de stal-gerelateerde maatregelen minder effectief zijn. Wel nemen de ammoniakemissies toe, voor het *Natuurinclusief voorgenoemen*-scenario van 54 naar 61 kton NH₃, maar niet in zo'n mate dat het voorgenoemen beleidsdoel (85 kton) wordt overschreden. De effecten op landgebruik zijn voor deze variant kleiner dan in de variant van 50% implementatie van alle maatregelen, maar volgen hetzelfde beeld als in Figuur 27. Met name voor het *Productiviteit strikter*-scenario is een behoorlijke extra toename van het areaal bos nodig (ongeveer 200 duizend ha extra) om de emissies te compenseren.



Figuur 28 Effect van 50% implementatie/effectiviteit van stalmaatregelen op dieren aantallen vergeleken met effect van 100% implementatie/effectiviteit zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.

5.2 Proportionaliteit tussen dierlijke sectoren

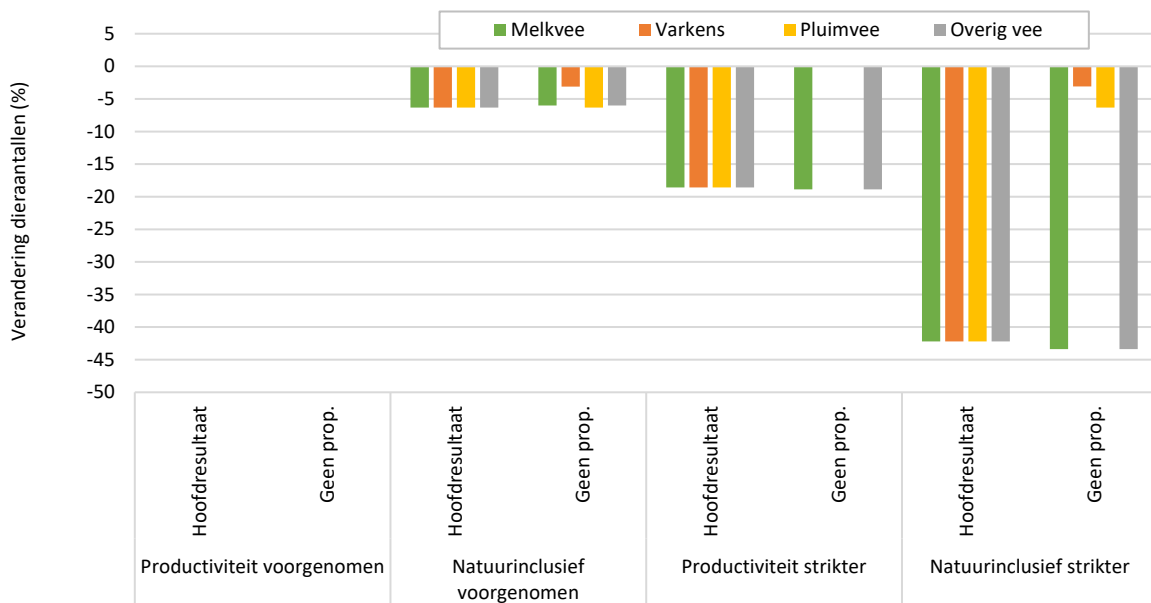
Een van de belangrijkste uitgangspunten voor de scenario's was dat een eventuele krimp van de veestapel proportioneel verdeeld wordt over alle dierlijke sectoren. Echter, als puur gekeken wordt naar broeikasgasemissies binnen de Nederlandse landbouw is dat uitgangspunt discutabel, aangezien de melkveehouderij veruit de meeste broeikasgasemissies heeft van de dierlijke sectoren. Voor varkens zijn emissies uit mestopslagen nog een belangrijke bron, terwijl pluimvee nauwelijks emissies binnen Nederland heeft, aangezien de meeste emissies gerelateerd zijn aan de productie van voer en het meeste voer voor varkens en kippen wordt geïmporteerd. Deze emissies worden wel meegenomen in LCA-footprintberekeningen, maar tellen niet mee voor de gerapporteerde Nederlandse landbouwemissies (Vellinga et al., 2018).

Ook al hebben de intensieve veehouderijsectoren relatief weinig broeikasgasemissies binnen Nederland, ze hebben wel een grote emissiebijdrage in andere sectoren (energie) en in het buitenland (emissies gerelateerd aan geïmporteerd voer). Daarnaast hebben deze sectoren een groter aandeel in de ammoniakemissie (27% van de NH₃ landbouwemissies¹⁵). Ook in het kader van het sluiten van kringlopen en het verminderen van de import van voer van buiten Europa, zou het onlogisch zijn als alleen de melkveestapel krimpt en de andere dierlijke sectoren niet hoeven bij te dragen. In het bestaande mestbeleid is sprake van sectorale schotten, waarbij dierrechten of fosfaatrechten niet van de ene sector naar de andere sector overgeheveld mogen worden. Als in het kader van klimaatbeleid elke sector zijn eigen opgave krijgt, dan is overheveling van emissierechten ook niet te verwachten. Vandaar dat in de hoofdresultaten toch gekozen is om te rekenen met proportionaliteit tussen dierlijke sectoren in geval van krimp van de veestapel.

Voor de gevoeligheidsanalyse is ook een variant doorgerekend waarbij geen proportionaliteit tussen melkvee, varkens en pluimvee is opgelegd. De resultaten van deze analyse voor de effecten op de dieren aantallen zijn weergegeven in Figuur 29. Voor het *Productiviteit voorgenomen*-scenario verandert er niets, aangezien daar geen krimp nodig is. Voor het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario is er iets minder afname van het aantal varkens nodig. De grootste effecten zijn te zien in de scenario's met verdergaande milieubeleidsdoelen. Het aantal varkens en pluimvee hoeft dan niet of nauwelijks af te

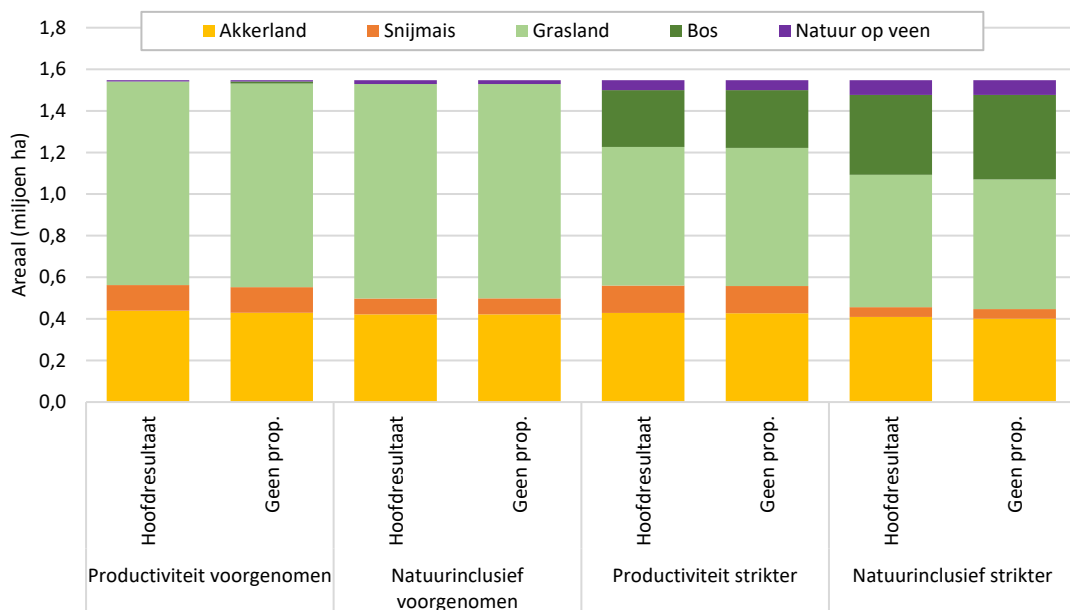
¹⁵ <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/555113>, gebaseerd op Emissieregistratie (2019)

nemen, terwijl de additionele afname in melkvee met 0,3% en 1,2% voor respectievelijk het *Productiviteit strikter-* en *Natuurinclusief strikter-*scenario, zeer beperkt is.



Figuur 29 Effect van geen proportionaliteit tussen dierlijke sectoren op dieraantallen vergeleken met resultaten met proportionaliteit in afname zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.

Het wel of niet meenemen van proportionaliteit tussen dierlijke sectoren heeft slechts een beperkt effect op landgebruik (Figuur 30). Bij geen proportionaliteit is een kleine toename in het areaal bos van 2% en 6% nodig voor respectievelijk het *Productiviteit strikter-* en *Natuurinclusief strikter-*scenario. Als alleen naar klimaatwinst binnen Nederland gekeken zou worden, zou geen proportionaliteit tussen dierlijke sectoren economisch gezien de meest logische keuze zijn, aangezien er slechts een zeer beperkte aanvullende krimp voor de melkveehouderij nodig is, terwijl de varkens en pluimvee sectoren min of meer gelijk in omvang kunnen blijven. De totale brutomarge van de landbouwsector zou dan ook groter zijn.



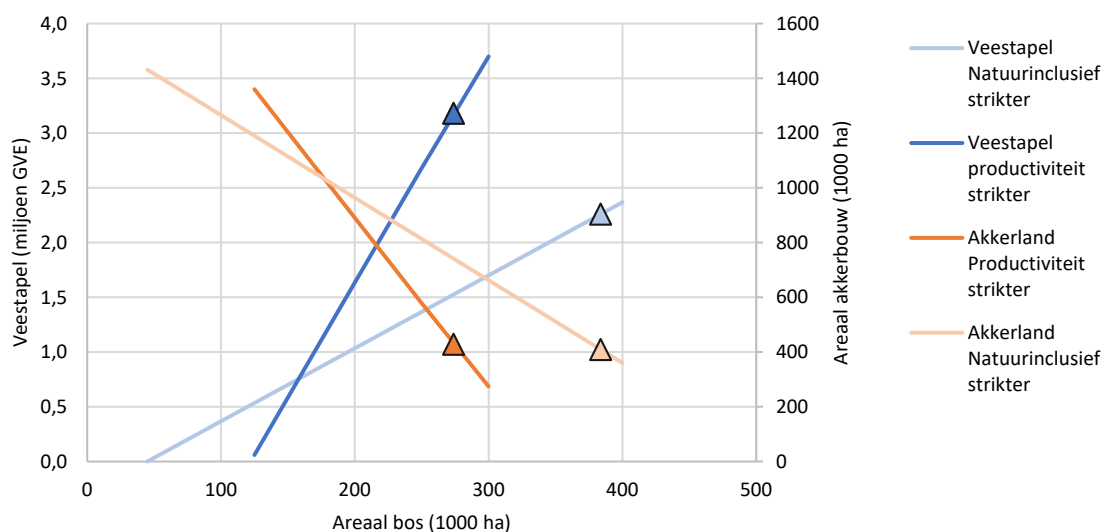
Figuur 30 Effect van geen proportionaliteit tussen dierlijke sectoren op landgebruik vergeleken met resultaten met proportionaliteit in afname zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.

5.3 Maximum areaal bos versus omvang veestapel

Om aan het strikte klimaatdoel van netto klimaatneutraliteit in landbouw en landgebruik binnen Nederland te voldoen voor de scenario's met verdergaande milieubeleidsdoelen, zal het nodig zijn om extra bos aan te planten om de resterende emissies uit de landbouw te compenseren. De resultaten uit hoofdstuk 4 laten zien dat het gaat om grote arealen, van 270 duizend ha in het *Productiviteit strikter*-scenario tot 380 duizend ha in het *Natuurinclusief strikter*-scenario. Dit zijn grote arealen die grote impact zullen hebben op het landgebruik. Het alternatief is dat de veestapel verder inkrimpt.

In de gevoeligheidsanalyse is deze relatie verder geanalyseerd met de optimalisatietool, waarbij het maximumareaal bos in stapjes is verlaagd. Hiervoor is de veestapel weergegeven in aantal grootvee-eenheden (GVE), waarbij 1 melkkoe als 1 GVE telt. De omvang van de veestapel voor het referentiescenario is 3,9 miljoen GVE. Figuur 31 laat het resultaat van deze gevoeligheidsanalyse zien. Bijvoorbeeld bij een maximaal areaal bos van 200 duizend ha moet de veestapel verder afnemen met respectievelijk de helft (*Productiviteit strikter*) of twee derde (*Natuurinclusief strikter*) ten opzichte van de scenario-uitkomst. Dit betekent dat bij een doelstelling van klimaatneutraliteit in Nederland er echt een groot areaal bos en bomen nodig zal zijn, mogelijk een verdubbeling van het huidige bosareaal.

Als de veestapel verder afneemt, komt meer grond beschikbaar voor de akkerbouw. Echter de akkerbouw heeft ook nog broeikasgasemissies en bij omzetting van grasland naar akkerland zijn er ook CO₂-emissies door verlies aan organische stof. Dit betekent dat zelfs zonder dierlijke productie in Nederland er bos aangeplant zal moeten worden om de resterende emissies uit de akkerbouw te compenseren.



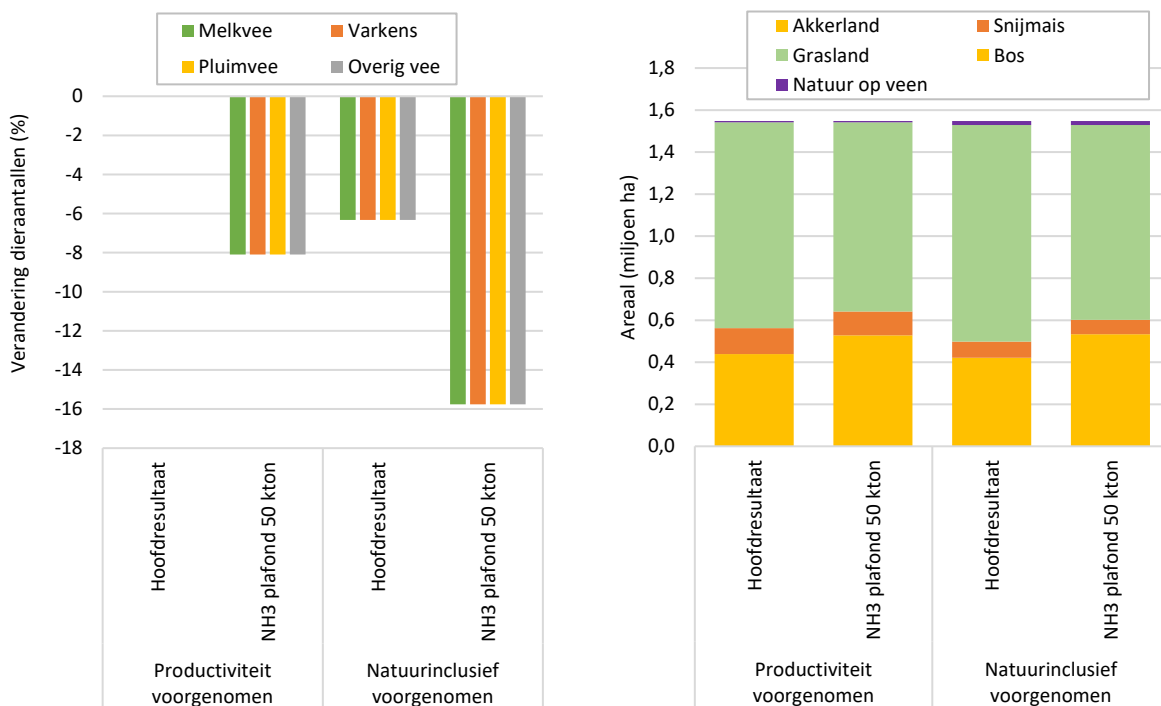
Figuur 31 Gevoeligheidsanalyse van de relatie tussen maximumareaal bos, omvang veestapel (in GVE) en beschikbaar areaal voor akkerbouw voor de twee scenario's met striktere beleidsdoelen. De driehoeken geven de uiteindelijke scenario resultaten weer.

5.4 Lager NH₃-plafond voor scenario's met voorgenomen beleidsdoelen

De laatste factor die is meegenomen in de gevoeligheidsanalyse is een alternatieve invulling van het milieudoel voor ammoniak in de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen. Gezien de huidige stikstofdiscussie is het ook relevant om de effecten van een strikter doel voor ammoniakemissie voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen te analyseren, aangezien in de andere scenario's het effect van de klimaatdoelstelling bepalend is, waardoor de veestapel in die scenario's al zodanig

krimpt dat de andere milieudoelen, waaronder ammoniak, ook worden gehaald. Voor de gevoeligheidsanalyse zijn daarom voor de *Productiviteit voorgenomen*- en *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario's ook doorrekeningen gemaakt met de optimalisatietool met een ammoniakemissieplafond van 50 kton, die voor de striktere beleidsdoelen is gebruikt.

Figuur 32 laat de resultaten zien voor het effect op dierenaantallen en landgebruik. Voor het *Productiviteit voorgenomen*-scenario zou een ammoniakplafond van 50 kton leiden tot een krimp van 8% van de veestapel en voor het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario tot een verdere krimp naar 16% van de veestapel. Bij landgebruik neemt hierdoor het graslandareaal af en kan het akkerlandareaal toenemen met ongeveer 100 duizend ha. Bij een strikt stikstofbeleid en een Europese verdeling van de klimaatopgave kan dus toch aanvullende krimp van de veestapel nodig zijn met de ammoniakemissie als beperkende factor voor de omvang van de veestapel. Hierbij wordt er ook weer van uitgegaan dat de maatregelen voor 100% worden geïmplementeerd en effectief zijn; als dit lager is, zal de krimp nog aanzienlijk groter moeten worden.



Figuur 32 Effect van een lager NH₃-plafond van 50 kton voor de scenario's met voorgenomen beleidsdoelen voor dierenaantallen (links) en landgebruik (rechts) vergeleken met resultaten met een hoger plafond (85 kton) zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.

De met het INITIATOR-model (paragraaf 4.3.1) berekende resultaten laten zien dat de ammoniakemissie voor de *Productiviteit voorgenomen*- en *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario's rond het emissieplafond van 50 kton ligt. De berekende ammoniakemissie in de optimalisatietool, gebaseerd op de reductiepercentages van de maatregelpakketten (paragraaf 2.4), valt net iets hoger uit, waardoor krimp van de veestapel nodig is. Deze verschillen treden op door mogelijke verschillen in parametrisatie van de maatregelen en interacties tussen maatregelen die in het INITIATOR-model wel worden meegenomen. Dit is ook een indicatie van de mate van onzekerheid in de resultaten.

6 Synthese

6.1 Aanpak en afbakening van de studie

De effecten die de landbouw heeft op milieu en klimaat zijn aanleiding voor veel discussies over de rol en positie van de landbouw in Nederland. Er is daarom behoefte aan een beeld van de landbouw op de lange termijn. Meer specifiek gaat het dan om de vragen: Hoe kan de landbouw emissies reduceren en welke ontwikkelrichtingen zijn daarin mogelijk? Wat zijn de consequenties daarvan? Hoe zien landbouw en landgebruik eruit in 2050? Wat is de omvang van de verschillende landbouwsectoren en wat is hun economische bijdrage in het jaar 2050? Wat zijn de te verwachten effecten op milieu en klimaat? Door het verkennen van de effecten van verschillende toekomstscenario's voor de Nederlandse landbouw, beoogt deze studie een bijdrage te leveren aan de antwoorden op deze vragen.

Daarvoor zijn vier scenario's ontwikkeld en verkend voor het jaar 2050 in vergelijking met een referentiescenario, waarbij het beleid zich ongewijzigd voortzet tot 2050. Hierbij zijn twee ontwikkelrichtingen gekozen, die zich beide richten op het verminderen van emissies en het verwerven van inkomen. De ene richt zich op voortzetting van verhoging van de productiviteit per dier en per hectare. De andere zet in op een natuurinclusieve aanpak met een adaptieve landbouw die sterker leunt op natuurlijke processen en minder externe inputs gebruikt. Deze twee richtingen zijn uitgewerkt voor twee beleidsvarianten: een variant waarbij via beleidsdoelen de ruimte voor emissies gematigd wordt beperkt en een variant waarbij deze ruimte sterk wordt ingeperkt door striktere beleidsdoelen.

Het gaat hier om scenario's waarin wordt verondersteld dat alle landbouwbedrijven in Nederland de geschetste ontwikkelrichting volgen en de bijbehorende maatregelen toepassen. Daarmee zijn het 'extreme' scenario's, die vooral beogen inzicht te bieden en aanknopingspunten te geven voor de discussie over de toekomst van de Nederlandse landbouw. De scenario's zijn dus geen realistische of gewenste toekomstbeelden. In de praktijk zullen meerdere ontwikkelingen naast elkaar plaatsvinden. De uitgangspunten voor de scenario's zijn in overleg met een brede klankbordgroep vastgesteld.

Per scenario zijn in dit rapport de volgende effecten beschreven:

1. De omvang van de verschillende landbouwsectoren: rundvee, varkens, pluimvee en akkerbouw, uitgedrukt in hectares landgebruik en aantallen dieren.
2. Milieudruk: broeikasgasemissies, ammoniakemissies en uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater.
3. Mate van kringloopsluiting: dit betreft het sluiten van de nutriëntenkringlopen en minimaliseren van verliezen van N en P uit het landbouwsysteem.
4. Economische aspecten: productievolumes, de economische waarde van het agrocomplex (omzet, werkgelegenheid, export) en bijdrage aan voedselvoorziening (zelfvoorzieningsgraad).
5. Kwalitatieve inschattingen van de effecten op het verdienmodel voor primaire bedrijven, biodiversiteit en landschappelijke waarden, dierenwelzijn en diergezondheid en weerbaarheid (het adaptieve vermogen van het productiesysteem tegen klimaatverandering).

De studie kent de volgende beperkingen, waar rekening mee moet worden gehouden bij de interpretatie van de resultaten:

1. Er wordt gekeken naar langetermijneffecten op hoofdlijnen. De studie doet geen uitspraken over het verloop van het traject tussen nu en 2050. De gehanteerde kwantitatieve beleidsdoelen voor 2050 zijn voor deze studie ingevuld op basis van de beschikbare informatie, maar hebben geen beleidsmatig status, aangezien deze doelen later in het politieke proces worden vastgelegd.
2. De studie maakt ruimtelijke effecten niet inzichtelijk. Uitgangspunt is dat maatregelen (en dus ook krimp van sectoren) genomen worden in de regio's waar deze het effectiefst zijn. Dit kan regionaal aanzienlijke effecten hebben, maar deze zijn niet in beeld gebracht. De gevolgen op de veengronden zullen bijvoorbeeld aanzienlijk zijn, omdat de mogelijkheden voor de

melkveehouderij daar verslechteren ten opzichte van de huidige situatie als gevolg van vernatting. Ook zijn waarschijnlijk verschuivingen nodig in dierlijke productie om regionale waterkwaliteit en stikstofdepositiedoelstellingen te realiseren.

3. De vraag naar biomassa geproduceerd in Nederland voor de biobased economie en energie gaat mogelijk in belangrijke mate toenemen en het huidige landgebruik (met name ten behoeve van melkveehouderij en akkerbouw) zal concurrentie krijgen van andere teelten voor biomassadoeleinden. Bij gebrek aan informatie kon dit effect in de scenario's niet worden geconcretiseerd.

Daarnaast is het belangrijk om bij de interpretatie van de resultaten steeds in het achterhoofd te houden dat de basisresultaten zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4 (Resultaten) uitgaan van de in hoofdstuk 2 (Opbouw scenario's) geformuleerde uitgangspunten. Hierbij is het belangrijk om te beseffen dat alle beschreven technische maatregelen op (vrijwel) alle landbouwbedrijven worden geïmplementeerd en voor 100% effectief blijken te zijn. Ook wordt het principe van proportionele reductie van dierlijke sectoren als uitgangspunt gehanteerd (als er een krimp nodig is van de dierlijke productie, is die voor elke dierlijke sector even groot). In hoofdstuk 5 (Gevoeligheidsanalyse) wordt besproken wat het effect zou zijn van andere uitgangspunten op de omvang van de landbouw (dieraantallen en landgebruik). De effecten op milieu en economie zijn daarbij niet verder uitgewerkt. In de navolgende paragraaf 6.2 worden de resultaten van hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5 in samenhang besproken.

6.2 Inzichten uit de studie

6.2.1 Milieueffecten en omvang sectoren

1. Zowel vanuit de veehouderij als vanuit de akkerbouw is er nog een forse potentie om, bij behoud van de huidige omvang van landbouwsectoren, de emissie van broeikasgassen in 2050 te verminderen, maar dit vereist wel een forse inspanning. Hierbij is rekening gehouden met de benodigde vermindering van emissies van ammoniak en N en P naar grond- en oppervlaktewater. De mate waarin een krimp van veehouderijsectoren is vereist, is afhankelijk van de gehanteerde beleidsdoelen, de ontwikkelrichting van de landbouw, de implementatiegraad en effectiviteit van maatregelen en de toename van het areaal bos om landbouwemissies te compenseren.
2. Bij het referentiescenario 2050, waarbij al het vaststaande beleid volledig is geïmplementeerd en rekening wordt gehouden met de autonome ontwikkeling maar geen extra emissiebeperkende maatregelen worden genomen, is er sprake van 13% afname in het aantal melkkoeien, 4% afname in aantal varkens en een gelijkblijvende omvang van de pluimveehouderij ten opzichte van de huidige (2017) situatie. Het akkerbouw areaal zal door de autonome afname van het landbouwareaal dalen (-12%), maar de productievolumes nemen gemiddeld toe door de hogere opbrengst per hectare. Bij het referentiescenario worden de voorgenomen beleidsdoelen in 2050 voor waterkwaliteit ruim gehaald, het ammoniakplafond van 85 kton net gehaald en de klimaatdoelen worden niet gehaald.
3. Bij de voorgenomen beleidsdoelenscenario's is het uitgangspunt klimaatneutraliteit in 2050 voor de EU, met differentiatie van de emissieruimte voor de landbouw naar lidstaten, en handhaving van de langetermijnbeleidsdoelen voor NH₃-emissie en N- en P-uitspoeling naar water. In het *Productiviteit voorgenomen*-scenario kunnen de beleidsdoelen gehaald worden met een veestapel gelijk aan het referentiescenario en in het *Natuurinclusief voorgenomen*-scenario is er in beperkte mate (6%) een afname in de veestapel nodig ten opzichte van het referentiescenario. Uitgangspunt hierbij is dat alle maatregelen op alle landbouwbedrijven volledig worden geïmplementeerd en ook effectief blijken te zijn. Bovendien is vernatting van een aanzienlijk deel van de veengronden noodzakelijk om de emissies uit veenbodems sterk te verminderen.
4. Bij de striktere Nederlandse interpretatie van de klimaatdoelstelling, waarbij de emissieruimte voor broeikasgassen niet groter mag zijn dan vastlegging van C én een striktere formulering van beleidsdoelen voor NH₃-emissie en N- en P-uitspoeling naar het water, is bij het *Productiviteit*

strikt- scenario een reductie van de veestapel van ongeveer 20% nodig en bij het *Natuurinclusief strikt*- scenario een reductie met ruim 40%. In het *Productiviteit strikt*-scenario zijn wel forse investeringen in technische maatregelen nodig om de broeikasgasemissies uit stallen en mestopslagen voldoende te verminderen. De beperkendste doelstelling is die van de broeikasgassen. Ook hier is volledige implementatie en effectiviteit van maatregelen en vernatting van veengronden het uitgangspunt. In beide scenario's is daarnaast een sterke toename nodig van het bosareaal om de landbouwemissies te compenseren en zal een deel van de veengrond uit landbouwkundige productie moeten worden genomen. Bij het *Productiviteit strikt*-scenario zijn ook maatregelen meegenomen die momenteel onderwerp zijn van maatschappelijke discussie. In dit scenario is bijvoorbeeld aangenomen dat koeien geen weidegang krijgen, zodat emissies in de stal kunnen worden afgevangen en lager zijn bij mesttoediening.

5. De klimaatdoelen zijn voor de scenario's met striktere beleidsdoelen het beperkendst. In de gevoeligheidsanalyse is ook gekeken in hoeverre de striktere ammoniak- en waterkwaliteitsdoelen beperkend kunnen zijn in combinatie met de voorgenomen beleidsdoelen voor klimaat (klimaatneutraliteit op EU-niveau). De analyse laat zien dat striktere landelijke waterkwaliteitsdoelen niet aanvullend beperkend zijn voor de omvang van de veestapel, maar striktere ammoniakdoelen mogelijk wel. Een belangrijke factor hierin is het uitgangspunt dat in 2050 alleen nog maar stallen worden toegepast waar mest en gier zeer frequent uit de stal worden afgevoerd naar een dichte opslag. Dit levert een flinke reductie van de ammoniakemissie op, vooral wanneer dit wordt gecombineerd met aanvullende huisvestingsmaatregelen voor ammoniakreductie. Indien deze maatregel niet wordt meegenomen, is er meer krimp nodig om de striktere ammoniakdoelen te realiseren in 2050.
6. Indien de maatregelen niet volledig, maar voor 50% worden geïmplementeerd of effectief blijken te zijn, is een aanzienlijke forsere krimp van de veestapel nodig om aan alle milieudoelen te voldoen. De benodigde krimp is dan respectievelijk 17% (*Productiviteit voorgenomen*), 23% (*Natuurinclusief voorgenomen*), 36% (*Productiviteit strikt*) en 48% (*Natuurinclusief strikt*). Het verschil in benodigde krimp tussen 100% en 50% implementatie en effectiviteit is kleiner bij de natuurinclusieve scenario's, omdat het reductiepotentieel van de maatregelen kleiner is.
7. In alle scenario's neemt de akkerbouw in areaal af ten opzichte van de huidige situatie. Dit is in alle scenario's voor een deel het gevolg van de daling van het totale areaal landbouwgrond. Daarnaast speelt in de scenario's met de ruimere beleidsdoelen het uitgangspunt dat grondgebondenheid van de melkveehouderij zorgt voor een toenemende grondbehoefte. Bij de scenario's met de striktere beleidsdoelen is het benodigde areaal bos om landbouwemissies te compenseren de belangrijkste factor die zorgt voor de krimp van de akkerbouw. Indien een beperking wordt gezet op het in te zetten areaal bos, neemt de krimp van de veehouderij toe ten faveure van akkerbouw. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat bijvoorbeeld bij een maximaal areaal bos van 200 duizend ha, de veestapel moet afnemen met respectievelijk de helft (*Productiviteit strikt*) of twee derde (*Natuurinclusief strikt*). Dit betekent dat bij een doelstelling van klimaatneutraliteit in Nederland er echt een groot areaal bos en bomen nodig zal zijn, mogelijk een verdubbeling van het huidige bosareaal.
8. In het algemeen zijn de mogelijkheden om emissies van broeikasgassen en de uitspoeling van nitraat naar het grondwater te verminderen beter in de productiviteit-gedreven scenario's dan in de natuurinclusieve scenario's. Dit is een gevolg van een beperkter palet aan maatregelen dat bij het extensieve maatregelpakket kan worden toegepast en de langere beweidingduur bij de natuurinclusieve scenario's. Daar tegenover staat dat door meer weidegang de ammoniakemissies lager zijn in de natuurinclusieve scenario's. Effecten op mineralenbelasting in uitlopen en emissie van fijnstof zijn niet meegenomen in deze studie.
9. De effecten van het wel of niet meenemen van proportionaliteit tussen dierlijke sectoren in de krimp van de veestapel leidt tot grote verschillen voor de varkens- en pluimveesectoren. Bij geen proportionaliteit kunnen deze sectoren min of meer gelijk in omvang blijven, terwijl de additionele krimp in de melkveehouderij zeer beperkt is. Als alleen naar klimaatwinst binnen Nederland

gekeken zou worden, is krimp van varkens en pluimvee niet effectief in termen van emissiereductie per euro toegevoegde waarde.

10. Naast de directe broeikasgasemissies uit de Nederlandse landbouwsector zijn er ook andere emissies in de keten, met name door gebruik van fossiele brandstoffen en import van voergrondstoffen (met name soja), in totaal bijna 25 Mton CO₂-eq. Als de benodigde wereldwijde energietransitie in 2050 slaagt en er geen gebruik meer wordt gemaakt van voergrondstoffen van buiten de EU, is in alle scenario's een flinke broeikasgasemissiereductie (90%) te verwachten in de veehouderijketens ten opzichte van de huidige situatie. Dit komt mede door het uitgangspunt dat alleen nog veevoer uit Europa wordt betrokken en daarmee geen emissie als gevolg van landgebruiksverandering bij de teelt van voergrondstoffen plaatsvindt (met name soja). De aanpassingen in de Nederlandse landbouwproductie als gevolg van de scenario's creëren ook doorwerkingseffecten naar de Europese markt en de wereldmarkt. Het netto-effect op broeikasgasemissies van de veranderde productie in Nederland kon niet worden gekwantificeerd, aangezien deze sterk afhangt naar welke landen de productie verschuift en de relatieve efficiëntie (broeikasgasemissies per kg dierlijk product) ten opzichte van de Nederlandse productie.

6.2.2 Economische effecten

Wat de effecten van de scenario's op het verdienmodel van landbouwers en daarmee ook op de economische bijdrage van de landbouw zullen zijn, is moeilijk te voorspellen, omdat dit in belangrijke mate af zal hangen van de manier waarop de benodigde bedrijfsvoering zal worden gestimuleerd en beloond door overheden, bedrijfsleven en consumenten. De indicatieve berekeningen en inschattingen in deze studie kunnen als volgt worden samengevat:

1. Door de krimp van de landbouw in de verschillende scenario's zullen de brutomarge en toegevoegde waarde in de landbouw naar verwachting dalen, met name voor de scenario's met striktere beleidsdoelen. Bij de combinatie van natuurinclusieve bedrijfsvoering en striktere invulling van de beleidsdoelen is het verlies aan brutomarge het grootst en ligt de brutomarge bijna 35% lager dan in het referentiescenario. De dalingen zijn te zien in alle sectoren, zowel bij de dierlijke sectoren als de akkerbouw.
2. De werkelijke financiële verliezen zullen naar verwachting nog hoger zijn, omdat de weergegeven veranderingen in de brutomarge exclusief de extra kosten zijn die zullen moeten worden gemaakt om de te nemen emissiereductiemaatregelen te financieren. Experts verwachten dat de scenario's zullen leiden tot een toename van de kosten t.o.v. het referentiescenario, met name voor de natuurinclusieve scenario's (lagere producties per dier en per hectare, kosten voor uitloop intensieve veehouderij) en het *Productiviteit strikter*-scenario bij de striktere beleidsdoelen (veel techniek, hoge kosten voor externe inputs en gebouwen). Bij de natuurinclusieve scenario's worden meer mogelijkheden gezien om meeropbrengsten te realiseren, hetzij via de markt, hetzij via het leveren van andere diensten. Op dit moment zijn de mechanismen om dit soort meerwaarde te realiseren nog maar beperkt aanwezig voor de Nederlandse landbouw.
3. De impact op de landbouw en de daarmee samenhangende economische activiteiten kan in het extreemste scenario (combinatie van natuurinclusieve bedrijfsvoering en striktere invulling van de beleidsdoelen) de totale toegevoegde waarde van het agrocomplex met circa 35% dalen. Ook de werkgelegenheid laat vergelijkbare reductiepercentages zien.
4. Omdat er in de scenario's aanzienlijke aanpassingen in de productie optreden, bij min of meer gelijkblijvende consumptieniveaus, zijn er sterke effecten op de netto handel (en op de zelfvoorzieningsgraad). Het algemene patroon is dat Nederland minder exporterend zal worden, of in een aantal gevallen van een exporteur zal switchen naar een importeur (aardappelen). De handelseffecten worden naar verwachting voor een substantieel deel opgevangen door de andere EU-lidstaten, maar ook de handel van de EU met de rest van de wereld wordt beïnvloed (veevoer, zuivelproducten) door de veranderingen in Nederland.

6.2.3 Overige effecten

Dierenwelzijn

Mogelijke implicaties van de aangegeven verschillen tussen scenario's voor het welzijn van melkvee, varkens en pluimvee zijn gerelateerd aan de stalinrichting, vrije uitloop of weidegang, rantsoenen, en productiviteit van dieren. De significantste verschillen betreffen de vrije uitloop of weidegang van dieren, waarbij het welzijn waarschijnlijk verslechtert in het *Productiviteit strikter*-scenario en verbetert in de natuurinclusieve scenario's. Daarnaast worden de koloniehuisvesting van leghennen en het teruggrijpen naar snelgroeiende vleeskuikens in het *Productiviteit strikter*-scenario beschouwd als belangrijke welzijnsrisico's. De precieze invulling van diverse onderdelen van de bedrijfsvoering laat in alle scenario's echter nog veel ruimte voor variatie in het niveau van dierenwelzijn dat uiteindelijk wordt gerealiseerd. Ten slotte is er enige onzekerheid over hoe alle voorgestelde technologische innovaties voor het welzijn van dieren zullen uitpakken.

Biodiversiteit & landschappelijke waarden

De kansen voor agrobiodiversiteit, landschappelijke en soortenbiodiversiteit zijn groter in de natuurinclusieve scenario's dan in de productiviteit-gedreven scenario's. Dat is bij de natuurinclusieve scenario's een gevolg van veranderingen in het bouwplan (vooral minder aardappelen) en het grotere aandeel grasland ten opzichte van snijmais bij de melkveehouderij. Echter binnen beide ontwikkelrichtingen is het effect van de bedrijfsvoering op alle vormen van biodiversiteit groter dan de gekozen ontwikkelrichting van de landbouw.

Gevolgen voor weerbaarheid van landbouwbedrijven ten aanzien van klimaatverandering

Bij de evaluatie van de scenario's komt naar voren dat de *Productiviteit voorgenomen*-, *Natuurinclusief voorgenomen*- en *Productiviteit strikter*-scenario's niet tot meer problemen leiden bij het invullen van de adaptatieopgave. In het *Natuurinclusief strikter*-scenario zal de adaptatieopgave voor de landbouw waarschijnlijk moeilijker worden door de grote verschuiving in landgebruik. Deze herinrichting van het landschap betekent ook dat de ruimtelijke adaptatie opties in Nederland beperkt zullen worden.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol and A.G.C. Beurskens. 2006. Ammonia emission and nutrient load in outdoor runs of laying hens. *NJAS* 54-2, 2006.
- Aarnink, A.J.A., A. Hol, G.M. Nijeboer. 2008. Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% VevoVital) in the diet of growing-finishing pigs. Wageningen Livestock Research, Report 133.
- Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, J. Mosquera, 2015. Ammoniakemissie uit varkensstallen met uitloop. Wageningen, Wageningen Livestock Research, Livestock Research Rapport 868.
- Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2019). Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2019. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wageningen. WOT-technical report 146.
- Boogaard, B.K., Bock, B.B., Oosting, S.J., Wiskerke, J.S.C. and A.J. van der Zijpp, 2011. Social Acceptance of Dairy Farming: The ambivalence between the two faces of modernity. *J Agric Environ Ethics* 24:259–282
- Bracke, M.B.M., 2001. Modelling of animal welfare: The development of a decision support system to assess the welfare status of pregnant sows. PhD Thesis. Wageningen University, Wageningen.
- Bracke, M.B.M., Spruijt, B.M., Metz, J.H.M., 1999. Overall welfare assessment reviewed. Part 1: Is it possible? *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 47: 279-291.
- van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk, 2017. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2015. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <http://edepot.wur.nl/425051>
- CBS. 2018. Input Output tabellen 2015-2018. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- Chantreuil, F., K. Hanrahan, M.G.A van Leeuwen. 2011. The future of EU agricultural markets by AGMEMOD. Dordrecht, Springer.
- Dekker, S.E.M., A.J.A. Aarnink, I.J.M. de Boer, P.W.G. Groot Koerkamp. 2010. Milieubelasting van drie biologische volièrebedrijven voor leghennen. Wageningen Livestock Research, Rapport 360.
- Van Dam, J., P. Heuberger, J. Aben en W.A.J. van Pul, 2001. Effecten van verplaatsing van agrarische ammoniakemissies; verkenning op provinciaal niveau. RIVM rapport 725501 003. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- van Doorn, A., Melman, D., Westerink, J., Polman, N., Vogelzang, T., & Korevaar, H. 2016. Food-for-thought: natuurinclusieve landbouw. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/401503>
- Erismann, J.W., N. van Eekeren, A. van Doorn, W. Geertsema & N. Polman, 2017. Maatregelen Natuurinclusieve landbouw. Wageningen, Wageningen Environmental Research. <http://edepot.wur.nl/419124>
- Evans, C., R. Morrison, A. Burden, et al., 2017. Final report on project SP1210: Lowland peatland systems in England and Wales – evaluating greenhouse gas fluxes and carbon balances.
- Gies, E., Kros, H. & Voogd, J.C. 2019a. Inzichten stikstofdepositie op natuur. Wageningen Environmental Research. <https://www.wur.nl/nl/show/Inzichten-stikstofdepositie-op-natuur.htm>.
- Gies, E., A. van Doorn, B. Bos, 2019b. Mogelijke toekomstbeelden natuurinclusieve landbouw. Uitwerking van toekomstbeelden ten behoeve van de transitieopgave naar natuurinclusieve landbouw. Wageningen Environmental Research Rapport 2957. DOI: <https://doi.org/10.18174/498926>
- Groenendijk, P., G.L. Velthof, J.J. Schröder, T.J. de Koeijer & H.H. Luesink, 2017. Milieueffectrapportage van maatregelen zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn. Wageningen, Wageningen Environmental Research. <http://edepot.wur.nl/425038>
- Groenestein, K., P. Bikker, C. van Bruggen, H. Ellen, J. van Harn, J. Huijsmans, N. Ogink, L. Sebek & I. Vermeij, 2017. PAS Aanvullende reservemaatregelen Landbouw: uitwerking van een quickscan. Wageningen, Wageningen Livestock Research. <http://edepot.wur.nl/469068>
- Groenestein, K., Ogink, N., Ellen, H., Šebek, L., Bruggen, van C., Huijsmans, J. en I. Vermeij, 2019. PAS Update aanvullende reservemaatregelen Landbouw. Wageningen Livestock Research, Rapport 1214.

- Hermans, C.M.L., I.R. Geijzendorffer, F. Ewert, M.J. Metzger, P.H. Vereijken, G.B. Woltjer, A. Verhagen. 2009. Exploring the future of European crop production in a liberalised market, with specific consideration of climate change and the regional competitiveness. *Ecological modelling*, 221: 2177–2187.
- Houwers, H.W.J., Vermeer, H.M. 2009. Vertraging van biologische zeugen naar de weide om mineralenverlies te verminderen. Wageningen Livestock Research, Rapport 207.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ivanova-Peneva, S.G., A.J.A. Aarnink en M.W.A. Verstegen. 2006. Ammonia and mineral losses on Dutch organic farms with pregnant sows. *Biosystems Engineering* 93, p 221-235.
- Jurasinski, G., Günther, A.B., Huth, V., Couwenberg, J., Glatzel, S. 2016. Ecosystem services provided by paludiculture – greenhouse gas emissions. In: Wichtmann, W., Schröder, C., Joosten, H. (eds.) 2016. *Paludiculture - productive use of wet peatlands*. Schweizerbart Science Publishers.
- Kros, H., van Os, J., Voogd, J.C., Groenendijk, P., van Bruggen, C., te Molder, R. and Ros, G., 2019. Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie: beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5, Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Kros, J., Frumau, K.F.A., Hensen, A. and De Vries, W., 2011. Integrated analysis of the effects of agricultural management on nitrogen fluxes at landscape scale. *Environmental Pollution*, 159(11): 3171-3182.
- Kuling, L. & Blonk, H. 2016. Trendanalyse broeikasemissie dierlijke producten. Blonk Consultants, Gouda.
- Lagerwerf, L.A., A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk. 2019. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – update 2019. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment. WOT-technical report 148.
- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C. A., et al., 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature communications*, 6, 6707.
- Leenstra, F.R., T.V. Vellinga, B. Bremmer, 2017. KringloopToets; Sluiten van nutriëntenkringloop op het niveau van Noordwest-Europa. Inhoudelijke en procesmatige rapportage. Wageningen Livestock Research, Rapport 1019.
- van Leeuwen, A.M., 2008. Features of AGMEMOD. In L. Bartova and R. M'barek (eds). *Commodity modelling in an enlarged Europe*. JRC IPTS, Sevilla.
- Lesschen, J.P., H. Heesmans, J. Mol, A.M. van Doorn, E. Verkaik, I. van den Wyngaert, P.J. Kuikman. 2012. Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur. Alterra-rapport 2396, Alterra, Wageningen.
- Lesschen, J.P. en Kuikman, P. 2017. Klimaatmaatregelen en het gemeentelijk landbouwbeleid. Wageningen Environmental Research Rapport 2803, Wageningen.
- MacLeod, M.; Gerber, P.; Mottet, A.; Tempio, G.; Falcucci, A.; Opio, C.; Vellinga, T.; Henderson, B.; Steinfeld, H., 2013. Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains: A global life cycle assessment. FAO, Rome, Italy
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2001. Een wereld en een wil. Werken aan duurzaamheid. Nationaal milieubeleidsplan 4. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/VROM2001NMP4.pdf>
- Mollenhorst, H., Y. de Haas, 2019. The contribution of breeding to reducing environmental impact of animal production. Wageningen Livestock Research, Report 1156.
- Melse, R.W. en A.J. van der Werf, 2005. Biofiltration for Mitigation of Methane Emission from Animal Husbandry. *Environmental Science and Technology*, 39(14): 5460-5468.
- Noij, I. G. A. M., Heinen, M., Heesmans, H. I. M., Thissen, J. T. N. M., & Groenendijk, P. 2013. Effectiveness of buffer strips without added fertilizer to reduce phosphorus loads from flat fields to surface waters. *Soil Use and Management*, 29, 162-174.
- Oenema, O., Brentrup F, Lammel J, Bascou P, Billen G, Dobermann A, Erismann JW, Garnett T, Hammel M, Hanjotis T, Hillier J, Hoxha A, Jensen LS, Oleszek W, Pallière C, Powlson D, Quemada M, Schulman, Sutton MA, Van Grinsven HJM, Winiwarter W. (EU Nitrogen Expert Panel).

-
2015. Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen University, Alterra, Wageningen, Netherlands.
- van Os, J., Jeurissen, L.J.J. and Naeff, H.S.D., 2016. Geografisch informatiesysteem voor de emissieregistratie van landbouwbedrijven; GIABplus-bestand 2013 – Status A, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen.
- de Ponti, T., Rijk, B., van Ittersum, M.K., 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108: 1-9.
- Riahi, K., et al. (2017). "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview." *Global Environmental Change* 42: 153-168.
- Ros, J. en Daniëls, B., 2017. Verkenning van klimaatdoelen: van lange termijn beelden naar korte termijn acties. PBL-publicatienummer: 2966. PBL, Den Haag.
- Tinbergen, J. 1969. The use of models: experiences and prospects (Nobel Prize Lecture). NobelPrize.org, Nobel Media.
- Vellinga, Th.V., Reijs, J.W., Lesschen, J.P., Van Kernebeek, H.R., 2018. Lange termijn opties voor reductie van broeikasgassen uit de Nederlandse landbouw, een verkenning. Wageningen Livestock Research, Rapport 113.
- Vellinga, Th.V., C.A.A. Verburg, B. Bremmer, H. Silvis, J. Scholten en C. te Pas. In voorbereiding. Alleen Europese grondstoffen voor veevoer: mogelijke responsen in landbouw en consumptie en de gevolgen voor het sluiten van kringlopen, milieubelasting, economie en klimaat. Wageningen Livestock Rapport, in prep.
- Velthof, G.L. & J. Mosquera, 2011. The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140 (1-2), 298-308. 10.1016/j.agee.2010.12.017.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, E. Arets, C.M. Groenestein, J.F.M. Helming, H.H. Luesink, M.J. Schelhaas, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, J. Vonk, 2019. Referentieraming van emissies naar de lucht uit landbouw en landgebruik tot 2030. Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2019, met ramingen van emissies van methaan, lachgas, ammoniak, stikstofoxide, fijnstof en NMVOS uit de landbouw en kooldioxide en lachgas door landgebruik, Wageningen, Wageningen Environmental Research.
- Verhoog, A.D., 2016. Het Nederlandse agrocomplex 2015. LEI Rapport 2016-006. LEI Wageningen UR, Den Haag.
- Vries de, F., D.J. Brus, B. Kempen, F. Brouwer en A.H. Heidema, 2014. Actualisatie bodemkaart veengebieden; Deelgebied 1 en 2 in Noord Nederland. Alterra-rapport 2556. Wageningen, Alterra Wageningen UR.
- Vries de, W., Kros, J., Oenema, O. & de Klein, J., 2003. Uncertainties in the fate of nitrogen II: A quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66(1): 71-102.
- Williams, J.R., B.J. Chambers, A.R. Hartley, S. Ellis & H.J. Guisse, 2000. Nitrogen losses from outdoor pig farming systems *Soil use and management* 16: 237-243.
- Wolf de, P., Klompe, K., Hanegraaf, M., Molendijk, L., & Vellinga, T. 2018. Verduurzaming samenwerking akkerbouw-veehouderij in Drenthe: Expertbeoordeling en advies (No. WPR-773). Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten.
- Wolf de, P., Verstand, D., Poppe, K., Vellinga, T., 2019. Mest en metropolen; Een bijdrage aan de discussie over oplossingsrichtingen voor het sluiten van kringlopen. Wageningen Research.

Geraadpleegde experts

Aan deze studie hebben veel mensen bijgedragen in expertworkshops of directe interactie met de auteurs. De auteurs willen hierbij de onderstaande geraadpleegde experts bedanken voor hun bijdrage. De uiteindelijke verantwoording van de informatie en de resultaten zoals beschreven in dit rapport ligt bij de auteurs.

Andre Aarnink (Wageningen Livestock Research), maatregelen dierlijke productie
Andre Bannink (Wageningen Livestock Research), maatregelen dierlijke productie
Alfons Beldman (Wageningen Economic Research), economie melkveehouderij
Petra Berkhout (Wageningen Economic Research), review
Harriette Bos (Wageningen Food and Biobased Research), biomassa
Marc Bracke (Wageningen Livestock Research), dierenwelzijn varkens
Wim van Dijk (Wageningen Plant Research), bodem- en nutriëntenmanagement
Anne van Doorn (Wageningen Environmental Research), biodiversiteit
Berien Elbersen (Wageningen Environmental Research), biomassa
Wolter Elbersen (Wageningen Food and Biobased Research), biomassa
Hilko Ellen (Wageningen Livestock Research), maatregelen dierlijke productie
Piet Groenendijk (Wageningen Environmental Research), maatregelen bemesting en bodembewerking
Karin Groenestein (Wageningen Livestock Research), maatregelen dierlijke productie
Yvette de Haas (Wageningen Livestock Research), fokkerij melkvee
Hans Hopster (Wageningen Livestock Research), dierenwelzijn melkvee
Peter van Horne (Wageningen Economic Research), economie pluimveehouderij
Robert Hoste (Wageningen Economic Research), economie varkenshouderij
Ingrid de Jong (Wageningen Livestock Research), dierenwelzijn pluimvee
Robert van Loo (Wageningen Plant Research), biomassa
Harry Massop (Wageningen Environmental Research), hydrologie en veengronden
Dick Melman (Wageningen Environmental Research), biodiversiteit
Roland Melse (Wageningen Livestock Research), maatregelen dierlijke productie
Thea van Niekerk (Wageningen Livestock Research), dierenwelzijn pluimvee
Nico Ogink (Wageningen Livestock Research), maatregelen dierlijke productie
Wijbrand Ouweltjes (Wageningen Livestock Research), dierenwelzijn melkvee
Gert Jan Reinds (Wageningen Environmental Research), review
Jaap Schröder (Wageningen Plant Research), maatregelen bemesting en bodembewerking
Bert Smit (Wageningen Economic Research), economie akkerbouw
Wijnand Sukkel (Wageningen Plant Research), biodiversiteit
Gerard Velthof (Wageningen Environmental Research), maatregelen bemesting en bodembewerking
David Verhoog (Wageningen Economic Research), input-outputmodel
Herman Vermeer (Wageningen Livestock Research), dierenwelzijn melkvee

Bijlage 1 Beschrijving maatregelpakketten

Dierlijke productie

Stallen

Melkvee

In alle scenario's wordt uitgegaan van een ligboxenstal. In het Basis 2050- en extensieve pakket betreft dit een stal met open zijwanden en in het alles-uit-de-kast-pakket een dichte stal met luchtbehandeling. De open stal in het Basis 2050- en extensieve pakket wordt zodanig ingericht dat lucht aan de voorzijde van ligboxen kan worden afgevangen en enterisch methaan wordt omgezet naar kooldioxide d.m.v. oxidatietechnieken. In alle pakketten wordt mest primair (d.w.z. direct na uitscheiding) gescheiden in vaste mest en gier en zeer frequent (elk uur) afgevoerd naar goed afgesloten opslagen om ammoniakvorming in de stal en opslagen te beperken. Daarnaast worden combinaties van maatregelen voor reductie van ammoniakemissies ingezet, zoals verbeterd mestschuiven (t.b.v. schone vloeren met weinig ureaseactiviteit), mest spoelen, mest verdunnen, mest aanzuren, luchtzuivering in de nok van de stal en gebruik van ureaseremmers of oxiderende biocides (Groenestein et al., 2019; Aarnink en Puente Rodriguez, 2019). In de mestopslag wordt het methaan dat ontstaat uit mest afgevangen en omgezet in kooldioxide (oxidatie). In de dichte stal in het alles-uit-de-kast-pakket wordt een chemische luchtwasser gebruikt voor reductie van ammoniakemissies in de stal. De concentratie methaan wordt in de dichte stal verhoogd door recirculatie en in een biofilter omgezet naar kooldioxide (Melse en Van der Werf, 2005). Een dergelijk systeem is nog niet ontwikkeld in de praktijk en kent forse uitdagingen wat betreft benodigde techniek, investering en energieverbruik om de stalluchtkwaliteit (o.a. CO₂, NH₃, geur, staltemperatuur, zuurstof) op orde te houden en methaanemissies af te vangen. Bij inzet van een biofilter om methaan uit stallucht te verwijderen, kan veel ruimte nodig zijn om een hoge emissiereductie te behalen (zie bijv. Melse en Van der Werf, 2005). In theorie is een hoge emissiereductie haalbaar, maar de vraag is of dit op een kosteneffectieve manier gerealiseerd kan worden.

Omdat bovengenoemde technieken nog in ontwikkeling zijn, is het nog onduidelijk welke emissiereductie in de praktijk kan worden behaald. In deze studie wordt aangenomen dat oxidatie van methaan in uitgedemde lucht aan de voorzijde van ligboxen de methaanemissie met 16% vermindert en dat thermische oxidatie van methaan in een dichte mestopslag methaanemissies uit mest met 75% vermindert (pers. comm. K. Groenestein, juni 2019). Voor de combinatie van ammoniakmaatregelen is aangenomen dat ammoniakemissies uit mest met 75% gereduceerd worden. Voor de dichte stal in het alles-uit-de-kast-pakket is aangenomen dat methaanemissies uit dier en mest met 75% en ammoniakemissies met 85% afnemen.

Varkens

Varkensstallen zijn dicht in het basis 2050 en alles-uit-de-kast-pakket en hebben in het extensieve pakket uitloopopeningen. In alle pakketten worden mest en urine frequent afgevoerd naar gesloten opslagen waarin methaan uit mest wordt omgezet naar kooldioxide. In het alles-uit-de-kast-pakket wordt uitgegaan van een luchtdichte stal met een chemische luchtwasser voor ammoniak. Aangenomen is dat in alle scenario's door snelle afvoer en luchtbehandeling in de dichte mestopslag methaanemissies uit mest met 75% dalen (pers. comm. K. Groenestein, juni 2019). Voor lachgas is aangenomen dat emissies door de aanwezigheid van een uitloop iets hoger zijn in het extensieve pakket ten opzichte van beide andere pakketten.

Ammoniakemissie in stallen met uitloop hoeft niet hoger te zijn dan in stallen zonder uitloop, mits via een goed hokontwerp het kelderoppervlak en de vloerbevuilding wordt beperkt (Aarnink et al., 2015). Voor extensieve varkensstallen is uitgegaan van een ammoniakemissie die gelijk is aan conventionele stallen. Aangenomen is dat ammoniakemissies door snelle afvoer naar een dichte opslag dalen met

85% t.o.v. conventionele huisvesting in het Basis 2050-pakket en het alles-uit-de-kast-pakket en met 75% dalen in het extensieve pakket (d.w.z. 39-67% t.o.v. huidige emissies). Een beperktere reductie van ammoniak is aangenomen in het extensieve pakket vanwege de natuurlijke ventilatie door uitloopopeningen. Voor de inzet van chemische luchtwassers in het alles-uit-de-kast-pakket wordt uitgegaan van 95% NH₃-reductie ten opzichte van het conventionele houderijsysteem (88-89% t.o.v. huidige emissies).

Pluimvee

Pluimveestallen zijn dicht in het Basis 2050- en alles-uit-de-kast-pakket en hebben uitloopopeningen in het extensieve pakket. In het Basis 2050-pakket wordt uitgegaan van volledige implementatie van de op dit moment meest voorkomende lage-emissie(Rav-)staltypes voor leghennen en opfokhennen. In het alles-uit-de-kast-pakket wordt uitgegaan van volledige implementatie van het Rav-staltype met de laagste emissies, i.e. koloniehuisvesting met mestdroging en frequent afdraaien. In het extensieve pakket wordt uitgegaan van volièrehuisvesting met mestbandbeluchting en frequent afdraaien, maar is de emissiereductie beperkt vanwege natuurlijke ventilatie via uitloopopeningen. Rekening moet worden gehouden met hogere fijnstofconcentraties in volièrehuisvesting. Dit is niet meegenomen in de huidige studie.

Ook voor vleeskuikens en ouderdieren wordt uitgegaan van volledige implementatie van de op dit moment meest voorkomende lage-emissie(Rav-)staltypes in het Basis 2050-pakket en volledige implementatie van het staltype met de laagste emissies in het alles-uit-de-kast-pakket. In het extensieve pakket wordt een beperktere ammoniakreductie aangenomen vanwege de natuurlijke ventilatie via uitloopopeningen.

Weidegang en uitlopen

Melkvee

In het Basis 2050-pakket is aangenomen dat 80% van de melkkoeien 720 uur weidegang per jaar krijgen. In het alles-uit-de-kast-pakket worden koeien jaarrond op stal gehouden. In het extensieve pakket is aangenomen dat alle koeien dag en nacht weidegang krijgen gedurende 180 dagen per jaar (3600 uur per jaar). Door de toename in beweiding nemen emissies uit de stal af en nemen emissies in de weide toe. In het extensieve pakket nemen ammoniakemissies uit de stal verder af vanwege dag-en-nachtbeweiding: aangenomen is een reductie van 50% gedurende het weideseizoen (pers. comm. H.J. van Dooren, juni 2019). Het voordeel van weidegang zal minder sterk zijn wanneer ammoniakemissies uit de stal lager zijn door emissie-reducerende technieken. In het alles-uit-de-kast-pakket nemen ammoniakemissies toe in de stal, maar deze worden grotendeels weer afgevangen door luchtwassers. Andere aannames over emissies staan beschreven in de paragraaf 'rantsoen'.

Varkens

Varkens hebben geen uitloop in het Basis 2050- en alles-uit-de-kast-pakket. In het extensieve pakket krijgen alle dieren toegang tot een verharde uitloop (geheel of gedeeltelijk bestaande uit (beton)roostervloer). Aangenomen wordt dat varkens 25% van de tijd buiten zijn. Kraamzeugen blijven rond het werpen een aantal weken binnen. Omdat varkens zindelijk zijn en de voorkeur hebben om buiten te mesten, wordt aangenomen dat gemiddeld 90% van de mest in de uitloop valt en de rest binnen. Tot dusver zijn er geen metingen verricht aan methaanemissies in varkensuitlopen. Verwacht wordt dat methaanemissie uit mest in uitlopen lager is dan in de stal vanwege een lagere buitentemperatuur. Voor vleesvarkens en fokzeugen met een uitloop in het extensieve pakket is aangenomen dat de methaanemissie uit mest in uitlopen 60% lager is dan in reguliere stallen.

Pluimvee

Voor legpluimvee is in het Basis 2050-pakket uitgegaan van de huidige situatie in Nederland waarin 22% van de leghennen toegang heeft tot een vrije uitloop. In het alles-uit-de-kast-pakket is aangenomen dat hennen geen toegang hebben tot een vrije uitloop en in het extensieve pakket hebben alle hennen toegang tot een uitloop. Afhankelijk van de geboden beschutting in de uitloop maakt 3 tot 16% van de hennen gebruik van de uitloop (Dekker et al., 2010). In het Basis 2050-pakket en het extensieve pakket is uitgegaan van een goede inrichting van de uitloop waardoor 16% van de hennen buiten loopt gedurende gemiddeld 8 uur per dag, wat neerkomt op 5% van de tijd

(467 uur per jaar). Doordat hennen veelal dicht bij de stal blijven, is de mineralenbelasting met name hoog in het deel van de uitloop dat dicht bij de stal ligt (Dekker et al., 2012; Van Niekerk en Leenstra, 2016). In het eerste deel van de uitloop waar de mineralendruk het hoogst is, wordt de mest of spoelwater opgevangen en/of gefilterd en regelmatig afgevoerd.

Voor vleeskuikens is aangenomen dat dieren in het extensieve pakket vanaf de leeftijd van drie weken toegang hebben tot een vrije uitloop. In de uitloop zijn soortgelijke maatregelen genomen als bij leghennen om ophoping en uitspoeling van mineralen te voorkomen. Daarbij is uitgegaan van dezelfde benutting van de uitloop als bij leghennen (5% van de tijd). Aangenomen is dat ammoniakemissies uit mest in uitlopen van legpluimvee- en vleeskuikenbedrijven 90% lager zijn dan ammoniakemissie uit de stal (Aarnink et al., 2006).

Dieren en productiviteit

Melkvee

Aangenomen wordt dat de melkproductie per koe verder stijgt met 80 kg per jaar in het Basis 2050-pakket (11315 kg/koe/jaar) en 120 kg per jaar in het alles-uit-de-kast-pakket (12635 kg/koe/jaar). Deze toenames zijn biologische mogelijk, koeien worden groter en deze melkopbrengsten worden nu al op sommige bedrijven gehaald. In het extensieve pakket wordt uitgegaan van een stijging van 20 kg per jaar ten opzichte van het huidige melkproductieniveau (9335 kg/koe/jaar). De toename in productiviteit wordt in de productiviteit-gedreven scenario's gerealiseerd door genetische selectie en beter management, terwijl in de natuurinclusieve scenario's daarnaast deels andere robuustere runderrassen worden gebruikt. Een toename van de melkproductie resulteert in hogere emissies per koe, en in lagere emissies per kg melk. Een toename van 100 kg per jaar resulteert in ongeveer 1% reductie van de emissie per kg melk per jaar (Mollenhorst en De Haas, 2019). Aannames over gevolgen voor emissies per koe staan beschreven in de paragraaf 'rantsoen'. Door selectie op dieren met een lagere enterische methaanemissie is een reductie van 0,5-1% per jaar waarschijnlijk haalbaar (pers. comm. Y. de Haas, juni 2016). Voor alle pakketten is een toepassing van genetische selectie op dieren met lagere methaanemissies gedurende 25 jaren aangenomen, waardoor een reductie van 22% wordt bereikt. De productietoename in de natuurinclusieve scenario's is onzeker en kan mogelijk lager liggen, afhankelijk van de aannames over runderrassen en veranderingen in productiviteit.

Varkens

De voederconversie van vleesvarkens en fokzeugen is in de afgelopen decennia sterk verbeterd, en verwacht wordt dat deze trend zich in de toekomst verder zal voortzetten (Kuling en Blonk, 2016). Bij fokzeugen wordt de verbeterde voederconversie gerealiseerd door een toename in het aantal biggen per zeug. Verwacht wordt dat het aantal biggen per zeug nog verder stijgt, maar op termijn afvlakt door de toename in biggensterfte. Bij een hogere productiviteit van zeugen zijn minder moederdieren nodig om hetzelfde productievolume te realiseren en kan de zeugenstapel krimpen. Aangenomen is dat het gemiddeld aantal grootgebrachte biggen per zeug toeneemt tot respectievelijk 36 en 38 grootgebrachte biggen per zeug in het Basis 2050-pakket en het alles-uit-de-kast-pakket (indien nodig met kunstmatige opfok). In het extensieve pakket wordt uitgegaan van de huidige biggenproductie van 30 grootgebrachte biggen per zeug.

Voor vleesvarkens is aangenomen dat de groeisnelheid van varkens stijgt naar 900 gram/dag in het basis 2050 pakket en 1000 gram/dag in het alles-uit-de-kast-pakket. Door de hogere groeisnelheid en verbetering van het management daalt de voederconversie in het Basis 2050-pakket met 7%, en in het alles-uit-de-kast-pakket met 20%. In het extensieve pakket is aangenomen dat de groeisnelheid en voederconversie gelijk zijn aan het huidige niveau. Aangenomen is dat netto-emissies per dierplaats min of meer gelijk blijven: emissies zullen iets stijgen door een hogere productiviteit per dierplaats, maar dalen door verbetering van de voederconversie.

Pluimvee

Bij leghennen is de tendens dat de legperiode (levensduur) toeneemt en naar ongeveer 100 weken gaat. In de studie is aangenomen dat de legperiode in 2050 100 weken bedraagt in het Basis 2050-pakket, en 120 weken in het alles-uit-de-kast-pakket. Voor het extensieve pakket wordt de autonome ontwikkeling in levensduur bij biologische hennen verondersteld, die op 90 weken uitkomt. Door een

verlenging van de legperiode zijn minder opfokhennen nodig om hetzelfde productievolume te realiseren.

Wat betreft vleeskuikens zijn Nederlandse supermarkten in de afgelopen jaren overgestapt naar trager groeiende rassen, zgn. de 'nieuwe standaardkip'. De groei norm voor deze nieuwe standaardkip ('middensegment') is 49 g/dier/dag, t.o.v. 59 gram voor reguliere vleeskuikens en 43 gram voor trager groeiende vleeskuikens (één ster Beter Leven-kuikens; KWIN 2018-2019). Dit gaat gepaard met een hogere voederconversie van 1,9 voor vleeskuikens in middensegment t.o. 1,6 voor reguliere vleeskuikens en 2,1 voor trager groeiende rassen. In het Basis 2050-pakket is uitgegaan van de huidige situatie waarin ongeveer 35% van de vleeskuikens niet-regulier is (waarvan 25% middensegment en 10% trager groeiende rassen). In het alles-uit-de-kast-pakket is aangenomen dat er wordt teruggerepen op de reguliere rassen en in extensieve pakket is ervan uitgegaan dat alle vleeskuikens trager groeiende vleeskuikens zijn. Aangenomen is dat de voederconversie door beter bedrijfsmanagement in alle pakketten 5% verbetert t.o.v. de huidige situatie.

Aangenomen wordt dat door de reductie in opfokhennen lachgas- en ammoniakemissies met respectievelijk 2% en 5% dalen in het Basis 2050-pakket en alles-uit-de-kast-pakket. Voor vleeskuikens zijn emissiecijfers van trager groeiende rassen nog niet beschikbaar. Daarom zijn gelijke emissies per dier aangenomen voor trager en sneller groeiende rassen (overeenkomstig met emissiecijfers in NEMA). Wat betreft veranderingen in de voederconversie van vleeskuikens is aangenomen dat lachgas- en ammoniakemissies per vleeskuiken (incl. ouderdieren) met 5% en 12% dalen in het Basis 2050-pakket en alles-uit-de-kast-pakket en met 15% toenemen in het extensieve pakket.

Rantsoenen

Melkvee

Voor melkvee zijn rantsoenen geoptimaliseerd op basis van stikstof- en fosfaatplafonds, met ondergrenzen van 145 gram eiwit en 3,3 gram fosfaat. Hierbij zijn ruw eiwit (RE) en fosfaat (P) gehalten in gras en snijmais gelijk gehouden en gehalten in mengvoer aangepast (o.b.v. FeedPrint model; Vellinga et al., 2012). In het Basis 2050-pakket is uitgegaan van de huidige ruwvoersamenstelling en gekozen voor geplette tarwe en gedeeltelijke vervanging van bijproducten door tarwe, waardoor het RE-gehalte van het 'mengvoer' is gereduceerd tot 120 gram g/kg ds en het P-gehalte tot 3,2 g/kg ds. Vanwege het hoge grasaandeel bij jongvee kunnen RE en P niet verder dalen. In het alles-uit-de-kast-pakket is een groter aandeel snijmais aangenomen, waardoor een aanpassing in type krachtvoer naar laag ruw eiwit voldoende was om de ondergrens van het rantsoen te bereiken. Het bleek niet nodig te zijn om het P-gehalte van het voer aan te passen. In het extensieve pakket is aangenomen dat het rantsoen in de zomer enkel uit grazen bestaat (gras-klaver) en in de winter uit graskuil, maiskuil en mengvoer. Het mengvoer is omgezet naar tarwe met een RE-gehalte van 110 g/kg ds en een P-gehalte van 3,1 g/kg ds.

Effecten van veranderingen in productiviteit, rantsoensamenstelling en weidegang zijn gecombineerd om veranderingen in broeikasgasemissies te berekenen (o.b.v. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM); MacLeod et al., 2013). Absolute methaanemissies uit dieren en mest namen met 12% en 22% toe, lachgasemissies namen met respectievelijk 6% en 17% af in het Basis 2050-pakket en alles-uit-de-kast-pakket. In het extensieve pakket namen methaanemissies uit dieren en mest met 8% af en namen lachgasemissies met 65% toe.

Veranderingen in productiviteit en rantsoensamenstelling hebben effect op de N-excretie en daarmee op ammoniakemissie. Daarnaast zorgt een toename in beweiding voor lagere ammoniakemissie uit de stal en iets hogere emissie in de weide. Dag-en-nachtbeweiding heeft een additioneel verlagend effect op ammoniakemissie uit de stal (zie paragraaf 'Weidegang en uitlopen'). Voor het gecombineerde effect van veranderingen in productiviteit, rantsoensamenstelling en weidegang is aangenomen dat ammoniakemissie met 6% afneemt in het Basis 2050-pakket en met 2% toeneemt in het alles-uit-de-kast-pakket. In het extensieve pakket is aangenomen dat ammoniakemissies met 35% afnemen.

Voor het voeren van een combinatie van voeradditieven (bijv. nitraat, 3NOP) is een reductie van 40% van enterische methaanemissie aangenomen in het Basis 2050-pakket en alles-uit-de-kast-pakket en een reductie van 20% in het extensieve pakket door voeren van niet-chemische voeradditieven (pers. comm. A. Bannink, mei 2019). Aangenomen is een lagere opname en derhalve een lagere effectiviteit van additieven bij weidegang.

Varkens

In het alles-uit-de-kast-pakket is de hoeveelheid eiwit in het rantsoen verlaagd waardoor ammoniakemissies en lachgasemissies met respectievelijk 30% en 32% afnemen voor zeugen en vleesvarkens (Groenestein et al., 2017). In het Basis 2050-pakket is aangenomen dat de hoeveelheid eiwit in het rantsoen minder snel afneemt en ammoniakemissies en lachgasemissies met respectievelijk 15% en 16% dalen voor zeugen en vleesvarkens. In het extensieve pakket is aangenomen dat de hoeveelheid eiwit in het rantsoen gelijk blijft. Verder is een toevoeging van benzoëzuur in het rantsoen van biggen en vleesvarkens aangenomen, waardoor ammoniakemissies met 8% afnemen in het Basis 2050-pakket en extensieve pakket en met 16% in het alles-uit-de-kast-pakket (Aarnink et al., 2008).

Pluimvee

Aangenomen is een verlaging van de hoeveelheid eiwit in het rantsoen, waardoor ammoniakemissies en lachgasemissies met 25 en 30% afnemen voor leghennen en vleeskuikens in het alles-uit-de-kast-pakket, en met 15 en 20% afnemen voor leghennen en vleeskuikens in het Basis 2050-pakket (Groenestein et al., 2017). In het extensieve pakket is aangenomen dat de hoeveelheid eiwit in het rantsoen gelijk blijft.

Bemesting en bodembewerking

Mesthoeveelheid

Akkerbouw

In totaal zijn er drie maatregelen die vallen onder de categorie mesthoeveelheid voor de akkerbouw. De eerste maatregel, waarbij de gebruiksnormen voor N en P worden aangescherpt, wordt in ieder pakket even effectief toegepast. Hierbij wordt voor N uitgegaan van een combinatie van in het huidige beleid opgenomen aanpassingen in de gebruiksnormen, in combinatie met aanvullende aanscherping (Groenendijk et al., 2017). Hiermee is een reductie van 0,75 kton N te behalen, welke met name wordt behaald op de droge zandgronden. Voor P wordt uitgegaan van de gebruiksnormen zoals vastgesteld voor 2021 in het zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn, in combinatie met een lagere mestgift voor met P verzadigde gronden. Dit levert een reductie op van 0,02 kton P op de droge zand- en lössgronden. Door het invoeren van deze maatregel zullen dus met name de uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater afnemen.

De tweede maatregel betreft het telen van meer stikstofbindende eiwitgewassen, vnl. ten behoeve van veevoer, waardoor de N-kunstmestgift verminderd kan worden. Dit leidt tot lagere NH₃- en N₂O-emissies en een reductie van de N-belasting naar het oppervlaktewater. Deze maatregel wordt met name toegepast in het extensieve pakket, aangezien daar een beperking wordt opgelegd op de kunstmestgift. In het Basis 2050- en het alles-uit-de-kast-pakket wordt de maatregel slechts voor 50% toegepast, aangezien de kunstmestgift daar niet aan banden ligt. Bij een volledige toepassing van deze maatregel resulteert dat in een reductie van 0,2 Mton CO₂-eq aan N₂O-emissies, 4 kton NH₃-reductie en een reductie van 0,2 kton N-belasting naar het oppervlaktewater. Voor het Basis 2050- en het alles-uit-de-kast-pakket geldt dus een reductie van respectievelijk 0,1, 2 en 0,1.

De derde maatregel die van invloed is op de mesthoeveelheid is het extensiveren van het bouwplan. Deze maatregel beoogt een aanpassing in het bouwplan, waardoor er meer plaats is voor rustgewassen, die een bodemverbeterende werking hebben. Daarnaast kan door goed management de kunstmestgift verlaagd worden en is er minder grondbewerking nodig. Voor het extensieve pakket geldt dat de standaardrotatie 1:5 wordt, met meer granen en andere rustgewassen in het bouwplan. Dit levert een reductie op van 2 kton N en 0,2 kton P en van 0,15 Mton CO₂-eq aan N₂O emissies en

3 kton NH₃ emissie, o.a. als gevolg van de verminderen van de kunstmestgift. Daarnaast levert het telen van rustgewassen een koolstofvastlegging op 0,4 Mton op in de vorm van bodemorganische stof. Voor het Basis 2050-pakket wordt uitgegaan van een 1:4-rotatie. Hierdoor wordt er aangenomen dat het effect van de maatregelen 50% is van wat er in het extensieve pakket behaald kan worden. In het alles-uit-de-kast-pakket wordt deze maatregel niet opgenomen, aangezien wordt uitgegaan van behoud van het huidige intensieve bouwplan, waarin een 1:3-rotatie de standaard is met veel rooigewassen in het bouwplan.

Melkveehouderij

Voor de melkveehouderij zijn twee maatregelen gedefinieerd m.b.t. de mesthoeveelheid. De eerste maatregel is het aanscherpen van de gebruiksnormen van N en P, zoals eerder beschreven voor de akkerbouw. De maatregel voor akkerbouw en melkveehouderij is hetzelfde gedefinieerd, echter treden er verschillen in reductiepotentieel op. Dit wordt met name veroorzaakt door het feit dat het areaal grasland in Nederland groter is dan het areaal akkerland. Voor N resulteert dit in een reductie van 1,5 kton N en 0,05 kton P. De lachgasreductie is gelijk aan de reductie in de akkerbouw met 0,05 Mton CO₂-eq. Deze maatregel wordt in ieder maatregelpakket gelijk toegepast.

De tweede maatregel is het toepassen van grasklaver in (tijdelijk) grasland. Dit betreft het tijdelijk grasland dat in rotatie is met snijmais of andere akkerbouwgewassen in het alles-uit-de-kast en Basis 2050-pakket. Voor het extensieve pakket is aangenomen dat ook in een deel van het permanent grasland grasklaver kan worden toegepast. Door het gangbare Engels raaigras te vervangen door grasklaver, is er minder stikstofbemesting nodig, aangezien grasklaver in staat is om stikstof te binden. Door deze reductie in stikstoftoediening dalen de N₂O- en NH₃-emissies met respectievelijk 0,2 Mton CO₂-eq en 2 kton. In het extensieve pakket is het effect van deze maatregel tweemaal zo groot. Het effect op de N-belasting van het oppervlaktewater van deze maatregel is te verwaarlozen, de uitspoeling onder grasland is al beperkt.

Type bemesting

Maatregelen akkerbouw

De eerste maatregel is het toepassen van nitrificatieremmers. Nitrificatieremmers worden toegevoegd aan de mest en remmen de vorming van nitraat uit ammonium door nitrificerende bacteriën. Hierdoor kunnen de nitraatuitspoeling en denitrificatie verminderd worden. Het toedienen van nitrificatieremmers heeft over het algemeen geen negatief effect op de gewasopbrengsten; dit wordt veroorzaakt doordat het stikstofverlies lager uitvalt omdat de nitraatuitspoeling en denitrificatie verminderen. Deze maatregel wordt met name in het alles-uit-de-kast-pakket toegepast (N₂O emissiereductie van 0,1 Mton CO₂-eq). Voor het Basis 2050-pakket wordt ervan uitgegaan dat nitrificatieremmers minder worden toegepast (N₂O- emissiereductie van 0,05 Mton CO₂-eq). In het extensieve pakket wordt deze maatregel niet toegepast, aangezien hierbij een toepassing van chemische additieven niet is toegestaan. Het effect van deze maatregel op de N-belasting naar het oppervlaktewater is 0,5 en 1 kton N-reductie, respectievelijk, voor het Basis 2050- en het alles-uit-de-kast-pakket. Het effect op ammoniak is negatief, wat betekent dat ammoniakemissies toenemen met respectievelijk 0,5 en 1 Kton voor het Basis 2050- en alles-uit-de-kast-pakket.

Met meer vaste mest wordt een verandering in het type bemesting beoogd. Door het aanpassen van de stallen en het scheiden van mest bij de bron ontstaat er vaste mest en gier. Als gevolg bevat de vaste mest vrijwel geen ureum meer, maar is deze geconcentreerd in de gier. Door het ontbreken van ureum in de mest zal er vrijwel geen ammoniakemissie ontstaan bij toediening op het land. Doordat gier emissiearm kan worden toegediend, zal ook daar de ammoniakemissie afnemen. Aangezien voor alle pakketten wordt aangenomen dat de stallen aangepast worden naar een type met scheiding bij de bron en snelle mestafvoer, zal vaste mest in ieder pakket worden toegepast. Echter het effect van de maatregel is in het alles-uit-de-kast-pakket groter doordat dieren geen weidegang krijgen. In het Basis 2050- en extensieve pakket is dit wel het geval, waardoor de effectiviteit van het mest scheiden en afvoeren afneemt en er dus minder vaste mest overblijft. Dit effect is het grootst in het extensieve pakket, aangezien daar 100% van de dieren toegang heeft tot een uitloop of weidegang. Het resultaat van deze maatregel is een CO₂-reductie van respectievelijk 0,175, 0,2 en 0,15 Mton voor Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en extensieve pakket. De ammoniakreductie wordt geschat op respectievelijk

1,75, 2,0 en 1,5 voor het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket. Voor lachgas wordt het effect van de maatregel in respectievelijk het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket geschat op 0,088, 0,1 en 0,075 Mton CO₂-eq N₂O. Er wordt geen effect verwacht op de N- en P-belasting naar het oppervlaktewater.

Melkveehouderij

In de melkveehouderij worden dezelfde maatregelen toegepast – wanneer het om type bemesting gaat – als in de akkerbouw. Voor nitrificatieremmers is het effect in de melkveehouderij groter dan in de akkerbouw, doordat het effect van de maatregel in de akkerbouw wordt afgezwakt door andere genomen maatregelen. Door het toevoegen van nitrificatieremmers nemen de N₂O-emissies af met respectievelijk 0,15 en 0,3 Mton CO₂-eq voor het Basis 2050- en het alles-uit-de-kast-pakket. Het effect van de maatregel op de N-belasting naar het oppervlaktewater is een reductie van respectievelijk 1 en 2 kton N in het Basis 2050- en het alles-uit-de-kast-pakket. Ook in de melkveehouderij hebben nitrificatieremmers een negatief effect op de NH₃-emissies, welke toenemen met respectievelijk 1,5 en 3 kton voor het Basis 2050- en het alles-uit-de-kast-pakket.

Het effect van meer vaste mest in de melkveehouderij is vergelijkbaar met die in de akkerbouw. Dit betekent dat dezelfde reducties worden verwacht, m.u.v. de emissies van lachgas en N naar het oppervlaktewater in het extensieve pakket. Voor lachgas wordt geen effect verwacht in het extensieve pakket, aangezien N₂O-emissies deels toenemen door urineplekken in de wei. Om dezelfde reden neemt de N-belasting naar het oppervlaktewater toe met 0,5 kton in het extensieve pakket.

Mestplaatsing

Akkerbouw

Via efficiëntere bemesting wordt beoogd om de N- en P-efficiëntie te laten toenemen, waardoor de verliezen naar het oppervlaktewater afnemen. Dit gebeurt door het uitvoeren van een combinatie van precisiebemestingstechnieken met een verschuiving van ammonium naar nitraatmeststoffen. Het effect van deze maatregel op de N-belasting is een reductie van 1,5, 2 en 1 kton N voor respectievelijk het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket. Volgend op deze reducties nemen ook de lachgas- en ammoniakemissies af. Voor lachgas resulteert dit in een reductie van 0,113, 0,15 en 0,075 Mton CO₂-eq voor respectievelijk het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en extensieve pakket. Voor NH₃ treden reducties op van 1,5, 2 en 1 kton voor respectievelijk het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket. Het beoogde effect van de maatregel op de P-belasting naar het oppervlaktewater is respectievelijk 0,075, 0,1 en 0,05 kton P voor het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket.

De laatste maatregel die in de akkerbouw wordt genomen m.b.t. de plaatsing van mest is het laten infiltreren/bezinken van oppervlakkige afspoeling. Het infiltreren/bezinken gebeurt middels randdammen, helofytenfilters en drainage aanpassingen in en langs akkers, waardoor N en P wordt afgevangen en de belasting naar het oppervlaktewater afneemt. Deze maatregel wordt in ieder maatregelpakket toegepast. Het effect van de maatregel op de N-belasting is een reductie van 2 kton. Voor de P-belasting naar het oppervlaktewater treedt een reductie van 0,1 kton op. Als gevolg van de reductie van de N-belasting neemt ook de N₂O-emissie af met 0,007 Mton CO₂-eq.

Melkveehouderij

Er zijn vier maatregelen opgenomen wat betreft de plaatsing van mest in de melkveehouderij. Het sleepvoetverbod is sinds 2019 actief in de melkveehouderij, waarbij de sleepvoet moet worden vervangen door een techniek met een emissiefactor gelijk aan die van een zodenbemester. Hierdoor nemen ammoniakemissies af met 1,3 kton. Aangezien het verbod in ieder pakket geldt, is het effect van de maatregel gelijk voor ieder maatregelpakket.

Ook in de melkveehouderij zal efficiënter worden bemest. Hiervoor geldt eenzelfde principe als in de akkerbouw. Het effect van de maatregel op NH₃-emissies is gelijk als in de akkerbouw, met een reductie van 15, 2 en 1 Kton NH₃ in het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket. Voor de N-belasting naar het oppervlaktewater en de lachgasemissies worden lagere reducties beoogd

dan voor de akkerbouw, namelijk 0,75, 1 en 0,5 kton N en 0,075, 0,1 en 0,05 Mton CO₂-eq N₂O-emissies voor het Basis 2050-, het alles-uit-de-kast- en het extensieve pakket.

Door de diversiteit van het grasland te verhogen, wordt gestreefd naar een hogere diversiteit aan plantensoorten in het grasland. Het verhogen van de diversiteit van het grasland heeft meerdere voordelen. Zo zal een deel van de plantensoorten uit vlinderbloemigen bestaan, waardoor de behoefte aan N-kunstmest afneemt. Als gevolg hiervan nemen de N₂O-, de NH₃- en de N-belasting af. Deze maatregel wordt volledig toegepast in het extensieve pakket en in mindere mate in het Basis 2050-pakket. In het alles-uit-de-kast-pakket wordt de maatregel niet toegepast, aangezien dat niet past bij het streven van een zo efficiënt mogelijk rantsoen. De effecten van de maatregel op N₂O zijn een reductie van 0,5 Mton CO₂-eq in het Basis 2050-pakket en van 1 Mton CO₂-eq in het extensieve pakket. Voor NH₃ geldt een reductie van respectievelijk 1 en 2 kton. Dezelfde waarden voor reductie worden gevonden voor de reductie van de N-belasting naar het oppervlaktewater. Tevens is er de hypothese dat door het verhogen van de diversiteit van het grasland de koolstofvastlegging in de bodem kan worden verhoogd, doordat de diverse soorten verschillende worteldieptes hebben en de wortelbiomassa zal toenemen, waardoor ook de worteluitscheiding toeneemt en er meer koolstof vastgelegd kan worden (De Lange et al., 2015).

De laatste maatregel m.b.t. plaatsing van de mest voor de melkveehouderij is het plaatsen van bufferstroken in het grasland. Deze bufferstroken zijn bemestingsvrije zones aan waterlopen van het grasland waar de kans op N- en P-uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater relatief hoog is. Deze maatregel wordt in ieder maatregelpakket even efficiënt toegepast. Dit resulteert in een reductie van de N-belasting van 0,84 kton en van de P-belasting van 0,07 kton (Noij et al., 2013; Groenendijk, pers. com.). Tevens treedt er een reductie van de N₂O-emissie op van 0,05 Mton CO₂-eq, door een afname van denitrificatie in de slootwanden en de indirecte emissies.

Timing mestaanwending

Akkerbouw

Door de timing van de mestaanwending te optimaliseren, kan een reductie in emissies gerealiseerd worden. Een van de gedefinieerde maatregelen voor de akkerbouw zijn aanvullende toedieningsmaatregelen, welke een combinatie is van het aanzuren van mest i.c.m. emissiearme technieken, het verbeteren van de effectiviteit van huidige technieken, het injecteren van mest op zandgronden en toediening bij emissiearme weerscondities (Groenestein et al., 2017). Groenestein et al. (2017) opperen hier een o.a. een NH₃-emissiereductie van 6 kton in 2050. Gezien het feit dat er dubbeltelling optreedt bij een aantal van de genoemde maatregelen, is deze reductie bijgesteld. Hierdoor wordt een NH₃-reductie van 2 kton verwacht. De genoemde maatregel van het injecteren van mest op de zandgronden heeft een afwenteling op de lachgasemissies (Velthof & Mosquera, 2011), waardoor deze met 0,05 Mton CO₂-eq toenemen. Deze maatregel wordt in ieder maatregelpakket even efficiënt toegepast.

Groenbemesters worden ook gezien als maatregel m.b.t. de timing van de mestaanwending. Daarnaast heeft het toepassen van groenbemesters een effect op de methoeveelheid die kan worden toegediend. Onder de maatregel groenbemesters wordt hier een combinatie van groenbemesters en vanggewassen verstaan. Door het toepassen van groenbemesters wordt de N- en P-belasting naar het oppervlaktewater gereduceerd, doordat de gewassen de overgebleven nutriënten opnemen. Dit resulteert in een reductie van 1 kton N en 0,02 kton P. Tevens zorgen groenbemesters voor extra aanvoer van biomassa wanneer deze worden ondergewerkt, waardoor koolstof kan worden vastgelegd. Hierdoor neemt het CO₂-gehalte in de bodem toe met 0,3 Mton CO₂-eq. Groenbemesters zijn al verplicht na het telen van mais op zand- of lössgrond (RVO) en in deze studie wordt aangenomen dat deze regeling zal worden uitgebreid naar meerdere landbouwgewassen uit de akkerbouw, wat in elk maatregelpakket een gelijk effect zal hebben.

Melkveehouderij

De maatregel 'aanvullende toedieningsmaatregelen' is vergelijkbaar voor de melkveehouderij vergelijkbaar met de akkerbouw en is naar rato van het oppervlak ingevuld. Hierdoor zijn de reductiepotentiëlen in de melkveehouderij hoger ingeschat dan voor de akkerbouw. Dit resulteert in

een ammoniakreductie van 4 kton. Ook in de melkveehouderij wordt een toename van de N₂O-emissie verondersteld van 0,05 Mton CO₂-eq.

Bodembewerking

Akkerbouw

Een maatregel met betrekking op akkerland die niet direct onder 4R benadering past is minimale grondbewerking. De hypothese is dat door het verminderen van de diepe grondbewerking de afbraak van organische koolstof afneemt en er dus meer koolstof in de bodem blijft opgeslagen. Bij deze maatregel wordt diep ploegen vervangen door ondiep ploegen of woelen. Deze maatregel heeft het meeste potentie in het extensieve maatregelpakket, door de combinatie met het extensieve bouwplan. In het alles-uit-de-kast-pakket heeft deze maatregel minder potentie, doordat rooigewassen nog steeds een belangrijk onderdeel van het bouwplan uitmaken. Door het toepassen van minimale grondbewerking wordt er naar schatting 0,3 Mton CO₂-eq vastgelegd in de bodem in het basis 2050 en alles-uit-de-kast-pakket. In het extensieve pakket is de vastlegging naar schatting 0,4 Mton CO₂-eq.

In de akkerbouw zal tevens het bouwplan worden geëxtensiveerd. Deze maatregel beoogt een aanpassing in het bouwplan, waardoor er meer plaats is voor rustgewassen, welke een bodemverbeterende werking hebben. Daarnaast kan door goed management de kunstmestgift verlaagd worden en is er minder grondbewerking nodig. Voor het extensieve pakket geldt dat de standaardrotatie 1:5 wordt, waarbij granen in ieder bouwplan voorkomen en er geen kunstmest wordt toegediend. Dit levert een reductie op van 2 kton N en 0,2 kton P en van 0,15 Mton CO₂-eq aan N₂O-emissies en 3 kton NH₃-emissie, o.a. als gevolg van de verminderen van de kunstmestgift. Daarnaast levert het telen van rustgewassen een koolstofvastlegging op van 0,4 Mton in de vorm van bodemorganische stof. Voor het Basis 2050-pakket wordt uitgegaan van een 1:4-rotatie waarin rooigewassen nog steeds voorkomen, maar waar de kunstmestgift wel vermindert. Hierdoor wordt er aangenomen dat het effect van de maatregelen 75% is van wat er in het extensieve pakket behaald kan worden. In het alles-uit-de-kast-pakket wordt uitgegaan van een minimale aanpassing van het bouwplan, waarin een 1:3-rotatie de standaard is. Om deze reden wordt daar uitgegaan van een effect dat 50% is van wat er in het extensieve pakket behaald wordt.

Melkveehouderij

De laatste maatregel is het verhogen van de leeftijd van het tijdelijk grasland. Door het scheuren van grasland vindt versnelde afbraak van organische stof plaats. Als gevolg van deze afbraak worden grote hoeveelheden organische stikstof gemineraliseerd, waarbij lachgasemissies ontstaan wanneer deze niet worden opgenomen door bijvoorbeeld een groenbemester. Door het scheuren van grasland te beperken, vindt er meer opbouw van koolstof plaats in de bodem en worden N₂O-emissies naar de lucht voorkomen. Deze maatregel wordt in ieder maatregelpakket even effectief toegepast. Dit resulteert in een N₂O-emissiereductie van 0,1 Mton CO₂-eq en in een CO₂-vastlegging in de bodem van 0,2 Mton CO₂-eq. Tevens neemt de N-belasting naar het oppervlaktewater af met 1 kton N.

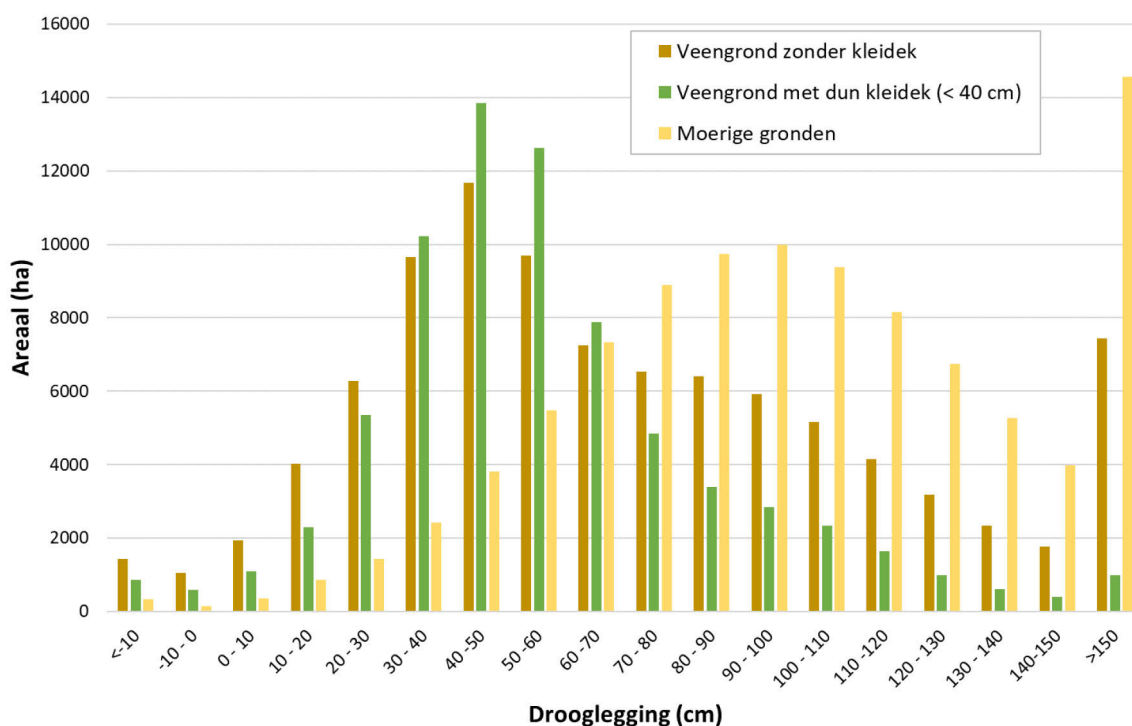
Een maatregel in de melkveehouderij die niet direct onder een van de 4R's geplaatst kan worden, is het vervangen van snijmais door gras. Deze maatregel volgt uit het rantsoen die voor de verschillende maatregelpakketten is gedefinieerd (paragraaf 2.4.2). Deze maatregel is met name relevant voor het extensieve pakket, waar zeer beperkt snijmais in het rantsoen zit. Het effect van deze maatregel betekent meer grasland en zal als landgebruiksverandering worden meegenomen in de optimalisatietool (paragraaf 2.5).

Bijlage 2 Methodiek emissies veenweide

Arealen veengrond

Voor de analyse van de emissiereductie in veengronden is gebruikgemaakt van de actuele polderpeilen, de maaiveldhoogte (afgeleid uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), de bodemkaart en het landgebruik (gebaseerd op informatie uit de Basis Registratie Percelen (BRP)). De polderpeilen zijn bij de verschillende waterschappen opgevraagd, waarbij (waar mogelijk) is uitgegaan van het zomerpeil. Voor het bepalen van de maaiveldhoogte is gebruikgemaakt van AHN3, met een gridgrootte van 5 m, met aanvullingen vanuit het AHN2 daar waar AHN3 nog niet volledig is. Met behulp van de bodemkaart uit 2014 zijn de relevante bodemtypen geselecteerd en ingedeeld in drie groepen, namelijk:

- Veengrond zonder kleidek
- Veengrond met dun kleidek < 40 cm
- Moerige gronden



Figuur 33 Verdeling arealen gras- en akkerland op organische bodems naar droogleggingsklasse en bodemtype.

Voor de verdere analyse is enkel gerekend met de arealen veengrond zonder kleidek en veengrond met dun kleidek (<40 cm). Moerige gronden, gronden met een dunne veenlaag (5-40 cm), zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien er niet de verwachting is dat voor deze gronden grootschalige aanpassingen gedaan worden in waterbeheer. Ook in het Klimaatakkoord is niets afgesproken over specifieke maatregelen voor moerige gronden. Aangezien deze studie zich richt op het landbouwareaal, is met behulp van de BRP2018 bepaald wat het areaal gras- en akkerlandpercelen is binnen de bovengenoemde bodemtypen. Figuur 33 toont dat de grootste arealen veengrond zonder en met kleidek een drooglegging hebben van 20-90 cm. Dit staat gelijk aan een areaal van 57.000 ha en 58.000 ha, resp., oftewel 60 en 80% van het landbouwareaal met dat bodemtype.

Broeikasgasemissies

Met behulp van een emissiefactor is vervolgens berekend hoe groot de CO₂-emissies zijn per landschapstype/droogleggingsklasse. Op basis van de methodiek voor emissies uit organische bodems voor de emissieregistratie (Arets et al., 2019), is een inschatting gemaakt van de CO₂-emissie per klasse (Tabel 20). Deze emissiefactoren zijn in lijn met andere studies waar broeikasgasemissies uit veengronden zijn gemeten (Jurasinski et al., 2016; Evans et al., 2017). Naast CO₂ komt er bij oxidatie van veengronden door mineralisatie ook stikstof vrij, wat leidt tot de emissie van N₂O. Op basis van de huidige emissierapportage (Arets et al., 2019) is de gemiddelde verhouding tussen N₂O- en CO₂-emissie bepaald. De gemiddelde N₂O-emissie is 12,6% van de CO₂-emissie, en is toegepast voor alle emissiefactoren.

Tabel 20 Emissiefactoren (ton CO₂-eq/ha) per landschaps- en droogleggingstype.

	CO ₂	N ₂ O	Totaal
EF natuurgrasland	5	0,6	5,6
EF paludicultuur	5	0,6	5,6
EF natuur (broekbos/moeras)	0	0,0	0,0
EF extensief hoog peil	5	0,6	5,6
EF onderwaterdrainage	10	1,3	11,3
EF matige drooglegging	15	1,9	16,9
EF diepe drooglegging	20	2,5	22,5
EF zeer diepe drooglegging	30	3,8	33,8

Emissies uit moerige gronden zijn buiten beschouwing gelaten. De moerige gronden hebben echter wel een aandeel in de totale broeikasgasemissies uit organische gronden. Het huidige areaal moerige gronden onder gras- of akkerland in Nederland is 125.000 ha. De gemiddelde emissiefactor voor moerige gronden in Nederland is 12 ton CO₂-eq/ha (Arets et al., 2019). Hierdoor komt de totale huidige emissie uit moerige gronden uit op 1,5 Mton CO₂.

Voor de overige organische gronden die niet onder landbouw vallen, o.a. bebouwd gebied en natuur, zijn ook de huidige arealen en emissies bepaald. Het areaal bebouwd gebied op organische gronden is 35.670 ha, waaruit 0,4 Mton CO₂ geëmitteerd wordt. Het totale areaal organische bodems, zoals gerapporteerd in de emissieregistratie, is 436.000 ha. Dit betekent dat 99.000 ha organische grond buiten de landbouw (zoals meegenomen in de landbouwtelling) en bebouwing valt. Dit zijn met name niet-landbouwgraslanden (zoals grasland van particulieren, bermen) en bos en natuur. De resterende emissies voor dit areaal bedragen 1,4 Mton CO₂-emissie.

Voor het bepalen van het areaal organische bodems in 2050 is rekening gehouden met een afname in areaal, door het verdwijnen van veen en moerige gronden. De historische trend in areaal organische bodems is bepaald op basis van de bodemkaart uit 1977 en de update daarvan uit 2014. Hieruit is af te leiden dat het areaal veengronden in 37 jaar tijd met 18,5% en het areaal moerige gronden met 15,3% is afgenomen. Deze afnames zijn ook verwerkt in de emissiecijfers van de nationale emissieregistratie. Voor deze studie is aangenomen dat deze trend doorzet naar 2050 voor de moerige gronden. Voor de veengronden is aangenomen dat de afnamesnelheid halveert, aangezien een groot deel van de dunnere veengronden met diepe ontwatering al is verdwenen. Dit heeft met name in de Veenkoloniën plaatsgevonden, terwijl de resterende veengronden in andere gebieden vaak dikkere pakketten zijn en die ook minder diep ontwaterd zijn.

Bijlage 3 Achtergrond scoring dierenwelzijn

Auteurs: Hans Hopster (melkvee), Marc Bracke (varkens), Thea van Niekerk (pluimvee) en
 Marion de Vries (coördinatie)

Melkvee

Welzijnsknelpunten in de huidige melkveehouderijssystemen openbaren zich voornamelijk als gezondheidsstoornissen (mastitis, klauw- en locomotieproblemen, reproductie- en stofwisselingsstoornissen), als technopathieën/systeemgebonden aandoeningen (beschadigingen aan huid, hakken, knieën en benen) en als een tekort aan comfort en beweging (svrijheid) (harde, vuile, natte vloeren, krappe boxen, harde ligbodems, hittestress in hete zomers). Daarnaast worden vroegtijdige sterfte en moederloze opfok van kalveren, de relatief hoge producties en korte levensduur van koeien en onvoldoende mogelijkheden voor de expressie van natuurlijk gedrag (tekort aan weidegang) als problematisch ervaren.

Stalinrichting

Naarmate mest en urine eerder en beter worden gescheiden en vaker uit de stal worden verwijderd, zal de kwaliteit van het stalklimaat verbeteren. Dat melkkoeien hier baat bij hebben, ligt voor de hand. In hoeverre het welzijn van koeien gebaat is bij of geschaad wordt door mestscheidingstechnieken, zal onder andere afhangen van de gebruikte technieken.

Welzijnsimplicaties ontstaan namelijk niet in een vacuüm. In samenspel met stalklimaat, voeding en management wordt bepaald welke gevolgen mestscheidingstechnieken uiteindelijk voor de koeien hebben. De opvang van urine in een koeientoilet bijvoorbeeld lijkt als zodanig niet veel nadelen voor de koe te hebben, maar deze 'staloplossing' kan er wel toe leiden dat de druk om melkkoeien binnen te houden, toeneemt, nog afgezien van onbeantwoorde vragen over praktische bruikbaarheid, effectiviteit en maatschappelijke beeldvorming. Bij (kunststof)vloeren die urine doorlaten of (tegel- of hellende) vloeren die urine snel afvoeren, is het de vraag of de mest die resteert voldoende vaak wordt verwijderd zonder de vloeren glad te maken of de koeien te hinderen in hun gedrag. De reacties van koeien op mestschuiven en mestrobots suggereren dat koeien leren om met deze bewegende objecten in hun leefomgeving om te gaan, mits er voldoende ruimte is om deze te ontwijken. Indien loopvloeren schoner en droger zijn, leidt dit tot een betere hygiëne van de leefomgeving, van klauwen, huid en uiers en tot minder infecties, minder uitglijden en minder kreupelheid. Of dit bij de verschillende scenario's leidt tot verschillen in dierenwelzijn hangt ook samen met hoe de veehouder het reinigen van de vloer weet in te passen in het dagelijkse gedragspatroon van de koeien en hoe de veehouder met de klimaatregeling omgaat. Ook hangt dit af van de uitvoering van de vloer en van hoe de mest van de vloer wordt verwijderd. Als dat tot gevolg heeft dat vloeren glad worden, dan kan dat negatief uitpakken voor het welzijn van de koe (uitglijden, angst om te lopen, kneuzingen en in het ergste geval botbreuken). Ook bij nieuwe ontwikkelingen, zoals bij het afvangen van enterisch methaan uit de bek van de herkauwende melkkoe om deze vervolgens in CO₂ om te zetten, is het van groot belang dat koeien door de daarvoor benodigde apparatuur niet in hun bewegingen belemmerd worden.

In het algemeen is er een ontwikkeling gaande om loop- en ligboxvloeren voor (relatief zware) melkkoeien comfortabeler te maken. Door de selectie op melkproductie is een 'comfortabel ligkussen' in de vorm van voldoende bespiering in mindere mate integraal onderdeel van de koe, waardoor de ligplaats ter compensatie meer comfort moet bieden. Rubbertopvloeren en diepstrooiselboxen zijn een stuk zachter, en melkkoeien hebben er een (sterke) voorkeur voor. Ook in vrijloopstallen, die als zodanig koeien veel comfort en bewegingsvrijheid bieden, vraagt hygiëne blijvende aandacht. Deze autonome ontwikkeling in de verbetering van stallen geldt echter voor alle scenario's. Dat is althans het uitgangspunt in deze scenariostudie.

Een verschil tussen het *Productiviteit strikter*-scenario en de overige scenario's is de gesloten stal met klimaatbeheersing. Klimaatbeheersing heeft voor koeien als voordeel dat de temperatuur en de luchtvochtigheid in hun leefomgeving beter kunnen worden afgestemd op de eisen van de koeien. In Nederland is het aantal zomerse dagen (→ 25°C, gemeten in De Bilt) vanaf begin 20^{ste} eeuw toegenomen van 13 tot gemiddeld 26 dagen (1981-2010), met in 2018 maar liefst 54 zomerse dagen en in Noord-Limburg zelfs 84. De thermo-neutrale zone van *Bos taurus* ligt tussen 2°C en 21°C. Dat is de temperatuurrange waarbinnen het koeien geen extra energie kost om de lichaamstemperatuur op peil te houden. Het valt te verwachten dat het aantal zomerse dagen in de toekomst verder zal toenemen. De temperatuur van 25°C wordt voor koeien beschouwd als de kritieke temperatuur waarboven ze gaan zweten, sneller gaan ademhalen, vocht verliezen en een verhoogde lichaamstemperatuur krijgen. Koeien zetten een deel van de energie uit het rantsoen om in warmte. Vanwege de hogere energieopname produceren hoogproductieve koeien meer warmte, waardoor hun bovenste kritieke temperatuur waarschijnlijk 3-5 graden lager ligt. Desondanks zou het effect van klimaatbeheersing als zodanig, los van dat van permanent opstallen (zie onder weidegang), weleens beperkt kunnen zijn. Ook in de huidige melkveehouderij verblijven koeien die volgens de geldende minimumnormen worden geweid, dagelijks de meeste tijd in de stal. In de praktijk beschikken veel melkveehouders over de mogelijkheden om koeien op zomerse dagen 's nachts in plaats van overdag te weiden en zetten melkveehouders in de stal ventilatoren en vermisters in om het stalklimaat voor de koeien aangenaam te houden. Bij omgevingstemperaturen hoger dan de bovenste kritieke temperatuur passen koeien zich niet alleen aan door hun warmteafgifte te verhogen, maar ook door hun warmteproductie te verlagen, met als gevolg een lagere voeropname en een lagere melkproductie. Daarmee is het voorkomen van hittestress ook direct in het belang van de veehouder, ongeacht het scenario.

Als nadeel van de dichte stal kan worden genoemd dat koeien in dichte stallen, in vergelijking met koeien in open stallen of koeien in de weide, minder worden blootgesteld aan een diversiteit aan prikkels. Het zenuwstelsel evalueert voortdurend inkomende prikkels, filtert prikkels uit die niet belangrijk zijn en reageert op prikkels die relevant zijn voor overleven en welbevinden. Gewenning aan relevante prikkels is een fundamenteel proces die de perceptie, de herinnering en het gedrag van dieren beïnvloedt, zeker in relatie tot mensen en hun activiteiten, waardoor dieren daar beter mee om leren gaan. Als tweede bezwaar van dichte stallen geldt de hogere concentratie van fijnstof in de stallucht. Dit wordt versterkt door een droger binnenklimaat als gevolg van het eerder en beter scheiden en het vaker uit de stal verwijderen van mest en urine. In vergelijking met pluimvee- en varkensstallen is deze concentratie in open melkveestallen met natuurlijke ventilatie momenteel beduidend lager. Het is aannemelijk dat de fijnstofconcentraties in dichte, klimaatgeregelde melkveestallen hoger liggen. Of deze echter de grens overschrijden waarbij de koeien er ongerief of (sub)klinische problemen van ondervinden, valt lastig in te schatten.

Weidegang

In ons land speelt het leven van de meeste melkkoeien zich deels af in de stal en deels in de weide. De scenario's verschillen hierin, variërend van uitsluitend in de stal (*Productiviteit strikter*-scenario) tot zo veel mogelijk weidegang met een minimum van 10 uur per dag gedurende 180 dagen per jaar (natuurinclusieve scenario). In hoeverre melkkoeien moeten kunnen beschikken over weidegang is in ons land een hardnekkig discussiepunt.¹⁶ Verdergaande beperking van de bewegingsvrijheid van melkkoeien in een intensiverende sector creëert spanning met het exploiteren van een melkveehouderijbedrijf als bedrijfseconomische activiteit. Weidegang is het thema waarin deze twee gezichten van moderniteit (rationele vs. natuurlijke productie) worden weerspiegeld, waarbij waardeoriëntaties, overtuigingen en referentiekaders de positie van sectorpartijen en burgers bepalen.¹⁷ In een representatieve enquête onder Nederlanders scoorde zero-grazing¹⁸ op een schaal van 1 (volledig onacceptabel) tot 7 (volledig acceptabel) gemiddeld een 2,6.

¹⁶ Van Gerven, Grashoff, Koser Kaya, 2015. Wei voor de koe, Initiatiefnota SP, GroenLinks en D66.

¹⁷ Boogaard, B.K., Bock, B.B., Oosting, S.J., Wiskerke, J.S.C. and A.J. van der Zijpp, 2011. Social Acceptance of Dairy Farming: The ambivalence between the two faces of modernity. *J Agric Environ Ethics* 24:259-282.

¹⁸ De vraag luidde: "If it is financially necessary for the continuation of the farm, then it is acceptable that cows are kept inside all year round."

Omdat 'weidegang' en 'permanent opstallen' containerbegrippen zijn met daarbinnen grote variaties in omstandigheden die op hun beurt wisselend uit kunnen pakken voor het welzijn van koeien, hebben generieke uitspraken over het welzijn van koeien bij weidegang en bij opstallen altijd hun beperkingen. Bovendien ontbreekt het aan actuele studies waarin sprake is van een zuiver contrast tussen weidende koeien en koeien die permanent zijn opgesteld. We moeten daarvoor terug naar de tijd dat koeien tijdens de weideperiode nog dag en nacht buiten bleven. Onderzoek in die tijd toonde aan dat infectieuze klauwaandoeningen die tijdens de stalperiode in ernst en omvang waren toegenomen, bij volledige weidegang in de loop van het weideseizoen spontaan verdwenen. Sinds de introductie van ligboxenstallen verblijven koeien echter ook tijdens het weideseizoen dagelijks geruime tijd in de stal. Bij de huidige norm voor weidegang (minimaal 120 dagen 6 uur/dag) zijn de koeien ook op weidedagen driekwart van het etmaal in de stal. Onderzoek, hoewel niet representatief voor het gemiddelde melkveebedrijf, laat een gunstig verband zien tussen weidegang en het voorkomen van beschadigingen, zwellingen en kreupelheid. In een zorgvuldig opgezet keuze-experiment verkozen koeien in het Verenigd Koninkrijk 71% van het etmaal de weide boven de stal. Binnen of in de weide additioneel TMR (Total Mixed Ration) aanbieden en ook het melkproductieniveau veranderden deze keuze niet. Wel nam de voorkeur voor de weide beduidend af naarmate het seizoen vorderde (aug-nov). Lichte regen (ca. 2 mm) had geen effect op de voorkeur van de koeien, een combinatie van temperatuur en luchtvochtigheid des te meer. Dit illustreert dat koeien de weide als positief ervaren, mits de omstandigheden gunstig zijn.

Dit wordt bevestigd door de praktijk. Indien koeien gewend zijn aan weidegang, staan ze bij mooi voorjaarsweer aan het eind van de stalperiode 'verlangend' te loeien en naar buiten te kijken. Ook reageren ze uitbundig (rondrennen, bokkesprongen maken, stoeien) als ze na de stalperiode weer voor het eerst naar buiten gaan. Dit wijst op inhaalgedrag voor de tijdens de stalperiode opgelegde beperkingen. Bij hevige buien of bij heet, zonnig weer drommen ze echter samen bij het hek, omdat ze liever naar binnen willen. Vergelijkbare onrust is zichtbaar als bij grote koppels koeien stripgrazing wordt toegepast. De beperking in het aanbod van gras, dat dit beweidingssysteem kenmerkt, maakt dat koeien onderling weinig afstand houden, waardoor ook in de weide koeien samenscholen, met als gevolg dat urine en mest vermengen en in relatief hoge concentraties door de bodem worden opgenomen. Een verschijnsel dat eveneens op kan treden als andere 'resources' in de weide (schaduw, drinkwater, droge ligplekken) te beperkt beschikbaar zijn.

Een stal, in het bijzonder de dichte stal in het *Productiviteit strikter*-scenario, biedt koeien een relatief prikkelarme omgeving. Als koeien buiten lopen, en in mindere mate in stallen met open wanden, worden ze blootgesteld aan een mozaïek van prikkels en zijn daardoor mogelijk beter weerbaar tegen diverse stressfactoren. Te weinig prikkels is slecht, te veel is ook niet goed. Waar het optimum ligt, is niet bekend en zal van koe tot koe verschillen. Onderzoek hiernaar bij koeien ontbreekt. Een ander aspect is dat koeien in de weide hun rust- en graasgedrag sterker synchroniseren dan in de stal, afhankelijk van het melk- en voersysteem. Het is onbekend in welke mate synchronisatie van gedrag optreedt als koeien 6 uur per dag of minder buiten zijn. Onderzoek bij melk- en zoogkoeien op 30 Zwitserse bedrijven wees uit dat melken en voeren in belangrijke mate bijdragen aan de synchronisatie van gedrag. Bij zoogkoeien die niet werden gemolken en waarbij het rantsoen voornamelijk bestond uit weidegras was de mate van synchronisatie desondanks dermate sterk dat de auteurs niet uitsluiten dat koeien van nature de behoefte hebben om hun gedrag te synchroniseren. In de vrije natuur zijn er andere 'Zeitgeber' die de synchronisatie van gedrag stimuleren. Diezelfde vraag doet zich voor bij jongvee dat minder of geheel niet in de weide komt. Welke consequenties een gebrek aan beweging tijdens de opfok op gezondheid en levensduur tijdens de productiefase heeft, is onbekend. Voor in kuddes levende hoefdieren heeft synchronisatie van gedrag als evolutionair voordeel dat dit het individuele dier meer bescherming biedt. Het is niet bekend wat de relevantie is van synchronisatie van gedrag voor het welzijn van koeien die in een veilige (stal)omgeving worden gehouden, maar gelet op het feit dat koeien de timing van hun gedrag probleemloos lijken aan te passen aan wisselende omstandigheden, lijkt het belang van synchronisatie voor de koe beperkt.

Een ander verschijnsel is dat koeien in de weide af en toe languit op hun zij liggen; ook in vrijloopstallen zien we dat, in een ligboxenstal kan dat niet. De tijd dat koeien op hun zij liggen, is zeer beperkt en het belang hiervan is onbekend. Het is een houding waarin duidelijk elke spierspanning ontbreekt, vergelijkbaar met remslaap. Onderzoek naar slaap bij koeien staat nog in de

kinderschoenen. Per etmaal vertonen koeien 35-50 min remslaap, verdeeld over 7,5-12,5 episodes. Naarmate de lactatie vordert, neemt de remslaap toe. Over de gevolgen van verminderde remslaap in bijv. ligboxenstallen is bij koeien niets bekend.

Duidelijk is dat koeien in de weide onbelemmerd kunnen bewegen, inclusief het vertonen van rustgedrag. In de wei kunnen koeien 'normaal' opstaan door bij het opstaan hun gewicht naar voren te brengen, zodat de knieën worden belast en de achterhand wordt ontlast. Daarmee kunnen de achterpoten vanuit de lighouding gemakkelijker onder het lichaam worden gebracht waarbij de koe tevens een of enkele stappen naar voren doet. In een ligboxenstal kunnen de koeien dat niet, maar worden ze bij het opstaan juist door de schoftboom gedwongen naar achteren te bewegen. De gevolgen van deze onnatuurlijke beweging zijn onbekend, maar het is aannemelijk dat de spieren en gewrichten van de achterbenen daarmee relatief zwaarder worden belast. Bovendien zijn – ondanks verschillen in grootte tussen koeien – de ligboxen in een stal uitgevoerd volgens het principe 'one size fits all'. Dat betekent voor bepaalde koeien dat deze meer dan andere moeite hebben om de ligbox te gebruiken. Afgezien van belasting zullen koeien in de weide meer bewegen. Uit onderzoek bij aangebonden koeien is bekend dat koeien die voorafgaand aan het afkalven meer beweging hebben gehad, de transitie beter doorkomen. Of een tekort aan beweging koeien die permanent zijn opgesteld kwetsbaarder maakt, is onbekend. Diezelfde vraag doet zich voor bij jongvee dat minder of geheel niet in de weide komt. Welke consequenties een gebrek aan beweging tijdens de opfok op gezondheid en levensduur tijdens de productiefase heeft, is onbekend. Wel is duidelijk uit onderzoek op Dairy Campus dat dagelijks vijf kilometer lopen in een tredmolen de lichaamsconditie van koeien verbeterde. Ontwikkelingen als ingestrooide groepshokken/ruimtes voor transitiekoeien komen tegemoet aan de behoefte van koeien aan meer bewegingsruimte.

Een relevant welzijnsaspect en een belangrijk verschil tussen weide en stal is de samenstelling van en de controle over de energie-, eiwit- en overige nutriëntensamenstelling van rantsoenen. Met name bij hoogproductieve koeien luisteren de rantsoensamenstelling en de energieopname nauw. In de gecontroleerde stalomgeving is dat eenvoudiger te realiseren dan in de weide, waar in veel gevallen tamelijk eenzijdig raaigras groeit. Als bijvoorbeeld de kwaliteit van het gras tegenvalt of het weer ongunstig is, verblijven koeien liever in de stal waar ze bijvoeding en beschutting vinden. Ook stelt de dagelijkse gang naar de weide eisen aan het kavelpad. Losliggende stenen op een harde ondergrond en scherpe randen leiden tot beschadigingen aan de klauwen, met name als koeien worden opgejaagd en niet zelf kunnen kiezen waar ze hun klauwen plaatsen. Een ander risico in de weide zijn besmettingen met long- en maagdarmwormen en leverbot, die overigens met de juiste preventieve maatregelen zijn te voorkomen. Daarentegen wordt de weide anderszins (gedrag, gezondheid, hygiëne) voor bijvoorbeeld downer koeien in het algemeen als heilzaam gezien. Het in balans brengen van alle aspecten van voeding (energie, eiwit, nutriënten, structuur, beschikbaarheid) voor iedere koe op elk moment, afhankelijk van haar lactatiestadium en productieniveau, is een uitdaging die in het *Productiviteit strikter*-scenario minder complex lijkt dan in de overige scenario's.

Samenvattend worden koeien in een ligboxenstal ten opzichte van het verblijf in de weide in hun gedrag beperkt. Naarmate koeien relatief langer op stal verblijven, is er meer risico op technopathiën/systeemgebonden aandoeningen, gebrek aan comfort, locomotieproblemen en kreupelheid. Daar tegenover staan gecontroleerde rantsoenen van mogelijk betere kwaliteit en beschutting tegen slechte weersomstandigheden. De beoordeling van het welzijn van dieren beperkt zich echter niet tot het voorkómen van problemen, maar strekt zich ook uit tot positieve aspecten van gedrag. Mits de weersomstandigheden goed zijn en het grasaanbod voldoende, hebben koeien in een ruime weide meer keuze- en bewegingsvrijheid om hun momentane, soortspecifieke en individuele behoeftes te bevredigen. Concluderend kan gezegd worden dat er duidelijke aanwijzingen zijn dat weidegang uit oogpunt van dierenwelzijn (diergedrag en diergezondheid) voor koeien in het algemeen voordelen heeft, maar op het niveau van het individuele dier of het bedrijf sterk samenhangt met de nutritionele vereisten van het dier en met de omstandigheden in de stal en in de weide. Het is de opgave van de veehouder om daartussen voor elke koe de juiste balans te kiezen.

Dieren

Fokkerijinspanningen die eenzijdig gericht zijn op het verhogen van de productiviteit of efficiëntie hebben verstrekkende nadelen voor het welzijn van de betrokken dieren. Selectie, eenzijdig gericht op

bijvoorbeeld vermindering van de residuele voeropname (dat deel van de opgenomen voedingsstoffen dat niet wordt aangewend voor productie en onderhoud), kan leiden tot ongewenste afwenteling op de gezondheid en/of het welzijn van melkkoeien. Het is daarom van groot belang dat mogelijke afwentelingen onderdeel zijn van een meer omvattend fokdoel. Zo kunnen eventuele nadelen van selectie op productie of efficiëntie in kaart worden gebracht en worden gecompenseerd. Op dit moment omvat het fokdoel voor melkvee, naast drie kenmerken voor productiviteit (belang 29%), aandacht voor twaalf functionele kenmerken (belang 71%) die betrekking hebben op reproductie, levensduur, gezondheidskenmerken en exterieur.

Met betrekking tot de gevolgen van het fokken van methaan-emissiearme koeien voor het welzijn van de betrokken dieren, kwamen op basis van gesprekken met experts recent de volgende twee aspecten in beeld. Ten eerste werd gewezen op het risico van eenzijdige selectie, waardoor volgens de resource allocation theorie niet door selectie geprioriteerde orgaansystemen in de knel kunnen komen. Voorkomen moet worden dat koeien 'improductieve activiteit' in die mate reduceren dat ze bijvoorbeeld te veel liggen en te weinig bewegen en daarmee aan lichamelijke fitheid inboeten en meer moeite krijgen om probleemloos van ligboxen gebruik te maken. Methaanvorming vindt echter in de pens plaats zonder dat dat nu meteen gevolgen heeft voor resource allocation. Niet de koe, maar micro-organismen in haar pens vormen methaan, waarmee methaanvorming als het ware 'buiten' de koe plaatsvindt. De koe reguleert daarbij zeer sterk de omstandigheden waarin deze micro-organismen hun werk doen. Bovendien, zoals reeds is aangegeven, is in de fokkerij van melkkoeien allerm minst sprake van eenzijdige selectie. Als tweede zijn mogelijke gevolgen genoemd van het fokken op herkauwers met een relatief kleine pens. Dat zou het risico kunnen inluiden dat koeien op den duur minder vezelrijk ruwvoer kunnen opnemen. Dit risico lijkt vooral ontleend aan onderzoek met schapen, die generaties lang eenzijdig zijn geselecteerd op lagere emissie. Te verwachten effecten bij melkkoeien zijn daarvoor veel te gering. Een koe met een kleine pens is ten opzichte van een koe met een grote pens vermoedelijk niet belemmerd in de opname van een vezelrijk rantsoen. Een risico dat wel zou kunnen toenemen is de kans op pensverzuring. Een verschuiving van azijn- naar propionzuur leidt weliswaar tot minder methaan, maar het pensmilieu wordt daardoor zuurder. Daar staat tegenover dat de vorming van glucose toeneemt, iets waar een koe in de vroege lactatie veel baat bij heeft. Koeien hebben na het afkalven veelal een negatieve energiebalans en zijn dan bevattelijker voor gezondheidsstoornissen. Belangrijkste parameter om te noemen is de passagesnelheid (al dan niet in combinatie met een enigszins kleinere pens). De passagesnelheid beïnvloedt de plaats van vertering en daarmee de voorziening van eiwit en zetmeel in de darm. Dit is eveneens de hoeveelheid fermenteerbare organische stof die beschikbaar komt voor microbiële groei in de pens. De passagesnelheid heeft direct invloed op de fermentatie en het microbioom, en daarmee wellicht ook op de methaanvorming. Beide risico's lijken door een integraal fokdoel met aandacht voor productiviteit én functionele kenmerken beheersbaar, mits duidelijk is waar de risico's zich voordoen, mitigerende kenmerken in de praktijk betrouwbaar kunnen worden vastgesteld en deze tijdig in het fokdoel worden opgenomen.

Anders dan bij de fokkerij van varkens en kippen, waarbij een beperkt aantal fokkerijorganisaties het fokdoel bepaalt, hebben individuele melkveehouders relatief veel invloed op de fokkerijkoers die zij op hun eigen bedrijf willen varen. Melkveehouders kunnen verschillende accenten leggen op productie- of functionele kenmerken, afhankelijk van wat het best in hun bedrijfsvoering past. Dat geldt om het even welk scenario, maar draagt bij aan de variatie tussen bedrijven binnen scenario's. In lijn met de gedachten achter respectievelijk de productiviteit-gedreven en natuurinclusieve scenario's, zal in de productiviteit-gedreven scenario's de focus liggen op productie en bij het natuurinclusieve scenario's op gebruik van robuustere dieren met meer dubbeldoelkenmerken. Hoewel het verschil in type dieren niet in de scenario's is geëxpliciteerd, is dit in lijn met de huidige verschillen tussen gangbare en biologische melkveebedrijven en als zodanig in de beoordeling meegenomen.

Productiviteit

Biologisch gezien vindt er tijdens het leven van een organisme een voortdurende afbraak plaats van verouderde en beschadigde cellen met daartegenover een voortdurende nieuwvorming van cellen. Dat is niet anders voor de koe. Tijdens haar leven kampt een koe met gevaren vanuit de omgeving, maar ook met intern verval en macromoleculaire schade die veroudering kenmerkt en die leidt tot verlies aan fitheid. De oorzaak van deze veroudering is dat cellulaire schade zich ophoopt tijdens het leven.

Deze schade wordt grotendeels intern gegenereerd. Naarmate het metabolisme is verhoogd en de stofwisseling sneller verloopt, ontstaat meer cellulaire schade die niet kan worden hersteld. In theorie kan daarom worden aangenomen dat koeien die veel melk geven en een hoger metabolisme hebben, sneller verouderen en jonger sterven dan koeien met een lager productieniveau.

De relatie tussen productieniveau enerzijds en het optreden van gezondheidsstoornissen, welzijnsproblemen en levensduur anderzijds is echter niet simpel. Dat komt onder andere omdat huisvesting, voeding en management in sterke mate bepalen of koeien die veel melk geven een grotere kans lopen op problemen. Tegelijkertijd zullen koeien met problemen minder melk produceren en lopen koeien die slechter produceren een grotere kans om van het bedrijf te worden afgevoerd. Het tegenovergestelde geldt voor probleemloze koeien met een relatief hoog productieniveau. Daar komt nog bij dat factoren als bijvoorbeeld de beschikbaarheid van vervangende, veelbelovende jonge koeien, de marktprijzen voor uitstootvee en gewijzigde wetgeving aangaande fosfaat mede het afvoerbeleid bepalen en daarmee eveneens de leeftijd waarop melkkoeien van het bedrijf worden afgevoerd. Door al deze verstrengelingen is het niet mogelijk om algemeen geldende uitspraken te doen over de implicaties van hogere melkproducties voor het welzijn van koeien op melkveebedrijven.

De melkkoeien op de tien bedrijven met het hoogste productieniveau in Nederland, produceren in 2019 gemiddeld tussen de 13.000 en 15.000 kg/koe/jaar, tegen gemiddeld 9.155 kg/koe/jaar voor alle bedrijven. In dat licht is de aanname dat de melkproductie per koe in het *Productiviteit voorgenomen*-scenario verder stijgt naar 11.300 kg/koe/jaar in 2050 en in het *Productiviteit strikter*-scenario naar 12.600 kg/koe/jaar begrijpelijk. In de natuurinclusieve scenario's wordt uitgegaan van een stijging naar 9.300 kg/koe/jaar. Ten opzichte van het productieniveau op de huidige biologische melkveebedrijven (6.580 kg/koe/jaar in 2017) is deze productieverhoging (ca. 25%) vergelijkbaar met die in het *Productiviteit strikter*-scenario. Gesteld dat ontwikkelingen in huisvesting, voeding en management hiermee gelijke tred houden, hoeft het welzijn van koeien daarvan geen schade te ondervinden. De houdbaarheid van die stelling moet echter worden betwijfeld, met name voor die bedrijven die arbeidsknelpunten gaan ervaren, waar niet het vereiste vakmanschap aanwezig is of die niet in staat zijn om voer aan te bieden van voldoende kwaliteit. In dergelijke situaties zullen hogere productieniveaus in het *Productiviteit strikter*-scenario vermoedelijk gepaard gaan met een verhoogde kans op bepaalde gezondheidsproblemen.

Rantsoenen

Verschillen tussen scenario's in de verhouding mais/gras en krachtvoer in het rantsoen hebben invloed op de verhouding azijnzuur en propionzuur. De fermentatie van zetmeelrijke rantsoenen en/of gebruik van zetmeelrijke krachtvoerders, maar ook van zogenaamde 'snelle graskuil' (snel gegroeid, structuurarm eiwitrijk gras) resulteert vooral in de vorming van propionzuur. Structuurrijke rantsoenen verschuiven de verhouding in de richting van azijnzuur. Door een verschuiving van azijn- naar propionzuur neemt de vorming van glucose toe. Hoogproductieve koeien in het begin van de lactatie hebben daar voordeel bij, maar een nadeel is dat de kans op pensverzuring toeneemt als de balans verstoord raakt. Door het verstrekken van een rantsoen met een lagere passagesnelheid of door het dagelijks toevoegen van natriumbicarbonaat kan de balans in stand worden gehouden.

Terugdringen van de productie van het broeikasgas methaan (CH₄) kan door stoffen aan het voer van herkauwers toe te voegen. Recentelijk zijn de toevoeging van 3-nitrooxypropanol (3-NOP) en in mindere mate nitraat als relatief duurzame en ethisch verantwoorde voederadditieven geïdentificeerd. 3-NOP is door DSM Nutritional Products AG gepatenteerd (merknaam Bovaer) en een registratieaanvraag is inmiddels ingediend bij de EFSA. Het Amerikaanse voerbedrijf Cargill heeft het gebruik van een gezuiverde vorm van een nitraatzout in veevoer gepatenteerd. Bij herkauwers gaat met de vorming en emissie van CH₄ ook energie verloren. Afhankelijk van het werkingsmechanisme kan het terugdringen van de CH₄-productie voor de melkkoe dus een energievoordeel opleveren. Dat kan voordelig zijn tijdens die periode in de lactatie waarin de koeien zich in een negatieve energiebalans bevinden. Echter, alleen voor 3-NOP zijn er aanwijzingen gevonden voor een dergelijk positief effect. 3-NOP lijkt de methaanemissie substantieel te kunnen verminderen, zonder dat er voor de gezondheid of het welzijn van de koeien negatieve gevolgen te verwachten zijn. Methaan wordt in de pens gevormd door eencelligen (archaea) uit waterstof (H₂), geproduceerd tijdens de fermentatie van voer, en CO₂. Nitraten kunnen waterstof vervangen als elektronenacceptor waardoor er in de pens

in plaats van CH₄, ammoniak (NH₃) wordt gevormd. Nitraat is als zodanig niet erg schadelijk, behalve als dit door pensbacteriën wordt omgezet in het veel giftiger nitriet. In de literatuur wordt gewezen op de gevaren van (incidentele) overdosis tijdens de nitratsuppletie. Dit zou mogelijk eerder aan de orde kunnen komen bij weidegang als er herbiciden zijn gebruikt die de opname van nitraat door het gewas bevorderen of na een omslag van relatief warm naar koud (< 15°C) weer, waardoor de omzetting van nitraat naar eiwitten in het gewas stagneert. Nitraatvergiftiging kan ernstige gevolgen hebben voor de gezondheid van het dier. Op het proefbedrijf De Marke bleek dat routinematig voeren op een laag niveau (1 tot 1,5%) gedurende meer dan een jaar zonder enig probleem kon. Mogelijk omdat de pensflora daaraan raakt aangepast. Zonder aanpassing van het rantsoen resulteert het gebruik van nitraten in een hogere uitscheiding van stikstof- en ammoniakemissie. In de weideperiode zijn de mogelijkheden voor rantsoenaanpassingen beperkt. De beschikbare studies naar de toepassing van 3-NOP en nitraat hadden over het algemeen een beperkte duur. Voor beide additieven is echter aangetoond dat deze zonder duidelijke problemen zo'n 100 dagen aaneen gevoerd kunnen worden met een persistente daling van CH₄ als gevolg. Niettemin wordt door onderzoekers ook gepleit voor meer op toxiciteit gericht longitudinaal onderzoek alvorens tot commercieel gebruik wordt besloten. Gelet op de registratieaanvraag bij de EFSA zijn dergelijke studies voor 3-NOP waarschijnlijk deels uitgevoerd, hoewel misschien nog niet publiek-toegankelijk.

Varkens

In de huidige varkenshouderij zijn de belangrijkste oorzaken van verminderd welzijn een gebrek aan exploratiemogelijkheden, ruimte, prikkels en beweging (vleesvarkens & zeugen; met name ook van kraamzeugen in de kraambox), ingrepen (staartcouperen, castratie, tandenslijpen (biggen)), buitensporig bespringen (ongecastreerde mannelijke vleesvarkens), voerbepanking (drachtige zeugen), slechte luchtkwaliteit, transport en slacht. Ook incidentele stalbranden leveren dierenleed en maatschappelijke verontwaardiging op. Aan de basis van al deze risicofactoren staat (het management van) de varkenshouder. De varkenshouder is van cruciaal belang voor dierenwelzijn. Echter, mogelijk mede vanwege een andere perceptie en prioritering van dierenwelzijn (d.w.z. meer gericht op gezondheid en productie dan op natuurlijk/soortspecifiek gedrag), worden dierenwelzijnsbeleid en -wetgeving nog weleens anders geïmplementeerd dan (eigenlijk) beoogd.

Belangrijke welzijnsknelpunten in de huidige systemen openbaren zich in abnormaal/ongewenst gedrag/technopathieën: staartbijten, oorbijten, flankbijten, belly nosing (gespeende biggen, vleesvarkens), stereotiep gedrag (zeugen), agressie en huidlaesies (na mengen), gezondheidsproblemen (kreupelheid, longproblemen, maagzweren, (biggen)sterfte), aantasting van de integriteit (castratie, staartcouperen, tandenslijpen en -knippen) en gedragsbeperkingen (geen uitloop, wroeten, nest bouwen, zoenen/modderbad, omdraaien (kraamzeugen), beperkt thermoregulatoir gedrag etc.).

Wat betreft de huidige situatie zijn voor varkens, net als voor kippen en melkkoeien, overzichtsrappporten opgesteld over dierenwelzijn door de EFSA (in 2007, met updates in 2011). Er is daarnaast een aantal expert-opiniestudies uitgevoerd waarin welzijnsonderzoekers gevraagd is om een cijfer te geven voor totaal dierenwelzijn op een schaal tussen 0 en 10, een soort rapportcijfer dus, waarbij 5,5 gezien kan worden als grens tussen wat niet en wel acceptabel is volgens de onderzoekers. Huisvestingssystemen voor dragende zeugen kregen van welzijnsexperts een cijfer 0 en 1 voor respectievelijk aangebonden en individuele voerligboxen, en cijfers 4-5 voor een aantal intensieve groepshuisvestingssystemen binnen zonder stro, zoals het krachtvoerstationsysteem, de voerligbox met uitloop, Biofix (vloeibare voeding uit een nippel) en *ad libitum*-voeding op de vloer. Een modern krachtvoerstationsysteem met stro en weidegang kreeg een 8,8. In de scenariobeschrijvingen in de onderliggende studie is niet aangegeven of stallen van stro worden voorzien en wat de ruimte per dier is. Deze aspecten kunnen sterk bijdragen aan een hoger welzijnsniveau. We zijn bij de beoordeling uitgegaan van intensieve systemen in alle scenario's (stroloze huisvesting met een maximale bezettingsgraad conform de wettelijke eisen/Beter Leven Kenmerk 1 ster, maar zonder onderscheid tussen scenario's (m.u.v. de uitloop in de natuurinclusieve scenario's)).

Stalinrichting

In 2050 zullen de moderne stallen naar verwachting een betere hokinrichting, klimaatregeling en (individuele) voederverstrekking hebben dan op dit moment het geval is. De aanname is dat dit in gelijke mate van toepassing is in de verschillende scenario's voor zover niet nader gespecificeerd. Naarmate mest en urine eerder en beter worden gescheiden en vaker uit de stal worden verwijderd en de stallucht vaker wordt verversd, zal de kwaliteit van het binnenklimaat verbeteren. Dat varkens hier baat bij hebben, ligt voor de hand (lagere concentraties van schadelijke stoffen zoals fijnstof, endotoxinen en ammoniak, en minder longproblemen). Loopvloeren zijn schoner en droger, hetgeen leidt tot een betere hygiëne, minder infecties, minder uitglijden en minder kreupelheid. Of dit bij de verschillende scenario's leidt tot verschillen in dierenwelzijn zal mede afhangen van de wijze van implementatie. Als bijvoorbeeld de hygiëne wordt verhoogd door het installeren van noppen op de roostervloer zodat de varkens niet in het mestgedeelte van het hok kunnen gaan liggen, zullen de dieren beperkt worden in hun bewegingsvrijheid en bijvoorbeeld meer last hebben van hittestress als het te warm wordt in de stal. Ook gladde vloeren (die mest en urine sneller afvoeren) kunnen welzijnsproblemen opleveren (uitglijden, kreupelheid). Wanneer het daarentegen lukt om goed functionerende varkenstoiletten te ontwerpen waarbij de varkens een aparte, speciaal uitgeruste ruimte (toilet) gebruiken voor mesten en urineren, kan dit aanzienlijke welzijnsvoordelen hebben ten opzichte van de huidige standaardroostervloer met daaronder gelegen mestkelder. De potentiële welzijnsvoordelen van een varkenstoilet beperken zich niet tot betere luchtkwaliteit en hygiëne, maar omvatten met name ook mogelijkheden om regelmatig lang stro, ruwvoer en andere hokverrijkingssubstraten te verstrekken die nu vanwege verstopping van de mestput slechts beperkt kunnen worden toegepast. Dat biedt grote welzijnsvoordelen, omdat het varkens een comfortabeler ligbed kan bieden, kan zorgen voor buikvulling (wat met name relevant is voor dragende zeugen die nu vaak beperkt worden gevoerd), bezigheid geeft (voor alle varkens) en ook helpt pijnlijke ingrepen (staartcouperen bij biggen; tandenknippen) en abnormaal gedrag (staartbijten bij biggen, gespeende biggen en vleesvarkens) tegen te gaan.

Vanwege ontwikkelingen op het gebied van informatietechnologie (beschikbaar komen van zowel hardware- als software-apps) bestaan er kansen voor betere gezondheidsdetectie en -monitoring, betere sturing van bijvoorbeeld voeding en klimaat, beter afgestemd op de behoeften van het individuele varken, en, met name ten bate van welzijn, ook meer cognitieve stimulatie van varkens. Niet zonder risico voor het welzijn van varkens tot aan 2050 is het stoppen met het couperen van hun staarten. Daarbij zal er waarschijnlijk, net als bij het terugdringen van antibioticagebruik, in varkensstallen het nodige geëxperimenteerd worden, zonder dat er goed zicht is op het ongerief dat de varkens met intacte staarten tijdens dat leerproces als gevolg van onvermijdelijke staartbijtuitbraken zullen ervaren. Het management en de huisvesting zullen hierop 'al lerende' en met de nodige hobbels en vertraging worden aangepast. Naar verwachting zal er in 2050 uiteindelijk voldoende praktijkkennis beschikbaar zijn om varkens te houden met intacte staarten. In landen als Zweden en Finland is hier al ervaring mee opgedaan, maar het is nog niet zeker of het mogelijk zal zijn in de hier gangbare stallen, met gangbare varkens, bezettingsdichtheden, hokverrijkingmateriaal en (de instelling van) gangbare varkenshouders.

In de natuurinclusieve scenario's is voldoende binnenruimte bij kraamzeugen van belang bij de lagere speenleeftijd (3-4 weken) en kortere tussenworttijd (dan nu bij biologisch het geval is), omdat een te kleine binnenruimte tot welzijnsproblemen kan leiden, bijvoorbeeld wanneer de binnenruimte voor de (jonge) biggen te klein is en ze buiten gaan slapen en dan onderkoeld raken. Het varken kan zelf beter het microklimaat regelen wanneer stro aanwezig is. Dat compenseert op dit moment (grotendeels) de minder goede klimaatregeling bij biologische varkens vanwege de openingen in de stal naar de uitloop. Echter, omdat in 2050 (i.p.v. de huidige rubberflappen) verbeterde uitloopopeningen (met minder warmte en emissieverliezen) te verwachten zijn (zie onder), zal het verschil in binnenklimaat voor de varkens veel minder verschillen dan op dit moment tussen stallen met en zonder uitloopopeningen. Enig verschil zal er wel blijven bestaan, zeker indien in geen van de stallen (lang) stro verstrekt wordt. Wanneer in de stal wel een strobed verstrekt kan worden, zal het verschil in (micro)klimaat in het stalgedeelte van de verschillende scenario's mogelijk verwaarloosbaar zijn.

Uitloop versus huisvesting permanent binnen

In de productiviteit-gedreven scenario's worden alle varkens permanent binnen gehouden, net als in de gangbare varkenshouderij op dit moment. In deze studie is in de natuurinclusieve scenario's gekozen voor een verharde uitloop voor varkens vanwege het risico op normoverschrijding van de mineralenuitspoeling in onverharde uitlopen. Varkens met een verharde uitloop hebben iets minder risico op verveling, toegang tot frisse lucht, iets meer lichaamsbeweging en een uitwijkmogelijkheid voor agressieve soortgenoten in vergelijking met permanent binnen gehuisveste varkens. Daartegenover staat minder beschutting in de stal tegen slechte weersomstandigheden en verminderde klimaatbeheersing vanwege de uitloopopeningen, waardoor welzijnsvoordelen kunnen wegvallen tegen de nadelen van een uitloop.

Een ruime, onverharde uitloop die bovendien beplant is (bijvoorbeeld met varkensbestendige begroeiing), maakt het voor varkens echter mogelijk om (volop) te wroeten en enig (aanvullend) ruwvoer/gras op te nemen. De aanwezigheid van een modderbad ligt in een dergelijk natuurinclusief scenario voor de hand. Uitlopen kunnen mogelijk gecombineerd worden met vormen van bosbouw of energiewinning (bijv. zonnepanelen). Dergelijke grotere, onverharde uitlopen kunnen een verdere bijdrage leveren aan zowel dierenwelzijn als de biodiversiteits- en energiedoelstellingen.

In hoeverre varkens moeten kunnen beschikken over uitloop/weidegang is in ons land, i.t.t. melkvee, nauwelijks een discussiepunt. Bij varkens gaat het met name over de mogelijkheid om te wroeten en eventueel de beschikking te hebben over een modderbad. Beide zijn als regel gemakkelijker te realiseren voor varkens met (onverharde) uitloop, maar ook in stallen worden er, met name in landen met een warm klimaat (Azië, Zuid-Amerika), ook wel 'modder-/waterbaden' toegepast. Dit vraagt wel meer ruimte per dier en extra arbeid. Een technologische ontwikkeling die voor de natuurinclusieve scenario's richting 2050 van belang kan zijn, is de virtuele afrastering. Wellicht zal het in 2050 mogelijk zijn om varkens te laten weiden en wroeten met flexibele afrasteringen, zodat bijv. ook semi-natuurgebieden, wegbermen, plantsoenen en akkers voor varkens toegankelijk gemaakt kunnen worden, bijv. om varkens in te zetten t.b.v. natuurbeheer of in de akkerbouw. De scenariobeschrijvingen voor 'natuurinclusief' in deze studie staan hiermee in contrast, omdat de verharde uitloop nauwelijks toegevoegde waarde levert m.b.t. biodiversiteit.

Actuele studies waarin er sprake is van een zuiver contrast tussen varkens met en zonder uitloop/weidegang zijn er niet of nauwelijks. Hoewel niet systematisch onderzocht, geven ook varkens er in hun gedrag blijk van bij gunstig weer de uitloop/weide als positief te ervaren. Ze lopen vaak buiten, ook als het koud is, en reageren soms uitbundig (rondrennen, bokkesprongen maken, stoeien) als ze na de stalperiode weer voor het eerst naar buiten gaan (enigszins vergelijkbaar met de 'koeiendans'). Dit suggereert inhaalgedrag voor de tijdens de stalperiode opgelegde beperkingen. Bovendien biedt een stal, de dichte stal in het *Productiviteit strikter*-scenario in het bijzonder, varkens als regel een relatief prikkelarme omgeving. Als varkens buiten lopen in de weide, of in mindere mate op een (verharde) uitloop, worden ze blootgesteld aan een mozaïek van prikkels en zijn daardoor mogelijk beter weerbaar tegen diverse stressfactoren. Uitloop/weidegang geeft meer beweging; een zanderige/aarde/weide ondergrond meer grip. De voederconversie wordt door de extra activiteit (en blootstelling aan koelte) nadelig beïnvloed. Of een tekort aan beweging varkens die permanent binnen in een stal verblijven kwetsbaarder maakt, is onbekend. Wel zijn er aanwijzingen dat een (volop) verrijkt kraamhok de biggen weerbaarder kan maken. Bewegingsvrijheid van de zeug versnelt ook het geboorteprocess.

Samenvattend worden varkens op stal ten opzichte van dieren met een ruime, onverharde uitloop/weidegang in hun gedrag beperkt (meer risico op verveling, gebrek aan comfort en locomotie-/gezondheidsproblemen in relatie tot bijv. spierzwakte, minder goede luchtkwaliteit en de beperkte lichaamsbeweging). Daartegenover staat meer beschutting tegen (zeer) slechte weersomstandigheden (en bijv. tocht).

In de uitloop kan er een verhoogd risico bestaan op bepaalde gezondheidsrisico's (bijv. besmetting met parasieten, MMA (Mastitis, Metritis Agalactie), zonnebrand, vogelgriep door besmetting van buitenaf, bijv. door watervogels). Het terugdringen van bijvoorbeeld het gebruik van antiparasitaire middelen zal naar verwachting dan ook lastiger zijn wanneer gebruik wordt gemaakt van onverharde

uitlopen, maar zal ook een probleem opleveren voor de gangbare varkenshouderij in de aanloop naar 2050. Een ophokplicht als gevolg van de uitbraak van een besmettelijke veeziekte heeft impact op het welzijn van varkens. Vanwege de extra kosten voor een ruime uitloop (grondprijs; minder goed verdienmodel) zijn de stallen mogelijk wat minder luxe, met een minder goede klimaatregeling/-beheersing. Anderzijds maken de technologische ontwikkelingen van de afgelopen jaren aannemelijk dat er in 2050 deuren of sluisen ontwikkeld zijn voor gebruik in de veehouderij (incl. varkens) waarbij deuren automatisch open en dicht gaan (al dan niet met individuele dierherkenning) en waarbij de lucht zodanig wordt gestuurd dat de lekkage (van warmte en/of emissies) verder kan worden beperkt dan met de huidige rubberflappen.

Positief voor welzijn kan zijn dat de uitlopen sneller een temperatuurgradiënt bieden waardoor de varkens zelf een koelere of warmere ligplaats kunnen uitkiezen (buiten of binnen liggen; gemakkelijker een plaats vinden om te liggen zonder direct contact met soortgenoten als het warm is; schaduw door een overkapping of de stal). Deze verhoogde keuzemogelijkheden en gedragingen zijn positief voor het varkenswelzijn. (Noot: De comfortzone zou voor biggen onder de 2kg op 32°C liggen, voor mestvarkens van 30-60kg: 18°C; 60-120kg: 16°C; dragende zeugen die beperkt gevoerd worden: 18°C (op stro: 15°C); lacterende zeugen: 16°C.) In alle scenario's kan mogelijk deels aan deze behoefte tegemoet gekomen worden door het installeren van goede sproei-installaties (zowel voor het koelen van inkomende lucht als voor het natmaken van de varkens bij warm weer, en het terugdringen van bijv. stof in de stal).

Productiviteit

De productie-efficiëntie (aantal biggen/zeug/jaar, groei en voederconversie) neemt toe van de natuurinclusieve scenario's, naar het *Productiviteit voorgenomen*- en het *Productiviteit strikter*-scenario. Productiviteit van zeugen is sterk afhankelijk van lactatieduur en vervolgens worpindex. Voor alle scenario's is een korte lactatieduur/vroege speenleeftijd verondersteld (van 3-4 weken), terwijl die van nature ongeveer 12 weken bedraagt. Op dit moment geldt als regel dat als dieren naar buiten kunnen (bijv. bij biologische varkens), er een afname in voederconversie gezien wordt van ongeveer 10% (d.w.z. ongeveer 0,3 punt).

Toenemende productiviteit gaat gepaard met een zeker risico op verminderd welzijn, bijv. afnemende weerbaarheid of verhoogde gevoeligheid voor stress en gezondheidsproblemen.¹⁹ Bij een verhoogd aantal biggen per zeug kunnen er meer biggen geboren worden dan de zeug spenen heeft of kan het noodzakelijk worden om (meer) biggen over te leggen. Door selectie op worpgrootte wordt het voor varkenshouders moeilijker om via management te voorkomen dat er meer (premature) biggen met een relatief laag geboortegewicht worden geboren die net voor, tijdens of net na de geboorte sterven of, als ze levend worden geboren, niet tijdig voldoende colostrum opnemen, daardoor te veel afkoelen, vitaliteit verliezen en in een neerwaartse spiraal geraken en uiteindelijk sterven. Bij de lichte biggen die wel in leven blijven, werkt dit door in de productieresultaten en vitaliteit op latere leeftijd van mestvarkens. Daarentegen is het ook mogelijk dat verbeterde selectietechnieken welzijnsrisico's ten gevolge van verhoogde productie (zoals bijv. bij snelgroeiende vleeskuikens en hoogproductieve melkkoeien) te mitigeren. Ook bij varkens omvat het fokdoel, naast kenmerken voor productiviteit, op dit moment al aandacht voor functionele kenmerken die betrekking hebben op zaken als levensduur, overleving van biggen en gezondheid. Ook zijn er wel initiatieven om bepaalde welzijnsproblemen zoals bijv. castratie (berengeur), agressie en staartbijten m.b.v. genetische selectie tegen te gaan. Met verbeterde selectietechnieken zou dit zelfs kunnen leiden tot een varken dat gelukkig is in de intensieve veehouderij, bijv. door een verhoogde aanmaak van endorfine (natuurlijke morfine-achtige stoffen in de hersenen). Of dat ook maatschappelijk geaccepteerd wordt, zal moeten blijken.

¹⁹ Niet alleen een hogere productie, maar wellicht (bijna) elke verandering met impact op het dier kan een welzijnsrisico opleveren. Dat geldt ook voor beoogde welzijnsverbeteringen zoals groepshuisvesting voor zeugen, stoppen met castreren/couperen/antibiotica en verstrekken van geschikt afleidingsmateriaal. Mogelijk zo ook voor de ruime onverharde uitloop: wanneer (een deel van) de extra kosten voor de uitloop door de boer zelf moeten worden opgebracht, zal hij wellicht (moeten/willen) besparen op arbeid of andere investeringen (bijv. huisvesting) en dat kan, maar hoeft niet per se, een welzijnsrisico met zich mee te brengen. Dit kon overigens in deze scenario-beoordeling niet/slechts beperkt worden meegewogen, omdat de aanname is dat de scenario's in alle opzichten aan elkaar gelijk zijn, tenzij nader gespecificeerd t.b.v. de milieudoelstelling. Vandaar ook dat aan het dier gemeten monitoring van beoogde welzijnsmaatregelen en transparantie over knelpunten van cruciaal belang zijn voor een duurzame veehouderij.

Rantsoen

Benzoëzuur wordt aan het rantsoen toegevoegd om NH₃-emissies te reduceren. Het bevordert ook de darmgezondheid en wordt vanwege de antimicrobiële werking vaak nu al aan biggenvoerders toegevoegd, vooral na het verbod op preventieve antibioticumverstrekking. Organische zuren kunnen dit gezondheidseffect ook veroorzaken, maar hebben geen of weinig invloed op de ammoniakemissie, omdat deze zuren in het lichaam worden afgebroken. Met de huidige maximaal toegestane toevoeging van benzoëzuur (0,5% in biggenvoer en 1% in vleesvarkensvoer) is er geen effect gevonden op de voeropname. Bij hogere doseringen kan dit wel optreden.

Het effect van (verdere) eiwitverlaging in het voer op smakelijkheid is moeilijk aan te geven, omdat dit vooral samenhangt met de grondstofkeuzes. Bij eiwitverlaging moeten er wel extra aminozuren aan het voer worden toegevoegd om deficiënties te voorkomen. Verlaging van het eiwitgehalte heeft i.h.a. een positief effect op de darmgezondheid. Toch valt niet uit te sluiten dat verder verlaagde eiwitconcentraties of emissiebeperkende toevoegingen ook een negatief effect op welzijn kunnen (blijken te) hebben (zie boven onder 'Productiviteit').

Pluimvee

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de mogelijke implicaties van de aangegeven verschillen tussen scenario's voor het welzijn van pluimvee, waarbij (opfok)leghennen apart van vleeskuikens en vleeskuiken-ouderdieren behandeld worden vanwege de grote verschillen in houderij en problematiek. In grote lijnen komen de verschillen in scenario's neer op verschillen in houderij. Bij vleeskuikens en vleeskuiken-ouderdieren speelt ook het genotype (trage versus snelle groeiers) een belangrijke rol. Uitgegaan wordt van de huidige situatie, waarbij er een mix van verschillende houderijen is. Voor het referentiescenario 2050 is weinig verandering in de systemen aangenomen, hoewel er meer toepassingen zullen zijn om de NH₃- en stofuitstoot uit stallen te verminderen. Voor de productiviteitsgedreven scenario's wordt uitgegaan van kooisystemen of strooiselvloeren met beluchting (bij vleeskuikens). Uit het oogpunt van efficiëntie zullen hier naar verwachting voor de vleessector vooral snelgroeiende rassen gebruikt worden. Voor de natuurinclusieve scenario's zullen vooral voliëresystemen toegepast gaan worden en voor vleeskuikens strooiselvloeren met beluchting. De natuurinclusieve scenario's gaan uit van de aanwezigheid van uitloop, zodat het voor de hand ligt dat voor de vleessector trager groeiende rassen gebruikt gaan worden. De implicaties voor het welzijn van leghennen worden bij de verschillende scenario's vooral bepaald door de verschillen in houderijsystemen en dus verschillen in ruimte, bodemoppervlak (strooisel en uitloop) en klimaat. Voor de vleessector zullen naast verschillen in houderij ook de verschillen in genotype implicaties hebben voor het welzijn van de dieren.

Ruimte

In de scenariobeschrijving worden geen uitspraken gedaan over de hoeveelheid ruimte per dier. Ruimte is voor kippen nodig om gedrag uit te kunnen voeren. Het merendeel van de houderijsystemen heeft tegenwoordig voldoende ruimte per dier om het theoretisch mogelijk te maken de essentiële gedragingen te kunnen uitvoeren. Afhankelijk van de inrichting van de ruimte (indeling en aanwezige elementen) kan het dier in meer of mindere mate ook daadwerkelijk het gewenste gedrag uitvoeren. Bij systemen met hogere dierbezettingen is de kans groter op verstoring van rustgedrag.

Bodem

Bodemoppervlak in de stal bestaat bij pluimvee uit dichte bodem en rooster. Dichte bodem is doorgaans beton met substraat erover. Vaak wordt als substraat houtkrullen gebruikt, maar ook zand, zaagsel, gehakseld stro of turf zijn mogelijkheden. Substraat is voor pluimvee van cruciaal belang voor het kunnen vertonen van soortspecifiek gedrag, zoals scharrelen en stofbaden. Droger strooisel biedt de dieren meer mogelijkheden tot scharrel- en stofbadgedrag. Bij leghennen kan een goede strooiselkwaliteit de incidentie van verenpikken verlagen. Klimaat heeft een grote invloed op de strooiselkwaliteit, waarbij optimale kwaliteit mogelijk is via geavanceerde klimaatregeling (temperatuur en ventilatie) in gesloten stallen, terwijl de invloed van buitenlucht vanuit de uitloop in open stallen het managen van de strooiselkwaliteit bemoeilijkt. Ook verschillen in bezettingsdichtheid zullen hun effect hebben op de strooiselkwaliteit en op de mogelijkheden voor de dieren om het

strooisel te benutten. Dit kan leiden tot verschillen in benutbaarheid van het strooisel en dus in welzijn, maar indien er strooiselbeluchting is, kan de strooiselkwaliteit ook bij hoge bezettingsdichtheden prima zijn en zal de ruimte eerder beperkend zijn dan de kwaliteit van het strooisel.

Roosteroppervlak wordt vooral verstrekt uit hygiënisch oogpunt, omdat de mest erdoor valt en zo buiten bereik van de kippen blijft. Onder een rooster kan een mestput of een mestband geplaatst worden. Deze laatste biedt de mogelijkheid om de mest af te voeren, hetgeen het stalklimaat ten goede komt. Naarmate mest beter behandeld (gedroogd) wordt en vaker uit de stal gehaald wordt, zal de kwaliteit van het binnenklimaat verbeteren (d.w.z. lagere NH₃-concentratie; hoge concentraties kunnen o.a. oogproblemen geven). Draadgazen roosteroppervlakten geven vooral bij zwaardere dieren risico op borstirritatie/blaren, voetzoolproblemen en slechte locomotie. Plastic roosters hebben door het grotere dragend oppervlak dit probleem niet of minder, maar zullen eerder met mest vervuilen.

Uitloop

Idealiter bestaat de buitenuitloop uit begroeid oppervlak, maar doordat de kippen de begroeiing opeten en kapot scharrelen, is vaak het dicht bij de stal gelegen deel van de uitloop kaal. Het biedt de dieren echter wel veel scharrel- en stofbadmogelijkheden en variatie in nutriënten, temperatuur en licht. Een ander voordeel van buitenuitloop is het feit dat effectief de bezettingsdichtheid in de stal omlaaggaat als een deel van de dieren buiten is. Buitenuitloop levert enerzijds een verrijking van de leefomgeving van de dieren, maar anderzijds vormt het een ziekterisico en is er een risico op predatie. Uitloop voor pluimvee is nog geen gemeengoed, hoewel het door de Dierenbescherming hoog gewaardeerd wordt in hun Beter Leven-keurmerk. Een deel van de leghennen heeft op dit moment een buitenuitloop tot zijn beschikking. Jonge opfokhennen en vleeskuikens hebben nog behoefte aan warmte, waardoor de buitenuitloop in het Nederlandse klimaat voor hen meestal (aanvankelijk) ongeschikt is. Biologische opfokhennen en vleeskuikens hebben vanaf respectievelijk 8 en 6 weken leeftijd wel uitloop, omdat dit door de regelgeving vereist wordt. In principe zou dit bij reguliere opfokhennen, bestemd voor uitloopbedrijven, ook mogelijk zijn, maar op dit moment wordt dit niet gegeven. Vleeskuiken-ouderdieren krijgen momenteel geen buitenuitloop vanuit een kosten-batenafweging: de eieren van deze dieren zijn kostbaar en het ziekterisico bij verstrekking van buitenuitloop is zodanig dat productiedalingen een grote schadepost betekenen. Biologische ouderdieren zijn er in Nederland niet.

Klimaat

Een beter klimaat leidt tot droger strooisel en daardoor tot minder pootproblemen, borstblaren en bevuilding van bevedering. Het klimaat in gesloten stallen is zeer goed te regelen, hoewel in koude perioden een stal met een lage dierbezetting moeilijker op temperatuur te houden is. Stallen met voliëresystemen hebben door de aanwezige ruimte in de derde dimensie een hogere bezettingsdichtheid per grondoppervlak, waardoor de stallen beter op temperatuur blijven in koude perioden. Hierdoor kan ook in koude perioden voldoende geventileerd worden. Daarnaast zijn dergelijke systemen voorzien van mestbanden (met of zonder mestdroging), waardoor uiteindelijk het klimaat in deze stallen (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, NH₃) het gehele jaar rond binnen acceptabele grenzen te houden is.

Kooisystemen (verrijkte kooi of koloniehuisvesting) zijn doorgaans zeer goed regelbaar op het gebied van klimaat, waardoor de luchtkwaliteit voor de dieren beter is en eventueel aanwezig strooisel goed gedroogd kan worden. Zodra er (overdekte) uitloop geboden wordt aan de dieren, beïnvloeden de openingen in de stal de klimaatregeling, waardoor het veel moeilijker wordt een goed en constant klimaat te handhaven. Met name in koudere perioden is het nagenoeg onmogelijk om koude tocht via de uitloopopeningen te voorkomen. Dit kan een negatieve invloed hebben op de strooiselkwaliteit (natte koeken). Om de warmte in de stal te houden, wordt de ventilatie vaak beperkt, waardoor het strooisel verslechtert en stalklimaat niet optimaal is (hoge gehalten aan NH₃). In de buitenuitloop is de variatie in temperatuur en luchtvochtigheid groter en wordt meer gevraagd van het aanpassingsvermogen van de kip. Enerzijds zal de frisse lucht goed zijn voor het dier, anderzijds kunnen gure omstandigheden (en besmetting met ziektekiemen van wilde vogels of andere dieren) een aanslag zijn op de weerstand van het dier.

In pluimveestallen is fijnstof een bekend probleem. Vooral het strooisel is een belangrijke bron van fijnstof, maar ook veerdeeltjes dragen bij. Fijnstof dringt door in de longen van de dieren en kan hier ontstekingen veroorzaken. Fijnstof kan drager zijn van endotoxinen en ziektekiemen en kunnen zo de gezondheid van het dier aantasten. Over het algemeen geldt dat in stallen met veel strooisel meer fijnstof aanwezig is. Dit wordt nog versterkt als het strooisel droog is. Door de grote hoeveelheid stof is het filteren van de lucht moeilijk. Doorgaans wordt dit alleen toegepast bij het filteren van lucht die de stal uitgaat. Naar verwachting zullen in 2050 betere filtersystemen ontwikkeld zijn, zodat de lucht die de stal uitgaat minder vervuild is met stof. Deze systemen kunnen ook in de stal gebruikt worden, maar zullen naar verwachting geen volledig schone lucht opleveren.

Houderijsysteem

De verschillen in de scenario's worden grotendeels veroorzaakt door verschillen in houderijsysteem. Bij het *Productiviteit strikter*-scenario worden vooral kooisystemen toegepast die een hoge mate van controle van stalklimaat mogelijk maken en ook de beste mogelijkheden bieden om de stof- en ammoniakuitstoot te controleren. Voor leghennen in het *Productiviteit strikter*-scenario betreft het houderijsysteem de zogenaamde koloniehuisvesting, waarin een beperkte scharrelruimte aanwezig is met een minimale hoeveelheid strooisel. In het *Productiviteit strikter*-scenario wordt een zeer beperkt aantal vleeskuiken-ouderdieren ook in dergelijke systemen gehouden. Voor vleeskuikens zijn kooisystemen ook beschikbaar, maar in Europa is vanuit de Europese Vleeskuikenrichtlijn voor deze dieren een volledige strooiselvloer verplicht. Voor vleeskuikens zijn ook strooiselvloeren met strooiselbeluchting beschikbaar of systemen met vloerverwarming.

Wat betreft dierenwelzijn zijn er voor- en nadelen aan kooisystemen. In alle kooisystemen zorgt mest- of strooiselbeluchting voor een beter/optimaal klimaat en optimale strooiselconditie. Bij vleeskuikens betekent dit minder voetzoolproblemen, bij leghennen en vleeskuiken-ouderdieren bestaat minder kans op via mest overdraagbare aandoeningen (wormen, coccidiose). Houderijsystemen op basis van een kooi bieden minder ruimte per dier dan stallen waarin de dieren vrij rondlopen. De bezettingsdichtheid in kooisystemen is dus hoger dan in stallen waar de dieren los lopen, waardoor de mogelijkheden tot het uiten van soortspecifiek gedrag kleiner zijn. Bij vleeskuikens staat de Europese wetgeving een hogere bezettingsdichtheid toe in geval er weinig voetzoolproblemen in het voorgaande koppel waren. Systemen met strooiselbeluchting zullen daaraan voldoen en zullen dus met de maximaal toegestane bezettingsdichtheid van 42kg/m² vloeroppervlak werken.

Bij de natuurinclusieve scenario's worden alleen houderijsystemen gebruikt, waarbij de dieren zich vrij in de stal kunnen bewegen en, behalve bij vleeskuiken-ouderdieren, tevens een buitenuitloop ter beschikking hebben. Daardoor hebben ze betere/optimale mogelijkheden tot het vertonen van hun soortspecifieke gedrag, hoewel inrichting van de ruimte sterk bepalend kan zijn. Ook bestaat er een vermoeden dat de groepsgrootte hier wellicht belemmerend kan werken. Bij grote groepen kunnen de dieren elkaar niet meer herkennen en kan er daardoor geen sprake meer zijn van stabiele sociale verhoudingen. De precieze invloed op het gedrag is niet duidelijk.

Wat betreft fijnstof ligt het stofniveau in de kooisystemen in het *Productiviteit strikter*-scenario naar verwachting veel lager dan in volièresystemen en dus lager dan in het *Productiviteit voorgenomen*- en referentiescenario. Voor vleeskuikens worden beluchte strooiselvloeren gebruikt, die in principe veel stof genereren. Dit kan met filters verwijderd worden. In de natuurinclusieve scenario's is veel strooisel aanwezig, maar door de uitloop is het wellicht moeilijker om lucht te filteren. Naar verwachting ligt het stofniveau in deze scenario's op gelijk of hoger niveau dan het *Productiviteit voorgenomen*-scenario en het referentiescenario.

Genotype

Bij leghennen zijn er marginale verschillen tussen genotypen: witte hennen hebben doorgaans een iets lager lichaamsgewicht, een wat hogere eiproductie en zijn daardoor wat efficiënter met voer (Lohmann management guide: LSL-classic vs. LB-classic: lichaamsgewicht 300 gram lichter, voeropname/h/d 5 gram minder, 2% hogere piekproductie, eigewicht 1,5 gram lichter; Lohmann, 2019). Het recente verbod op snavel-behandelen zorgt ervoor dat er meer witte hennen in niet-kooisystemen gehouden worden, omdat de praktijkervaringen leren dat daar beschadigend pikgedrag iets makkelijker in de hand te houden is dan bij bruine hennen. Witte hennen zijn ook in kooisystemen

goed te houden. Bruine hennen zijn de laatste jaren door selectie kleiner en efficiënter geworden. Deze ontwikkeling zal zich naar verwachting doorzetten. Ook zullen de verschillende genotypen verder geselecteerd zijn op een verlaging van beschadigend pikgedrag. Nederland is een exporterend land en de keuze van het type dier zal grotendeels afhangen van de marktvraag naar witte of bruine eieren. Hoewel voor alle scenario's witte hennen dus een goede optie zouden zijn, zal de uiteindelijke keuze vooral door de markt bepaald worden.

Voor de vleessector is er een duidelijker verschil aan te geven. In het *Productiviteit strikter*-scenario zal het vooral gaan om efficiënt produceren en zal gekozen worden voor de snel groeiende vleeskuikens. Deze dieren hebben een zeer efficiënte voederbenutting, maar hebben door hun bouw en hoge gewicht aan het einde van de mestperiode snel last van voetzool- en pootproblemen en daarmee gepaard gaande locomotieproblemen. Deze problemen belemmeren hen tot het uitvoeren van hun soortspecifieke gedrag. Daarbij komen snel groeiende vleeskuikens van ouderdieren die in de opfok sterk beperkt moeten worden in hun voergift. In de natuurinclusieve scenario's zal gekozen worden voor tragere groeiers. Deze hebben minder poot- en locomotieproblemen, maar zijn minder efficiënt in hun voerconversie. De ouderdieren van deze kuikens bestaan deels uit dwergmoederdieren, die niet beperkt gevoerd hoeven te worden. De genetische verschillen in type dier leiden met name bij de vleeskuikens tot discussie. Een ver doorgevoerd fokbeleid leidt weliswaar tot zeer efficiënt producerende dieren, maar dit gaat ten koste van de mogelijkheden voor het dier om zich normaal te bewegen of de mogelijkheden tot normaal (parings)gedrag. Voetzoollaesies, hakdermatitis en een deel van de locomotieproblemen zijn daarbij pijnlijk voor het dier.

Voeding

Bij pluimvee geldt voor zowel vlees als leg dat een te laag eiwitgehalte of kwalitatief minder geschikte eiwitten ervoor zorgen dat de productie verslechtert, darmproblemen optreden of dat er beschadigend pikgedrag optreedt. Een mogelijke verlaging van eiwit kan daarom alleen binnen bepaalde grenzen. Bij vleeskuikens heeft een verlaging van het eiwitgehalte in het voer, mede door een lagere wateropname, een positieve invloed op de strooiselkwaliteit (droger) en daarmee op de incidentie van voetzoollaesies. Bij ouderdieren kan een energetisch hoger voer leiden tot een lagere eiwitopname, maar doordat de dieren hun voer eerder op hebben, kan het tot iets meer objectpikken leiden. Verder kan de eiwitsamenstelling een effect hebben op de kwaliteit van de bevedering en daarmee op veer- en huidschade vanwege het treden door de hanen. Vleeskuiken-ouderdieren van trager groeiende vleeskuikenrassen, die vooral in de natuurinclusieve scenario's gebruikt worden, hebben een lagere P-excretie.

Woordenlijst

Afkortingen

AGMEMOD	Agricultural Member States Modelling
BNP	bruto nationaal product
C	Koolstof
CH₄	Methaan
CO₂	koolstofdioxide
DS	drogestofgehalte
FTE	Fulltime equivalent
GEP	Goede Ecologisch Potentieel
GIAB-plus	Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven – plus
GLEAM	Global Livestock Environmental Assessment Model
GLB	gemeenschappelijk landbouwbeleid
GVE	Grootvee-eenheid; hiermee kunnen verschillende diercategorieën worden vergeleken, één melkkoe is gelijk gesteld aan 1 GVE
INITIATOR	Integrated Nitrogen Impact Assessment Tool on a Regional Scale
IPO	Interprovinciaal Overleg
KRW	Kader Richtlijn Water
Kton	Kiloton (10 ⁶ kg)
LNV	ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
LTO	Land en Tuinbouw Organisatie Nederland
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
MEP	Maximale Ecologisch Potentieel
MTO	Medium Term Outlook
Mton	Megaton (10 ⁹ kg)
N	stikstof
N₂O	Lachgas
NAS	Nationale Adaptatie Strategie
NEMA	National Emission Model for Agriculture; dit model wordt gebruikt voor de cijfers van de nationale emissieregistratie
NEC	Nationaal Emissie Plafond
NH₃	ammoniak
NIR	National Inventory Report
NO_x	Stikstofoxiden
NTW	Netto Toegevoegde Waarde
NUE	Nitrogen Utilization Efficiency
NZO	de Nederlandse Zuivel Organisatie
P	fosfor
P₂O₅	fosfaat
PAS	Programma Aanpak Stikstof
PUE	Phosphorus Utilization Efficiency
RDA	Raad voor Dieraangelegenheden
SSP2	'middle of the road' scenario van de Shared Socioeconomic Pathways

Begrippen

Broeikasgassen zijn gasen in de atmosfeer die warmtestraling absorberen. Belangrijke

broeikasgassen zijn waterdamp, koolstofdioxide, methaan en lachgas.

CO₂-eq is een rekeneenheid om de bijdrage van broeikasgassen aan het broeikaseffect onderling te kunnen vergelijken. Het is gebaseerd op het 'Global Warming Potential' (GWP) – dat is de mate waarin een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. In deze studie is uitgegaan van de GWP-waardes uit IPCC (2007), met 25 voor CH₄ en 298 voor N₂O.

Klimaatneutraal is een evenwicht tussen de emissies van broeikasgassen en de vastlegging van CO₂, waardoor er netto nul emissies plaatsvinden

Koolstofvastlegging is de opname en opslag van koolstof in biomassa en bodems.

Kringloopsluiting is het beter sluiten van de nutriëntenkringloop door het verkleinen van verliezen, hergebruik van reststromen en het verlagen van import van externe grondstoffen.

Milieugebruiksruimte is de ruimte voor toekomstige ontwikkelingen van een sector of gebied die begrensd wordt door milieurandvoorwaarden.

Mitigatie is het controleren van de netto-uitstoot van broeikasgassen met als doel het regelen van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer.

Mitigatieopties zijn mitigatiemaatregelen die als doel hebben de emissies van broeikasgassen te verminderen, of gericht zijn op het vastleggen van koolstof in biomassa of bodem.

Natuurinclusieve landbouw is een vorm van duurzame landbouw die uitgaat van een veerkrachtig voedsel- en ecosysteem.

Reductiedoel is een kwantitatief doel om tot een vermindering van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer te komen door de netto-uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

Scenario is een toekomstbeeld uitgaande van bepaalde vooronderstellingen.

Zelfvoorzieningsgraad is de verhouding tussen de binnenlandse productie en binnenlandse consumptie van landbouwproducten. Bij een waarde lager dan 1 (100%) wordt er meer geconsumeerd dan geproduceerd en vindt er import plaats; bij een waarde hoger dan 1 vindt er export plaats.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2984
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2984
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

