

Landbouwmilieumaatregelen voor akkerbouw en melkveebedrijven

J. van Os, H.J. Agricola, M. de Vries, L.M. Fuchs en J.J.L. Sluijsmans



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Landbouwmilieumaatregelen voor akkerbouw en melkveebedrijven

J. van Os¹, H.J. Agricola¹, M. de Vries², L.M. Fuchs³ en J.J.L. Sluijsmans¹

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Livestock Research

3 Wageningen Plant Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema Landelijk Gebied (projectnummer BO-43-122-007).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, maart 2023

Gereviewd door:

B.C. Breman, onderzoeker Regionale ontwikkeling en ruimtegebruik

Akkoord voor publicatie:

C.J. van As, teamleider Regionale Ontwikkeling en Ruimtegebruik

Rapport 3241

ISSN 1566-7197

Van Os, J., H.J. Agricola, M. de Vries, L.M. Fuchs en J.J.L. Sluijsmans, 2023. *Landbouwmilieumaatregelen voor akkerbouw en melkveebedrijven*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3241. 78 blz.; 6 fig.; 21 tab.; 89 ref.

Het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) adresseert beleidsdoelen voor stikstof, klimaat, water en natuur, die integraal en gebiedsgericht zullen worden opgepakt en uitgewerkt. Daarbij is een overzicht gewenst van mogelijke maatregelen die op landbouwbedrijven genomen kunnen worden, tezamen met een beoordeling van effecten op de beoogde doelen en in hoeverre er bij afzonderlijke maatregelen sprake kan zijn van afwenteling naar andere thema's of beleidsdoelen. Vanuit een dertigtal beschikbare onderzoeksrapporten zijn alle genoemde milieumaatregelen per bedrijfs onderdeel bij elkaar gezet voor akkerbouw- en melkveebedrijven. Vervolgens zijn voor groepen maatregelen de effecten op de milieudoelen beschreven en mogelijke interacties. Zowel voor akkerbouw- als melkveebedrijven komt een veelheid aan maatregelen naar voren, waaruit passende keuzes gemaakt kunnen worden, rekening houdend met verschillen in bedrijfsstructuur, fysieke omstandigheden en ligging ten opzichte van kwetsbare natuurgebieden.

Trefwoorden: melkvee, akkerbouw, landbouwbedrijven, milieumaatregelen, stikstof, ammoniak, klimaat, broeikasgassen, waterkwaliteit, natuur, biodiversiteit

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/590299> 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.

© 2023 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.

Wageningen Environmental Research Rapport 3241 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Saxifraga-Hans Dekker

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Milieudoelen en -maatregelen	14
2.1 Urgente milieudoelen	14
2.1.1 Stikstof (ammoniak)	14
2.1.2 Klimaat	17
2.1.3 Water	20
2.1.4 Natuur	21
2.1.5 Andere beleidsopgaven	22
2.2 Indeling van maatregelen	22
3 Maatregelen op akkerbouwbedrijven	24
3.1 Gewaskeuze en teeltmaatregelen	24
3.2 Gewasbescherming	26
3.3 Bemesting	28
3.4 Bodembeheer	30
3.5 Waterbeheer	32
3.6 Natuur- en landschapsbeheer	33
3.7 Bedrijfsmanagement	35
3.8 Erf en gebouwen	36
3.9 Synthese akkerbouw	36
4 Maatregelen op melkveebedrijven	39
4.1 Dierspoor: productie, fokkerij en rassenkeuze	40
4.2 Voerspoor	43
4.3 Huisvesting of stalsysteem	45
4.4 Mestopslag en mestbewerkingstechnieken	49
4.5 Gewaskeuze, teeltmethode en landmanagement	51
4.6 Gewasbescherming	54
4.7 Bemesting	55
4.8 Bodembeheer	56
4.9 Waterbeheer	57
4.10 Agrarisch natuur- en landschapsbeheer	59
4.11 Bedrijfsmanagement/bedrijfssysteem	60
4.12 Energie gebruik en productie, gebouwen en erfinrichting	61
4.13 Synthese melkveehouderij	62
5 Discussie en conclusies	66
Literatuur	70
Bijlage 1 Rapporten milieumaatregelen	76

Verantwoording

Rapport: 3241

Projectnummer: BO-43-122-007

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: onderzoeker, team Regionale ontwikkeling en ruimtegebruik

naam: Bas Breman

datum: 8 maart 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Corine van As

datum: 14 maart 2023

Woord vooraf

Het Coalitieakkoord 2021-2025 vermeldt in de paragraaf over Landbouw, Natuur en stikstof dat de regering wil investeren in zowel duurzame landbouw als in een fors natuurareaal, zodat weer een balans ontstaat tussen landbouw en natuur. Er wordt gekozen voor een brede aanpak om de natuur in Nederland in goede staat te brengen, die zich niet alleen richt op stikstof, maar ook op de (Europese) normen en opgaven voor waterkwaliteit, bodem, klimaat en biodiversiteit. De regering geeft aan: "dat een gedifferentieerde aanpak van de opgaven zal leiden tot grote aanpassingen in het landelijk gebied. Daarmee maken we gebiedsgericht inzichtelijk wat de perspectieven zijn voor verschillende vormen van landbouw" (pag. 10 van het akkoord). De toekomstige landbouw zal dus moeten passen binnen de mogelijkheden die het gebied geeft.

Naar aanleiding van het coalitieakkoord is binnen LNV het programma Perspectief Landbouw gestart met een inventarisatie van doelen waaraan de toekomstige landbouw in Nederland moet gaan voldoen. De landelijke doelen zullen vertaald moeten worden naar regionale doelen, conform de gedifferentieerde aanpak. Uitgaande van duidelijkheid over de regionale doelen kunnen gebiedsprocessen worden gestart, waarin per gebied zal worden bekeken welke maatregelen er kunnen worden genomen. In dat verband is er op korte termijn behoefte aan een overzicht van mogelijke maatregelen, onder andere voor de landbouw, die kunnen bijdragen aan het behalen van deze doelen.

De afgelopen tijd zijn er diverse rapporten van o.a. PBL, RIVM en Wageningen UR verschenen met een beschrijving van mogelijke maatregelen om op landbouwbedrijfsniveau beleidsdoelen te kunnen halen voor milieu opgaven stikstof, klimaat, biodiversiteit en water. Voor de uitvoering van de gebiedsgerichte aanpak en het opstellen van gebiedsplannen in het kader van het coalitieakkoord heeft LNV behoefte aan een overzicht uit deze rapporten van:

- De maatregelen die op bedrijfsniveau genomen kunnen worden om de doelen/opgaven te realiseren;
- Een analyse of beoordeling in hoeverre de maatregelen voor de verschillende opgaven met elkaar samenhangen: welke maatregelen versterken elkaar (synergie), welke maatregelen werken elkaar tegen?

De voorliggende rapportage is het resultaat van deze inventarisatie. Het is tot stand gekomen via het verzamelen en ordenen van maatregelen die in diverse rapporten beschreven staan, aangevuld met enkele recente ontwikkelingen. Daarbij hebben A. Bannink en H.J. van Dooren van Wageningen Livestock Research een bijdrage geleverd door de paragrafen over voermaatregelen, stal en mestopslag te reviewen. De aanpak van het onderzoek en het resultaat zijn besproken in een begeleidingsgroep vanuit LNV, bestaande uit T.J. Verhoef, A.C.M. van Straaten, M. Verbree, J.A.M. van Bergen, J.M. Jongma, W.M. Lubbers, M.H.C. Mulder-Bakker, H.M. Paul, E.M.N. van de Meerendonk, J.J.C. van der Zande, C.C.A. Verburg, J.M. Voerman, R.E. Oude Lenferink en N.F.C. Hazendonk.

De auteurs willen hen graag bedanken voor prettige samenwerking.

De auteurs

Samenvatting

Er is de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar milieumaatregelen op landbouwbedrijven. Er zijn op verschillende dossiers, zoals de uitstoot van ammoniak en de verontreiniging van grond- en oppervlaktewater, door de landbouw ook al flinke reducties bereikt. Dit alles heeft echter nog niet geleid tot een robuust herstel van de natuur. In veel natuurgebieden zijn de condities voor veel soorten en habitattypen nog onvoldoende voor een gunstige staat van instandhouding. Verder zal de landbouw ook een bijdrage moeten leveren aan de vermindering van broeikasgasemissies.

Het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) adresseert beleidsdoelen voor stikstof, klimaat, water en natuur, die integraal en gebiedsgericht zullen worden opgepakt en uitgewerkt. Vanuit het Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) is een overzicht gewenst van mogelijke maatregelen die op landbouwbedrijven genomen kunnen worden, tezamen met een beoordeling van effecten op de beoogde doelen en in hoeverre er bij afzonderlijke maatregelen sprake kan zijn van afwenteling naar andere thema's of beleidsdoelen. Vanuit een dertigtal beschikbare onderzoeksrapporten zijn alle genoemde milieumaatregelen per bedrijfsonderdeel bij elkaar gezet: 135 maatregelen voor akkerbouwbedrijven en 285 voor melkveebedrijven.

Op basis hiervan kan niet gezegd worden of dit genoeg mogelijkheden geeft om de milieudoelen voor de landbouw te halen. Want de mogelijkheden en effecten zijn sterk afhankelijk van de bedrijfssituatie met betrekking tot gewassen, dieren, grondsoort, waterhuishouding en ligging ten opzichte van kwetsbare natuur en stedelijke omgeving. Het is ondoenlijk om alle mogelijke combinaties van bedrijven, omgevingen en maatregelen te onderzoeken en vervolgens de effecten van de maatregelen te beschrijven. Wel biedt dit geheel aan maatregelen aanknopingspunten voor oplossingsrichtingen, die soms per milieuthema zijn ingestoken, maar soms ook een verandering kunnen zijn van de gehele bedrijfsopzet. De uiteindelijke uitwerking is maatwerk, dat conform het NPLG voor een belangrijk deel op gebiedsniveau verder uitgewerkt moet worden.

Grofweg zijn de oplossingsrichtingen om de stikstof-, klimaat-, water- en natuurdoelen te behalen op te delen in twee sporen:

- Enerzijds een focus op verdergaande efficiëntie, met daarmee minder emissies per hoeveelheid product. Dit is de focus die al decennialang de overhand heeft in de Nederlandse landbouw, die vaak gepaard gaat met technologie en investeringen en de sector veel efficiëntie en innovatie heeft opgeleverd. Deze ontwikkelrichting is vaak gepaard gegaan met opbrengstverhoging, waarbij het landbouwareaal of de emissies per ha niet of nauwelijks verminderden. Om deze ontwikkelrichting in te zetten voor het milieu, is het belangrijk om efficiënte winst niet te gebruiken voor hogere opbrengsten, maar voor lagere emissies. Om deze omslag te realiseren, is een andere context van beleid en economie nodig, waarin de prikkels voor emissieverlagingen sterker zijn dan die voor opbrengstverhoging.
- Anderzijds is er een focus gericht op diversifiëring van gewassen, een meer extensieve bedrijfsvoering en een meer (natuur)inclusieve landbouw, om op die manier de doelen te behalen. Deze focus is vaak meer gericht op het integrale systeem en kijkt daarmee wat breder naar de verschillende doelen.

Het uitsplitsen van deze twee sporen kan overzicht en inzicht bieden in de mogelijke maatregelen. Tegelijkertijd kan dit doen vermoeden dat bedrijven hierin een keuze moeten maken, wat niet per se nodig is. Het is ook mogelijk om onderdelen van beide oplossingsrichtingen te combineren om op die manier bij te dragen aan het behalen van de doelen. Je kunt hier bijvoorbeeld denken aan het emissiearm uitrijden van dierlijke mest op een biologisch melkveebedrijf.

De financiering van de maatregelen is niet opgenomen in dit onderzoek. Voor sommige maatregelen geldt dat ze weliswaar ook leiden tot meeropbrengsten of kostenbesparingen, maar voor de meeste geldt dat het totaalplaatje van de financiën voor het landbouwbedrijf negatief is, wat betekent dat aanvullende financiële middelen nodig zijn om een duurzame productie mogelijk te maken. Voorbeelden zijn subsidies voor

investeringen in nieuwe emissiearme technieken of financiële prikkels die een bedrijfsvoering met weinig emissies belonen en die met veel emissies belasten. Via dergelijke aanvullende instrumenten kan de overheid ervoor zorgen dat dergelijke milieumaatregelen, waarvan de maatschappelijke winst in termen van gezondheid en natuur groter is dan de kosten, ook op landbouwbedrijfsniveau aantrekkelijk worden.

Wat betreft de **ammoniak**uitstoot uit de akkerbouw en veehouderij zijn de emissies uit stallen en het uitrijden van de mest de grootste bronnen. Voor de stallen geldt er in de melkveehouderij nog niet veel is gebeurd; momenteel wordt ca. 20% van het melkvee gehouden op een emissiearme stalvloer (bij bv. vleesvarkens is momenteel bij ruim 85% van de dieren sprake van een emissiearme stal). Ongeveer 80% van het melkvee wordt gehouden in reguliere ligboxenstallen waar drijfmest op en onder de roosters wordt verzameld en maandenlang opgeslagen, om voor en tijdens het groeiseizoen te worden uitgereden. Er zijn wel veel emissiearme vloeren ontwikkeld, maar de werking in de praktijk blijkt tegen te vallen. Door aanvullende bedrijfsemissemetingen kan dat beter gevolgd worden, wat ook mogelijkheden biedt voor verdergaande borging. Om tot een flinke emissiereductie te komen, moet de urine in de stal zo veel mogelijk gescheiden worden opgevangen en snel worden afgevoerd naar een afgesloten opslag. Door aanvullende behandelingen van de vloer met water of een dunne mestfractie en het afzuigen van de lucht vanaf de vloer naar een luchtwasser, kan de emissie nog verder worden verlaagd. Waar afsluiting van mestkelders moeilijk of duur is, kunnen toevoegmiddelen wellicht nog soelaas bieden.

Voor het uitrijden van drijfmest zijn al emissiearme technieken verplicht, maar die leiden nog steeds tot ca. 17% uitstoot van ammoniak. Verdergaand finetunen van machines en verdunnen met water kan mogelijk nog enige extra reductie teweegbrengen, maar om nog een substantiële reductie stap te maken, moet drijfmest zo veel mogelijk vermeden worden. Dat kan enerzijds op melkveebedrijven door het toepassen van meer beweiding en anderzijds door urine in de stal zo veel mogelijk gescheiden op te vangen, of in de vervolgstappen te scheiden, waarbij stikstof zo veel mogelijk in een waterige fractie komt (N-stripper), die met een lagere emissie kan worden uitgereden.

De emissie van **broeikasgassen** ontstaat vooral in de vorm van methaan in het maagdarmkanaal van het melkvee en tijdens de opslag van mest. Daarnaast kunnen lachgasemissies ontstaan bij bemesting van het land en CO₂-emissie bij afbraak van ontwaterd veen. En ten slotte ontstaan emissies door het gebruik van diesel, gas en elektriciteit.

De enterische methaanemissie van melkvee kan beperkt worden door aanpassingen in het rantsoen, voederadditieven en fokkerij. Op korte termijn lijken voederadditieven het effectiefst. De emissie tijdens mestopslag kan voorkomen worden door open kelders te vervangen door gesloten opslagen. Nog beter is het vergisten van dagverse mest – dan kan de gemakkelijk afbreekbare organische stof gebruikt worden om een bijdrage te leveren aan het voorkomen van het gebruik van fossiele energiebronnen. Doordat de mest hierbij uit de stal gaat, zal ook de ammoniakemissie vanuit de stal lager zijn.

De emissies van lachgas bij bemesting kunnen beperkt worden door zo veel mogelijk de juiste bemesting op het juiste moment te doen, in een zo laag mogelijke hoeveelheid. Beperking van het kunstmestgebruik leidt ook indirect tot minder broeikasgassen, die vrijkomen bij de productie van kunstmest. Beperking van bodembewerkingen kunnen leiden tot meer koolstofopslag in de bodem en minder energiegebruik door trekkers. Een verhoogd organischestofgehalte in de bodem kan daarbij ook goed uitpakken voor bodem- en waterbeheer en daarmee gewasgroei.

De emissie van CO₂ uit veenbodems kan beperkt worden door de ontwateringsbasis te verhogen, in combinatie met (druk)drainage, eventueel in combinatie met natte teelten.

Door daken van stal- en opslaggebouwen te voorzien van zonnepanelen, kunnen landbouwbedrijven een belangrijke bijdrage leveren aan hun eigen en de maatschappelijke energietransitie. Dat geldt ook voor de toepassing van windmolens (variërend van een kleine bedrijfsmolen tot een grote buurtmolen) en de aanleg van zonnepanelen in het veld. Bij toepassing van monofunctionele zonneparken daalt het landbouwareaal, maar door toepassing van bv. verticale of mobiele panelen zijn goede combinaties mogelijk van landbouw en energieopwekking.

De **waterkwaliteit** staat vooral onder druk door uit- of afspoeling van niet benutte meststoffen in de akkerbouw; uiteraard kan dit ook op grasland gebeuren, maar daar is het risico minder groot, doordat er jaarrond sprake is van een gewas dat ook bij wat kouder weer nog actief kan zijn. Ten behoeve van de waterkwaliteit is een zo precies mogelijke bemesting van belang: op het juiste moment, de juiste meststof, in de juiste hoeveelheid, op de juiste plaats. En vervolgens helpt de inzet van groenbemesters voor de periode dat er geen gewas staat. Ten slotte kunnen bufferstroken bijdragen aan een betere waterkwaliteit. Maar bij sommige combinaties van gewas, bodem en waterhuishouding blijft het moeilijk om de uitspoeling beneden de norm te krijgen – in die gevallen lijkt een omschakeling naar andere gewassen de enige optie, vaak met nadelige gevolgen voor het bedrijfssaldo.

Om energiegebruik bij de kunstmestproductie te verminderen en kringlooplandbouw te bevorderen, is een vermindering van het kunstmestgebruik met optimaal gebruik van dierlijke mest aan te bevelen. Een goede kwaliteit is daarbij cruciaal, zodat alleen bemest wordt met de nutriënten die het gewas nodig heeft. Als bij de productie van mest een scheiding plaatsvindt in verschillende meststromen, kan dit leiden tot meer gebruik van dierlijke mest, met minder risico's op een slechte waterkwaliteit.

Daarnaast kan in de melkveehouderij uitspoeling van stikstof ontstaan via urineplekken. Vooral bij beweiding in het najaar is het van belang om dit in de gaten te houden.

Naast bovenstaande indirecte maatregelen voor de **natuur** (via stikstof, klimaat en water) kunnen landbouwbedrijven ook andere maatregelen nemen die bijdragen aan de lokale biodiversiteit. Eerste stap is het met rust laten van de niet-landbouwgronden, zoals perceelranden, slootkanten en overhoekjes, of deze juist te voorzien van zinvolle beplanting of structuren, zoals heggen en houtwallen, die medegebruik door natuurlijke soorten bevorderen en waardoor de groenblauwe dooradering van het landschap wordt verbeterd. Ook het toepassen van meer diversiteit in de gewassen kan behulpzaam zijn voor de natuur.

Meer ingrijpende stappen zijn aanpassingen op de landbouwpercelen zelf, zoals het toepassen van kruidenrijk grasland, vogelakkers, plasdraspercelen, of een meer extensieve productie, waardoor natuurlijke soorten beter de kans krijgen om zich te ontwikkelen op landbouwgronden, zoals akker- en weidevogels en insecten. Deze stappen gaan meestal gepaard met een lagere productie, waardoor de landbouwstructuur verandert.

Dit onderzoek is beperkt tot een inventarisatie van milieumaatregelen op melkvee- en akkerbouwbedrijven. Het is een momentopname in een kennisgebied dat momenteel sterk in ontwikkeling is, waarbij de overheid streeft naar maatregelen die milieu-breed tot verbeteringen leiden, zodat Nederland ook kan genieten van een robuuste natuurontwikkeling. Binnen het kader van het NPLG zal in de komende jaren een verdergaande uitwerking naar provincies en gebieden plaatsvinden, waarbij de fysieke omstandigheden in gebieden sturend zullen zijn: **water- en bodem-sturend** als leidend principe voor de ontwikkeling van een gebied. Dit betekent dat in sommige gebieden (met relatief weinig kwetsbare natuur) een verdergaande optimalisatie van de huidige landbouwbedrijven voldoende kan zijn om binnen de milieudoelen te komen, terwijl in andere gebieden een structuurverandering of transitie van de landbouw nodig is: met minder dieren, minder bemesting en minder gewasbeschermingsmiddelen het realiseren van een lagere productie, waarbij er weer zicht komt op natuurherstel. Voor beide ontwikkelingen geldt dat aanvullende instrumenten nodig zijn om bij het gewenste resultaat te komen. Wat betreft de optimalisatiemaatregelen kunnen we concluderen dat middelvoorschriften van de afgelopen decennia wel effect hebben gehad, maar dat een aanvulling nodig is op doelsturing, zodat er voor landbouwbedrijven een duidelijke prikkel is om deze technieken ook goed te laten werken. Voor de transitie naar extensieve landbouwvormen geldt dat een aanvullende financiële systematiek nodig is om ervoor te zorgen dat de maatschappelijke baten van deze bedrijfsvoering ook bij de betreffende landbouwbedrijven terechtkomen.

1 Inleiding

Achtergrond en opdracht

Met het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) heeft LNV onder andere een vervolg gegeven aan de ingezette weg van de transitie naar kringlooplandbouw. Het NPLG adresseert beleidsdoelen voor stikstof, klimaat, water en natuur, die integraal en gebiedsgericht zullen worden opgepakt en uitgewerkt. Voor de uitvoering van de gebiedsgerichte aanpak en het opstellen van gebiedsprogramma's in het kader van het NPLG geeft LNV aan behoefte te hebben aan een overzicht van mogelijke maatregelen die op landbouwbedrijven genomen kunnen worden. En aanvullend daarop een beoordeling van het effect van de maatregelen op de doelen en in hoeverre er bij afzonderlijke maatregelen sprake kan zijn van afwenteling naar andere thema's of beleidsdoelen.

Wat hebben we gedaan?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden, hebben we recentelijk verschenen rapporten geanalyseerd van o.a. het PBL, het RIVM en Wageningen UR. In eerste instantie leggen we de focus op maatregelen voor de sectoren akkerbouw en melkveehouderij met als doel:

1. Overzicht van maatregelen die op bedrijfsniveau genomen kunnen worden;
2. Beoordelen van de effecten van de maatregelen voor de vier kernbeleidsdoelen: stikstof, klimaat, water en natuur.

Vanwege het grote aantal relevante rapporten dat recentelijk is verschenen, bleek het eerste onderdeel, het creëren van overzicht van de mogelijke maatregelen, een tijdrovende klus. Bij het beoordelen van de effecten van de maatregel kwamen we erachter dat dit eigenlijk niet goed mogelijk is, zeker niet binnen het korte tijdsbestek van het onderzoek. Het kwalitatief beoordelen van de effecten van een maatregel met een beperkte indicatie over de omvang, via bijvoorbeeld drie klassen van - / 0 / +, wat oorspronkelijk de bedoeling was, is moeilijk, want:

- De rapporten hebben in de meeste gevallen een eigen insteek en zijn daardoor moeilijk vergelijkbaar.
- Voor veel milieumaatregelen zijn kwantitatieve effecten nog niet bekend.
- Bij veel maatregelen zijn de effecten niet eenduidig en afhankelijk van meerdere factoren en/of omstandigheden, zoals grondsoort, waterhuishouding, klimaatinvloeden, bedrijfsvoering etc.

Kortom, de milieu-impact van veel maatregelen is moeilijk te kwantificeren door de complexiteit van hoe ze op de omgeving inwerken en de onderlinge samenhang van de processen die worden beïnvloed op verschillende niveaus. Ten slotte zijn er grote verschillen tussen de maatregelen: sommige zijn grondig onderzocht met metingen in praktijksituaties, terwijl van andere nog weinig meer bekend is dan een verwachting of hoop dat het positief zal uitpakken voor een of meer van de milieudoelen.

In dit rapport geven we een overzicht van mogelijke (milieu)maatregelen per bedrijfsonderdeel op akkerbouw- en melkveebedrijven. Vervolgens beschrijven we kwalitatief de relatie van de maatregel met het bedrijfsonderdeel en de beoogde milieudoelen, de bandbreedte van de impact en in hoeverre er bij de maatregelen een risico bestaat op afwenteling. De rapportage geeft daarmee geen (exact kwantitatief) inzicht in hoeverre maatregelen kunnen bijdragen aan het doelbereik van de beleidsdoelen voor stikstof, klimaat, water en natuur (maar wel indicatief). Er is in dit onderzoek geen gebiedsgerichte integratieslag gemaakt van de maatregelen. Een gebiedsgerichte integratieslag betekent een afgewogen keuze van maatregelen, gebaseerd op aanwezige landbouwbedrijven in de context van het natuurlijk systeem (bodem-, water- en ecosysteem).

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de vier milieudoelen stikstof, klimaat, water en natuur verder toegelicht. Ook worden andere doelen benoemd en een indeling van maatregelen voorgesteld, op basis van aangrijpingspunten op het landbouwbedrijf. Vervolgens vindt in hoofdstuk 3 een uitwerking plaats van maatregelen op akkerbouwbedrijven en in hoofdstuk 4 voor melkveebedrijven. Het rapport wordt afgesloten met hoofdstuk 5, waarin discussie en conclusies zijn opgenomen.

2 Milieudoelen en -maatregelen

Om perspectief te bieden aan de landbouw wordt de ingezette transitie naar kringlooplandbouw verder gestimuleerd. Met het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) wordt een viertal doelen integraal geadresseerd en opgepakt, te weten: stikstof, klimaat, waterkwaliteit en natuur (LNV, 2022c):

- Stikstof: Aanpassing (Wet natuurbescherming en) van de Omgevingswet waarbij invoering van omgevingswaarden voor stikstof wordt versneld. Dit houdt in dat per 2030 74% van stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden onder de KDW gebracht moet zijn in plaats van de eerder gestelde termijn van 2035.
- Klimaat: Voor 2030 zijn de doelen ten opzichte van de emissie van broeikasgassen in 2020:
 - een halvering voor emissie door landgebruik (veenweiden, bomen, bossen, natuur en landbouwbodems);
 - een reductie van 30% voor emissies vanuit veehouderij en glastuinbouw.
- Water: In 2027 moeten alle maatregelen uitgevoerd zijn om aan de doelen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) te gaan voldoen. In het NPLG wordt de landbouwopgave van de KRW geadresseerd.
- Natuur: Uitbreiden natuurareaal en versterken huidige natuur.

In het NPLG worden deze vier urgente milieudoelen integraal opgepakt. Zij worden hieronder toegelicht. Verder volgt in de tweede paragraaf een beschrijving van andere, minder urgente doelen, die wel belangrijke raakvlakken hebben met de urgente doelen of de maatregelen die voor de urgente doelen genomen kunnen worden.

2.1 Urgente milieudoelen

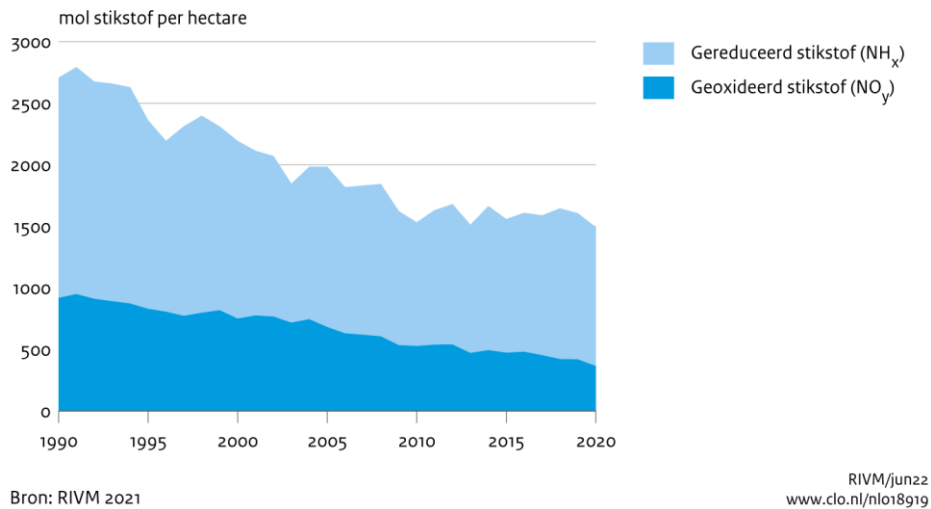
Als urgente milieudoelen zijn anno 2022 door LNV aangemerkt: Stikstof, Klimaat, Water en Natuur (biodiversiteit). Deze worden hier achtereenvolgens beschreven; er wordt al lange tijd aan deze doelen gewerkt; bij de beschrijving wordt het Coalitieakkoord 2021-2025 als uitgangspunt genomen (Coalitieakkoord, 2021). De nadruk ligt daarbij op de milieudoelen in relatie tot de huidige situatie; in het kort zullen ook voorgenomen maatregelen worden benoemd. In hoofdstuk 3 en 4 komen de maatregelen in meer detail in beeld voor de sectoren akkerbouw en melkveehouderij en gaan we in op de samenhang en mogelijke interacties (voor zover bekend).

2.1.1 Stikstof (ammoniak)

Het doel voor de landbouw met betrekking tot stikstof heeft volledig betrekking op een reductie van de ammoniakemissie. Het doel van de Rijksoverheid is om het areaal N-gevoelige natuur in 2030 voor minstens 74% onder de kritische depositiewaarde (KDW) te brengen. Over heel Nederland moet in het kader van de structurele aanpak stikstof een stikstofreductie van 120 mol/ha/jaar behaald worden. Vervolgens is ten opzichte van 2018 een landelijke emissiereductie van 50% afgesproken en is een totale depositiereductie in 2030 nodig van 255 mol/ha/jaar. Deze depositiedoelstellingen zijn in 2022 vertaald naar regionale richtinggevendende emissiereductiedoelstellingen, die de basis moeten gaan vormen voor provinciale gebiedsplannen, die in 2023 moeten worden uitgewerkt (LNV, 2022).

De gemiddelde landelijke stikstofdepositie is in de periode 1990-2020 afgenomen van ca. 2700 mol N/ha/jaar, naar ca. 1500 mol (zie Figuur 1).

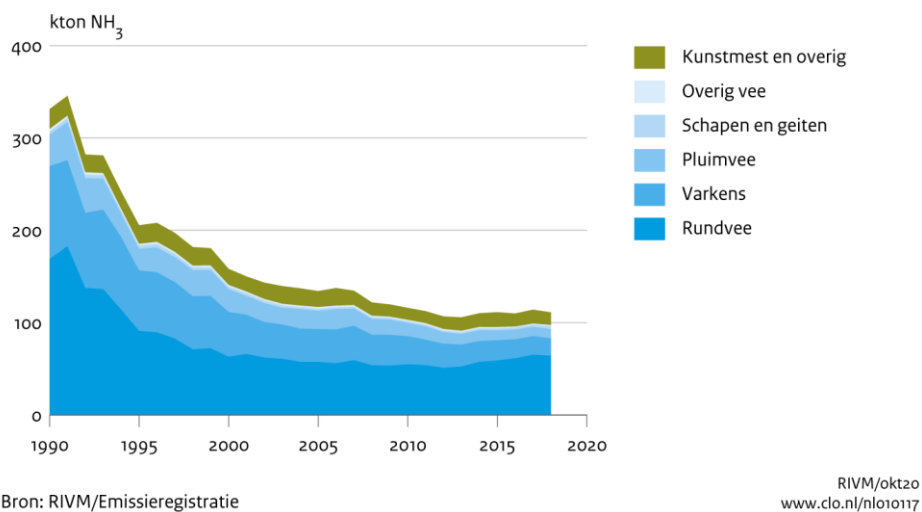
Stikstofdepositie



Figuur 1 Ontwikkeling landelijke stikstofdepositie (bron: [clo-stikstofdepositie](#)).

Van de totale stikstofdepositie in Nederland is ca. twee derde ammoniak; hoofdzakelijk afkomstig van de veehouderij. De ammoniakemissie uit de landbouw is in de periode 1990-2018 eveneens met twee derde afgenomen. De afnemende trend is in 2013 gestopt, wat grotendeels kan worden toegeschreven aan de groei van de melkveestapel als gevolg van afschaffing van het melkquotum in 2015. De rundveehouderij is verantwoordelijk voor meer dan de helft van de ammoniakemissie uit de landbouw. Andere belangrijke sectoren zijn de varkens- en pluimveehouderij en ten slotte het gebruik van kunstmest en overig (zie Figuur 2).

Emissie ammoniak (NH₃) door land- en tuinbouw per diercategorie



Figuur 2 Ontwikkeling landelijke ammoniakemissie (bron: [clo-ammoniakemissie](#)).

Als we de ammoniakemissie bekijken per sector, dan blijkt dat 59 mln. kg ammoniak per jaar afkomstig is vanuit de rundveehouderij, 18 mln. kg van de varkenshouderij, 12 mln. kg vanuit pluimvee, 4 mln. kg vanuit schapen en geiten en 14 mln. kg via kunstmest, afrijping van gewassen en gewasresten (Van Bruggen et al., 2022). Dit betekent dat een aanzienlijk deel van de ammoniakuitstoot ook plaatsvindt bij akkerbouwbedrijven, vooral door gebruik van dierlijke mest, kunstmest en afrijping van gewassen of gewasresten. In totaal gaat het om 19 mln. kg ammoniak per jaar, waarvan een deel afkomstig is van rundvee-, varkens- en pluimveemest die op akkerbouw bedrijven wordt uitgereden (Remkes et al., 2020).

Naast het bestaande mest- en ammoniakbeleid zijn negen bronmaatregelen voorgenomen om de ammoniakemissies en dus deposities terug te brengen (Kamerbrief 24 april 2020: voortgang stikstofproblematiek: structurele aanpak | Kamerstuk | Aanpak Stikstof):

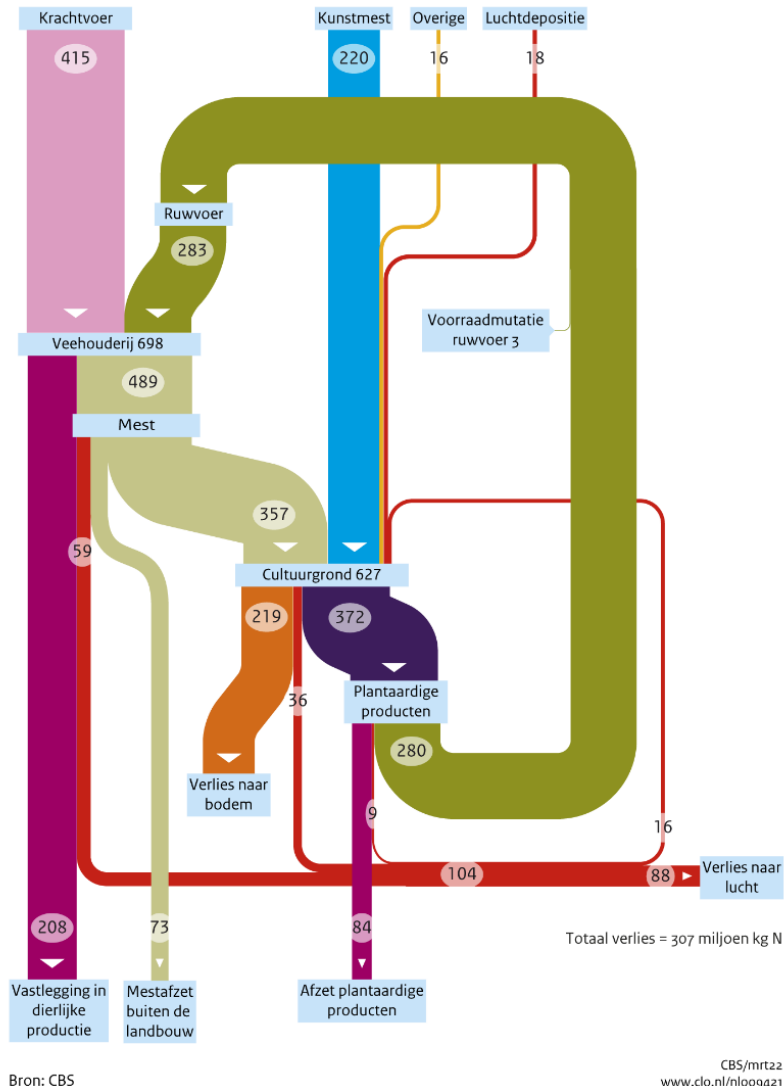
- Toename van weidegang door melkvee;
- Mest verdunnen met water bij uitrijden;
- Veevoermaatregelen, waardoor er minder N in de mest terecht komt;
- Realisatie van meer mestverwerking;
- Omschakelprogramma, naar onder andere meer biologische landbouw;
- Subsidieregeling sanering varkenshouderij (SRV);
- Maatregel gerichte aankoop (MGA) van piekbelasters;
- Landelijke beëindigingsregeling veehouderij (LBV);
- Stalmaatregelen, waardoor de ammoniakemissie uit stallen vermindert.

Verder is het Innovatieprogramma emissiearme mestaanwending in ontwikkeling, waarin innovatieve, nieuwe technieken worden ontwikkeld om de ammoniakemissie bij het mest uitrijden verder te verminderen. Deze maatregelen grijpen in op verschillende punten in de stikstofbalans van de landbouw.

Volumemaatregelen SRV, MGA en LBV zorgen voor een krimp van de veestapel, waardoor minder krachtvoer nodig is en de N-input uit krachtvoer verkleind kan worden. Via veevoermaatregelen kan daarnaast ook een verlaging van de hoeveelheid N in het voerrantsoen plaatsvinden. Andere maatregelen, zoals weidegang, stalmaatregelen, mestverdunding en -verwerking kunnen eveneens direct bijdragen aan het verminderen van ammoniakemissies uit de veehouderij. Met name mestverwerking kan ervoor zorgen dat de stikstof in de mest efficiënter benut kan worden door gewassen waardoor een lagere N-input uit kunstmest nodig is (zie Figuur 3).

Stikstof 2020

Eenheid: miljoen kg stikstof



Figuur 3 Stikstofbalans Nederland 2020 (bron: [clo-stikstofbalans](#)).

Figuur 3 toont aan dat van de 104 miljoen kg aan N-verliezen naar de lucht, er 59 miljoen kg plaatsvindt vanuit de veehouderij (mest en stallen) en de overige 36 miljoen kg van cultuurgrond (mest uitrijden en beweiding, waarbij beweiding slechts 1 mln. kg betreft). De verliezen naar de lucht zijn grotendeels in de vorm van ammoniak. Opvallend is de grote hoeveelheid die zich ophoopt in de bodem (209 mln. kg). Een deel daarvan spoelt uit naar het grondwater in de vorm van nitraat; ook kan afspoeling naar het oppervlaktewater plaatsvinden. Vanuit de bodem kan ook denitrificatie plaatsvinden, waarbij nitraat wordt omgezet naar stikstofgas en/of lachgas (N₂O), vooral bij anaerobe omstandigheden. Lachgas is een sterk broeikasgas (265 keer sterker dan CO₂) en is dan ook onderdeel van het klimaatdossier.

2.1.2 Klimaat

De Nederlandse landbouw levert een bijdrage aan klimaatverandering door de uitstoot van de broeikasgassen kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). CO₂ komt vooral vrij door verbruik van energie (gas, elektriciteit, diesel). Van de onderscheiden sectoren verbruikt vooral glastuinbouw veel energie in de vorm van aardgas. CH₄ komt vrij bij de stofwisseling van rundvee en de opslag van mest, en is vooral te linken aan de melkveehouderij. N₂O komt vooral vrij uit de bodem bij bemesting. Bij de oxidatie van veegronden als gevolg van ontwatering komt zowel CO₂ als N₂O vrij. Methaan en lachgas worden weliswaar in veel kleinere hoeveelheden uitgestoten dan CO₂, maar hebben een sterker effect: methaan is 28 keer sterker, lachgas 265 keer.

In de Klimaatwet is voor Nederland een landelijk doel gesteld van 49% reductie van broeikasgassen in 2030 ten opzichte van 1990. In het regeerakkoord is dit verhoogd naar 55%, waarbij het beleid zich richt op 60% reductie. En in de wet komt vast te liggen dat Nederland in 2050 klimaatneutraal zal zijn (Coalitieakkoord, 2021).

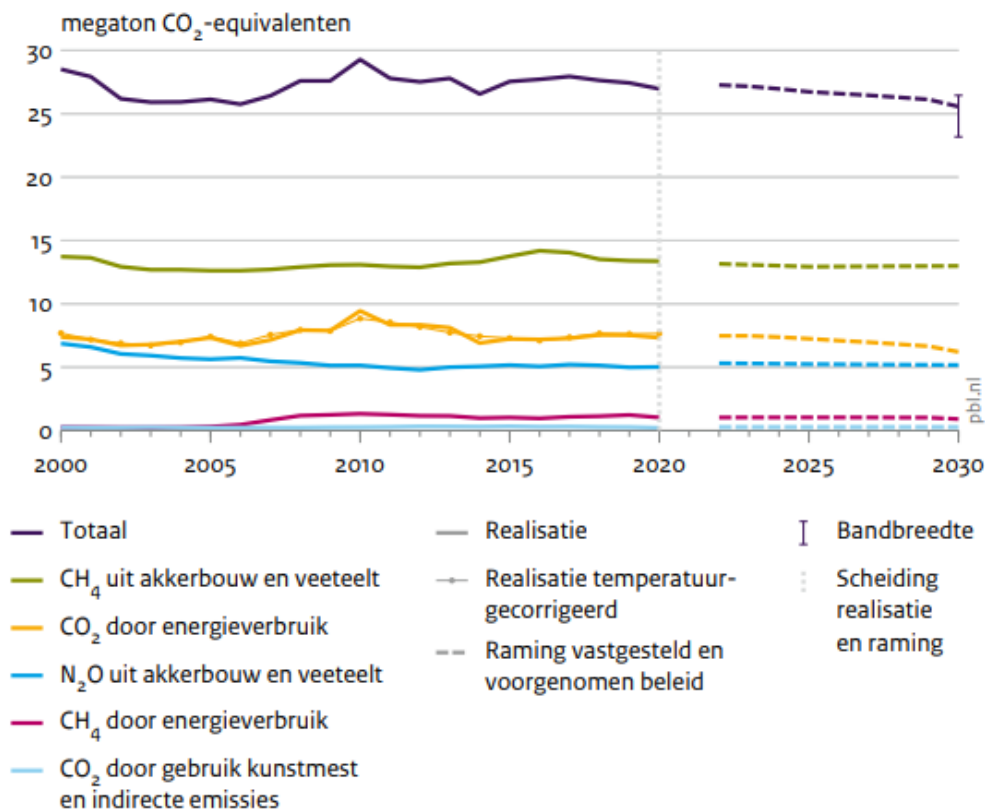
De oorspronkelijke opgaven uit het Klimaatakkoord zijn flink aangescherpt met het Coalitieakkoord (2021), waarbij de beoogde restemissies voor uitstoot van broeikasgassen voor 2030 zijn gesteld op:

- Landgebruik op 1,8-2,7 Mton CO₂-eq.
- Landbouw (veehouderij en glastuinbouw) op 18,9 Mton CO₂-eq.

De broeikasemissies van de sector landbouw bedroegen in 2020 in totaal 27,0 mln. Ton CO₂-eq (PBL, 2021). Het gaat vooral om aan gebruik van fossiele energie gerelateerde emissies bij de glastuinbouw (7,5 Mton); het energieverbruik in de akkerbouw en melkveehouderij is aanzienlijk lager. Daarnaast zijn emissies van methaan (13 Mton) en lachgas (5 Mton) uit de veehouderij en akkerbouw van belang (zie Figuur 4). De emissie van broeikasgassen door het gebruik van brandstof voor trekkers telt niet mee bij de sector landbouw, maar bij de sector mobiliteit. Uiteraard ligt daar ook dezelfde landelijke reductieopgave, maar deze blijft in dit onderzoek buiten beeld. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor het energiegebruik dat nodig is bij de *productie* van kunstmest; dat wordt toegerekend aan de sector industrie. De emissie die ontstaat bij het *gebruik* van kunstmest in de landbouw, bijvoorbeeld in de vorm van lachgas, wordt wel toegerekend aan de sector landbouw.

Dit betekent dat voor landbouw in 2030 een reductie van 30% van de uitstoot van broeikasgassen nodig is; voor de emissies door landgebruik gaat het om een halvering.

Emissie broeikasgassen door landbouw



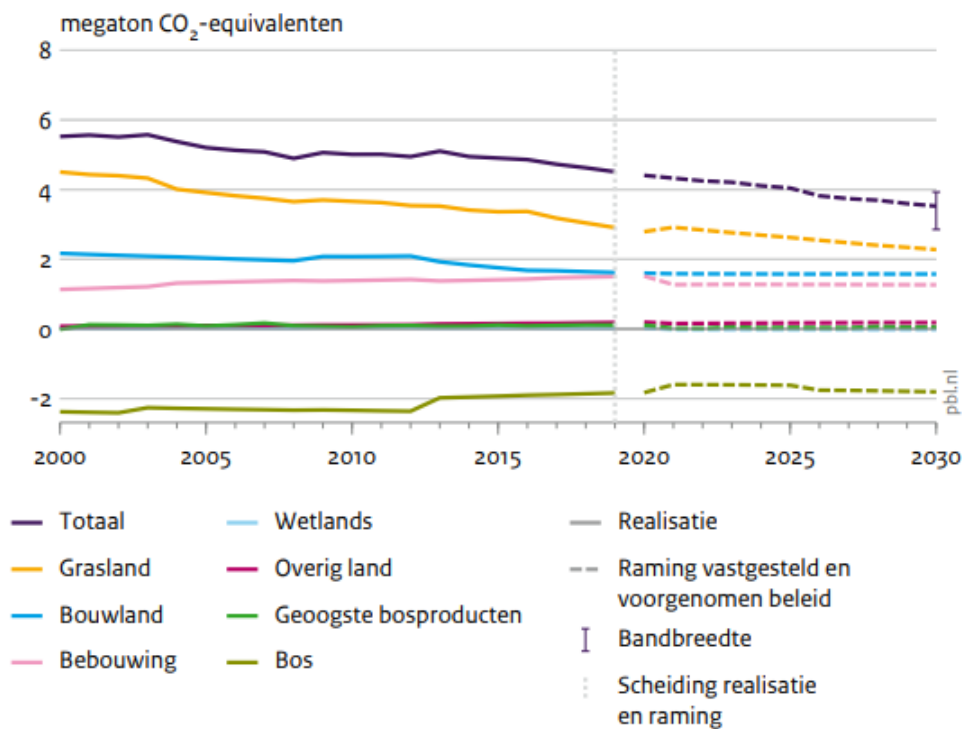
Figuur 4 Ontwikkeling broeikasemissie landbouw Nederland (bron: [Pbl-systematiek klimaatopgave](#)).

De emissies die samenhangen met landgebruik worden volgens de IPCC-richtlijnen apart meegeteld, en bedroegen in 2020 4,4 Mton CO₂-eq (PBL, 2021). Het gaat hierbij om de jaarlijkse emissies en verwijdering

van broeikasgassen uit de atmosfeer door landgebruik; dit betreft enerzijds emissies van broeikasgassen uit de bodem/planten, maar anderzijds ook de opname ervan. Emissies door het gebruik van dierlijke mest of kunstmest tellen echter mee bij landbouw. Bossen zorgen voor een jaarlijkse vastlegging van CO₂ die geleidelijk iets afneemt bij het ouder worden van bos. Blijvend grasland op minerale gronden zorgt ook voor koolstofvastlegging. Voor grasland op veen echter geldt dat niet. Het grootste deel van de emissies uit landgebruik vindt daardoor plaats uit grasland op veengrond, bijna 3 Mton, bouwland en bebouwing zorgen daarnaast voor ruim 1,5 Mton (zie Figuur 5). De dalende trend in de grafiek is vooral het gevolg van de afname van het landbouwareaal, een verschuiving van bouwland naar grasland en een afname van het areaal veengronden (met grasland).

Een berekening van lachgasemissie uit de Nederlandse landbouw geeft een emissie van zo'n 9-11 kg N₂O/ha voor akkerbouw en 15-35 kg N₂O/ha voor melkveehouderij, met aanzienlijk lagere emissies uit biologische landbouw (Bos et al., 2007). Bij de akkerbouw is de lachgasemissie verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de broeikasgasemissies, bij de melkveehouderij voor ongeveer een derde van de totale broeikasgasemissies.

Emissie naar en verwijdering van broeikasgassen uit atmosfeer door landgebruik



Bron: Emissieregistratie (realisatie); KEV-raming 2021

Figuur 5 Ontwikkeling broeikasgasemissie landgebruik Nederland (bron: *Pbl-systematiek klimaatopgave*).

Voor veehouderijbedrijven zijn in het Klimaatakkoord emissiearme melkvee- en varkensstallen opgenomen, een geïntegreerde aanpak van de uitstoot van methaan en ammoniak, selectie en levensduurverlenging van melkvee. Verder draagt de warme sanering varkenshouderij bij aan een verkleining van de varkensstapel, en daarmee van de emissies. Ook op het gebied van bemesting zijn maatregelen mogelijk, zoals precisiebemesting, nitrificatieremmers en kunstmestvervanging. Voor veenweidegebied gaat het om vernatting van veengrond, agrarisch natuurbeheer en de ontwikkeling van verdienmodellen.

Naast het voorkomen van broeikasgasemissies bij het gebruik van energie, ligt er vanuit landelijk beleid voor de energiesector ook een opgave om duurzame energie op te wekken. Landbouw kan daarin een belangrijke rol spelen. Dit staat los van de klimaatopgave voor de landbouw, maar omdat deze activiteiten deels wel kunnen plaatsvinden op landbouwbedrijven, worden ze hier wel genoemd. Het gaat om een mix van zonnepanelen, bio-vergisters en windmolens op landbouwgrond. Ook internationaal lijkt dit een groeiende

trend. De logica is dat voor wind- en zonne-energie ruimte nodig is; akkerbouwers en melkveehouders hebben dat. Voor de opwekking van bio-energie zijn laagwaardige biomassa-grondstoffen/reststromen nodig; akkerbouwers en melkveehouders hebben dat.

Ook in Nederland is deze ontwikkeling aan de orde. De PPS Energie en Landbouw (<https://www.ppsenergielandbouw.nl/>) heeft als doel invulling te geven aan de rol van de landbouw in de energietransitie. Dit door het maximaliseren van de bijdrage van de landbouw op een wijze dat hernieuwbare energieproductie en consumptie een integraal rendabel onderdeel van het agrarische bedrijf wordt. In potentie is de landbouw een grote speler in de energietransitie. Met een mix van zon-, wind- en bio-energie kunnen agrariërs allereerst bijdragen aan energieneutraliteit van hun bedrijf en de keten, en vervolgens ook aan energieneutraliteit van Nederland. Daarnaast is het een nieuwe bron van inkomsten.

De agrosector laat op dit moment niet zien hoeveel duurzame energie zij zelf opwekt. Een uitzondering is FrieslandCampina, die met een realtime monitor het publiek hierover informeert (<https://www.frieslandcampinaopwek.nl/>). Duurzame energieproductie draagt weliswaar bij aan de opgave van de energiesector, maar kan ook impact hebben op het behalen van milieudoelen op het gebied van stikstof, klimaat (verdroging, CO₂-reductie, emissies) en biodiversiteitsherstel. Twee verschillende mechanismen zorgen, al dan niet gecombineerd, voor dergelijke synergiën. Het kan gaan om financiële synergiën, waarbij inkomsten uit energieopwekking worden geïnvesteerd in milieumaatregelen en het kan gaan om fysieke synergiën, waarin een energiemaatregel zoals productie van bio-energie uit dierlijke mest in combinatie met een 'N-stripper' zowel bijdraagt aan reductie van CO₂ en methaanemissies, als circulair nutriëntenmanagement (vermindering van ammoniakemissies en uitspoeling).

Deze technieken komen voort uit recente innovaties en zijn gestimuleerd door ministeries EZ&K, LNV, EU en het bedrijfsleven. Sommige technieken zijn al marktrijp en worden nu geïntroduceerd, zoals mestvergisting op het agrarisch bedrijf, in combinatie met een mineralenscheider. De bijzonder snel groeiende markt voor opwekking van duurzame energie stimuleert een snelle marktintroductie. Een tweede praktijkvoorbeeld is een illustratie van de snelgroeiende markt voor agri-PV: zonnepanelen in combinatie met gewas(gras)productie en biodiversiteit.

2.1.3 Water

Voor landbouw zijn de Nitraatrichtlijn (NR) en de Kaderrichtlijn Water (KRW) van belang: hierin worden doelen voor de kwaliteit van het oppervlakte en grondwater gesteld, alsmede voor de hoeveelheid grondwater. Binnen het 7^e actieprogramma (AP) is een actiespoor voorzien, in samenhang met het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) en het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW). In 2024 zal in een midterm review worden bepaald voor welke gebieden de doelen niet tijdig in zicht komen. Met ingang van het 8^e actieprogramma, dat loopt van 2026-2029, is het de bedoeling om strenge verplichtende maatregelen op te nemen om de doelen van de NR en de KRW te halen (LNV, 2021).

In het kader van de NR is heel Nederland aangewezen als kwetsbaar gebied. Dit betekent dat voor het bovenste grondwater een kwaliteitsdoel van maximaal 50 mg nitraat/L geldt. Ook moet eutrofiëring van het oppervlaktewater worden voorkomen. De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een overkoepelende richtlijn, die bepaalt dat in 2027 alle maatregelen moeten worden genomen die nodig zijn voor chemisch schoon en ecologisch gezond water. Naast nutriënten uit de landbouw moet ook vervuiling door andere bronnen verminderd worden, waaronder gewasbeschermingsmiddelen.

Nadat er de afgelopen decennia grote stappen zijn gezet, blijkt dat er sinds 2015 weer meer stikstof en fosfaat op landbouwbodems terecht komt. Ook blijkt tussen 2017 en 2020 in alle regio's in Nederland de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater te zijn gestegen (deels samen hangend met droogte). De nitraatconcentratie in het zuidelijke zandgebied is met 75 mg/L hoger dan in de zandgebieden midden en noord, die 30-50 mg/L scoren. Deze verschillen zijn voor een groot deel te verklaren uit verschillen in grondwatertrappen en grondsoort: in het zuidelijke zandgebied liggen meer uitspoelingsgevoelige gronden en is het aandeel grasland lager. Op melkveebedrijven wordt gemiddeld voldaan aan de nitraatnorm van 50 mg/L. De nitraatconcentratie op akkerbouwbedrijven in de zandregio laat weliswaar een dalende trend zien, maar gemiddeld genomen wordt de norm er nog niet gehaald. Het percentage locaties in landbouw

specifiek oppervlaktewater, dat aan waterschapnormen voldoet, varieert voor stikstof tussen 36% in 2016 tot 49% in 2018, en voor fosfor tussen 49% in 2016 en 55% in 2018. In veel gebieden is nog een extra inspanning nodig om de normen voor stikstof en fosfor in het oppervlaktewater te halen (Velthof en Groenendijk, 2021).

Het 7^e actieprogramma (AP) is opgebouwd uit zes pijlers (daarnaast blijft de bestaande regelgeving van het 6^e actieprogramma van kracht):

A: Duurzame bouwplannen voor verbetering van water- en bodemkwaliteit; het gaat daarbij om substantiële opname van grasland, rust- en vanggewassen in bouwplannen van landbouwbedrijven, waardoor ook een bijdrage wordt geleverd aan klimaat en biodiversiteit.

B: Gebiedsspecifieke aanpak in gebieden waar de waterkwaliteit nog achterblijft. Het gaat hierbij om aansluiting op al lopende gebiedsprocessen, vaak in het kader van het DAW, gericht op toename van bewustwording van agrariërs over de toestand van bodem en water, monitoring van de lokale situatie en delen van kennis over effectieve maatregelen in de bedrijfsvoering, die een positief effect hebben op de waterkwaliteit. De hoop is dat dit leidt tot vrijwillige invoering van voldoende maatregelen.

C: Overige, verplichtende maatregelen. Hierbij gaat het om landelijk geldende verplichtende maatregelen zoals bredere bufferstroken langs waterlopen, het beperken van het uitrijseizoen van dierlijke mest, beperken van de najaarsbemesting, aanpassen van stikstofgebruiksnormen en verruimen van de mogelijkheden voor toepassen van storrijke stalmest en andere organischestof-rijke meststoffen.

D: Communicatie, kennis en pilots. Het gaat hierbij zowel om kennisontwikkeling als het overbrengen van kennis naar de praktijk. Pilots kunnen daarbij een belangrijk hulpmiddel zijn. Het gaat om maatregelen in de volle breedte: zowel bij de bron, als *end of pipe*.

E: Aanvullende maatregelen voor oppervlaktewaterkwaliteit en koppeling met het stikstofdossier. Met bovenstaande maatregelen van het 7^e AP worden voor het oppervlaktewater nog niet alle doelen behaald. Maatregelen uit het stikstofdossier kunnen een bijdrage leveren om de doelen dichterbij te brengen: het gaat om extensivering, vernatten van veenweidegebieden en inrichten van beekdalen in het oostelijke en zuidelijke zandgebied met maximaal 250 m brede bufferzones met natuur of extensief beheerd grasland.

F: Controle en handhaving. Dit betreft vooral de gebiedsgerichte aanpak, zo nodig uitgebreid naar extra gebieden en ten slotte ook een traject om meer inzicht te krijgen in het correct gebruik van kunstmeststoffen.

De maatregelen in de achtereenvolgende AP's en het mestbeleid die betrekking hebben op het bevorderen van een goede waterkwaliteit bestaan uit de volgende beperkingen voor het gebruik van meststoffen:

- Hoeveelheid: een gebruiksnormenstelsel voor het gebruik van stikstof en fosfaat uit dierlijke mest, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar grondsoort, gewas, fosfaattoestand van de bodem en opbrengstniveau. Momenteel moet ook het gebruik van N en P uit kunstmest binnen de gebruiksnormen vallen.
- Tijdstip: eisen aan uitrijdperioden voor dierlijke mest en kunstmest en aan de opslagcapaciteit voor dierlijke mest.
- Situatie: beperking van toediening van mest op hellingen, drassige, ondergelopen, besneeuwde of bevroren grond of tijdens irrigatie.
- Locatie: bufferstroken.

2.1.4 Natuur

De huidige situatie in natuurgebieden is dat gemiddeld genomen het verlies in biodiversiteit weliswaar is gestopt, maar dat het in het agrarisch gebied nog steeds slecht gaat met het merendeel van de populaties van soorten (PBL, 2020).

Voor natuur en biodiversiteit zijn er beleidsdoelen geformuleerd vanuit de Vogel- en Habitatrichtlijnen (VHR), daaruit voortvloeiend voor Natura 2000-gebieden, het Natuur Netwerk Nederland en ten slotte de

Basiskwaliteit natuur (BKN). Deze doelen hebben direct betrekking op het natuurareaal; daarnaast zijn er ook natuurdoelen die via het landbouwsysteem gerealiseerd kunnen worden, bijvoorbeeld via natuurinclusieve landbouw, biologische landbouw en de herkomst van veevoer en veevoergrondstoffen (niet uit gebieden, waar dat ten koste gaat van de natuur). Een bijdrage van de landbouw aan het versterken van biodiversiteit in de brede zin kan verwacht worden van de transitie naar meer natuurinclusieve en biologische landbouw.

Voor de VHR gaat het om het realiseren van een gunstige staat van instandhouding van soorten en habitattypen van de VHR. In het programma Natuur is beoogd dat in 2030 voor 70% daarvan de condities op orde van de gunstige Staat Van Instandhouding (gSVI) en uiteindelijk 100% condities op orde van de gSVI. Een deel van de doelsoorten heeft betrekking op het landelijk gebied buiten N2000-gebieden, zoals de boerenlandvogels; voorbeeld is het aanvalsplan grutto. Daarnaast beoogt de EU-Biodiversiteitsstrategie (EBS) 10% groenblauwe dooradering in het landschap in 2050.

De doelstellingen voor de Natura 2000-gebieden en het Natuurnetwerk Nederland (NNN) zijn dat elk gebied de instandhoudingsdoelstellingen gaat halen:

- In 2027 zijn voor elk gebied de ruimtelijke en hydrologische condities gerealiseerd die nodig zijn voor het bereiken van de instandhoudingsdoelstellingen (Natuurpact, 2013).
- In 2030 is 74% van het stikstofgevoelig N2000-areaal onder de kritische depositiewaarde gebracht; voor 2025 gaat het om 40% (Coalitieakkoord, 2021).
- In 2030 is behoud gerealiseerd en verbetering zichtbaar in Natura 2000-gebieden waar behoud een doelstelling is.

De basiskwaliteit natuur is gericht op het behoud en versterken van de algemene soorten buiten natuurgebieden – dit beleid is nog in ontwikkeling. Doel van natuurinclusieve landbouw is dat de landelijke afname van biodiversiteit in het agrarisch gebied is gekeerd in duurzaam herstel. Hierbij stuurt LNV op drie dimensies: verrijken, sparen en benutten van de natuur. Voor biologische landbouw is het EU-doel om in 2030 tot een aandeel van 25% te komen. De vertaling naar doelen voor de lidstaten (waaronder NL) moet nog plaatsvinden.

Wat betreft de ecologische voetafdruk van de Nederlandse voedselconsumptie is het doel van de overheid een halvering in 2050. De verschillende veehouderijsectoren hebben hun eigen doelstellingen, met betrekking tot bijvoorbeeld het gebruik van eiwit van eigen grond en de vermindering van import van (eiwitrijke) krachtvoerders van buiten Europa.

2.1.5 Andere beleidsopgaven

Naast de urgente doelen voor Stikstof, Klimaat, Water en Biodiversiteit heeft LNV nog andere beleidsdoelen en -dossiers voor landbouw. Voorbeelden daarvan zijn duurzaam bodembeheer, reductie gewasbeschermingsmiddelen, landschap inclusief omgevingsbeleid, circulaire landbouw, diergezondheid, dierenwelzijn, reductie van fijnstof en het verminderen van geurhinder. Als er vanuit de urgente doelen duidelijke verbanden zijn met deze aanvullende doelen zullen die hier worden meegenomen.

2.2 Indeling van maatregelen

Voor de sectoren akkerbouw en melkveehouderij heeft op basis van beschikbare literatuur een inventarisatie plaatsgevonden van maatregelen die op bedrijfsniveau mogelijk zijn om bij te dragen aan de urgente milieudoelen. De inventarisatie van maatregelen is zeker niet uitputtend en er kunnen geen rechten aan ontleend worden. Het is vooral te beschouwen als een momentopname, van maatregelen die begin 2022 beschikbaar waren binnen diverse publicaties over de toepassing van milieumaatregelen in de landbouw. Vervolgens zijn hier nog enkele recente ontwikkelingen aan toegevoegd. Gezien de vele ontwikkelingen die momenteel plaatsvinden, is een volledig overzicht niet mogelijk.

Omdat er een groot aantal milieumaatregelen mogelijk zijn die landbouwbedrijven kunnen nemen, richt de inventarisatie zich in de eerste plaats op het creëren van overzicht, om vervolgens te kunnen beoordelen in

hoeverre maatregelen kunnen bijdragen aan de (urgente) milieupgaven. Tegen deze achtergrond is ervoor gekozen een indeling van de maatregelen te maken naar bedrijfsonderdelen die zijn gebaseerd op bedrijfsvoering en daarmee aansluiten op de landbouwpraktijk. We hebben ons in deze studie beperkt tot de grondgebonden landbouwsectoren akkerbouw en melkveehouderij.

Voor de onderzochte sectoren hanteren we onderstaande indeling:

Akkerbouw	Melkveehouderij
<i>Landgebruik</i>	<i>Veehouderij</i>
1. Gewaskeuze/ teeltmaatregelen/ landmanagement	1. Dier(spoor)productie, fokkerij, raskeuze en diergezondheid
2. Gewasbescherming	2. Voerspoor / rantsoenering
3. Bemesting / nutriëntenbenutting	3. Huisvesting / stalsysteem
4. Bodembeheer/ -verbetering	4. Mestopslag / bewerkingstechnieken
5. Waterbeheer	
6. Omgevings- / natuur- en landschapsbeheer	<i>Landgebruik</i>
7. Bedrijfsmanagement	5. Gewaskeuze/ teeltmaatregelen /landmanagement
	6. Gewasbescherming
<i>Erf en gebouwen</i>	7. Bemesting / nutriëntenbenutting
8. Energie, erfinrichting en gebouwen	8. Bodembeheer/ -verbetering
	9. Waterbeheer
	10. Omgevings- / natuur- en landschapsbeheer
	11. Bedrijfsmanagement
	<i>Erf en gebouwen</i>
	12. Energie, erfinrichting en gebouwen

In hoofdstuk 3 komt de akkerbouwsector aan de orde, vervolgens in hoofdstuk 4 de melkveehouderij. Per bedrijfsonderdeel wordt een opsomming gegeven van de mogelijke milieumaatregelen. De opsomming wordt voorafgegaan door een beschrijving van het bedrijfsonderdeel, hoe de maatregelen zijn gerelateerd aan de urgente milieudoelen, een kwalitatieve beschrijving van de milieu-impact, de relatie van de maatregelen met andere bedrijfsonderdelen en of er risico's zijn voor afwenteling.

De maatregelen die aan de orde komen, vormen een behoorlijke uitgebreide verzameling en zijn afkomstig uit een twintigtal rapporten die LNV heeft aangedragen, aangevuld met enkele andere recente onderzoeksrapporten (zie Bijlage 1). Uiteraard is dit geen uitputtende lijst, er zijn altijd ook nog andere mogelijke maatregelen te bedenken en ongetwijfeld ook bedacht. Maar we gaan ervan uit dat we met de inventarisatie in de volgende hoofdstukken wel beschikken over de belangrijkste milieumaatregelen in deze beide sectoren.

Verder is het ook belangrijk om op te merken dat het onderzoek naar milieumaatregelen in de landbouw volop in beweging is en er sprake is van voortschrijdend inzicht. Dit betekent dat sommige maatregelen die in aangedragen rapporten genoemd zijn, achteraf gezien nauwelijks effect scoren op stikstof, klimaat, water of natuur, of om andere redenen niet gewenst zijn. Om recht te doen aan de gebruikte bronnen, hebben we toch alle maatregelen overgenomen in de lijsten per bedrijfsonderdeel. Het aantal maatregelen is ook te groot om in het tijdsbestek van dit onderzoek te beoordelen op hun effecten en mogelijke synergie, of juist het ontbreken daarvan. Het onderzoek is beperkt tot hoofdlijnen en werkingsprincipes die achter de maatregelen schuilgaan.

3 Maatregelen op akkerbouwbedrijven

In dit hoofdstuk zullen mogelijke milieumaatregelen voor akkerbouwbedrijven per bedrijfsonderdeel worden besproken. Het zijn als het ware verschillende knoppen waar een akkerbouwer aan kan draaien. Vanzelfsprekend zijn de verschillende bedrijfsonderdelen binnen de bedrijfsvoering sterk met elkaar verweven, een maatregel kan daarom soms bij verschillende onderdelen worden ondergebracht.

Voor het beschrijven van de maatregelen per bedrijfsonderdeel hanteren we het volgende format:

- Beschrijving van het bedrijfsonderdeel;
- Relatie van de maatregelen met de urgente doelen voor SKWN en de ander doelen (reductie gewasbeschermingsmiddelen, bodemkwaliteit en landschap (landschappelijke kwaliteit));
- Schetsen bandbreedte van de impact op milieu, maar ook de bedrijfseconomische impact benoemen;
- Maatregelen relateren aan de inspanning die binnen de bedrijfsvoering gedaan moet worden, gradatie van geringe inspanning bij toepassen van afzonderlijke technische maatregelen tot grote inspanning bij structurele maatregelen om te komen tot natuurinclusieve sector;
- Mogelijk afwentelingen benoemen;
- Verwijzen naar relevante literatuur: uitkomsten van de belangrijkste onderzoeken.

In de tabellen zijn per bedrijfsonderdeel de maatregelen voor akkerbouwbedrijven weergegeven, afkomstig uit de verschillende rapportages die voor dit onderzoek gebruikt zijn (Bijlage 1). Sommige maatregelen hebben gedeeltelijke overlap met verschillende volgende maatregelen in de lijst. Zoals eerder vermeld, is de effectiviteit erg afhankelijk van de omstandigheden van het gebied en het bedrijf en ook in relatie tot andere milieumaatregelen die mogelijk al genomen zijn. Aan het eind van dit hoofdstuk volgt een syntheseparagraaf, waarin wordt ingegaan op de onderlinge samenhang tussen de maatregelen en waar mogelijk ook iets over de effectiviteit ervan richting de verschillende milieudoelen.

3.1 Gewaskeuze en teeltmaatregelen

Beschrijving bedrijfsonderdeel

De gewaskeuze en manier van telen is in feite de basis van het akkerbouwbedrijf. Vanuit bedrijfseconomisch oogpunt is er binnen de akkerbouw een voorkeur voor het telen van hoog salderende gewassen, zoals (poot)aardappelen, suikerbieten, uien, peen en tulpen. Veel van deze gewassen zijn rooivruchten, vereisen vaak een intensiever management en zijn gevoeliger voor ziektes en plagen. Om die reden is vruchtwisseling noodzakelijk, waarbij de genoemde (intensieve) gewassen worden afgewisseld met rustgewassen (maaigewassen, zoals graan, klaver, gras etc.). Omdat rustgewassen vaak een (veel) lager rendement hebben, worden gangbare bedrijven aangezet tot intensieve bouwplannen, dat wil zeggen zo veel mogelijk hoog renderende gewassen verbouwen. Over het geheel kan dit leiden tot een grotere druk op de bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid, wat ten koste kan gaan van bodemgerelateerde ecosysteemdiensten, zoals waterregulatie, biodiversiteit en koolstofopslag. Een ruimer bouwplan met meer ruimte voor rustgewassen betekent in de huidige markt doorgaans een lager economisch rendement, waardoor dit voor veel boeren onaantrekkelijk is of onmogelijk gezien de hoge grondprijzen en bijbehorende financieringslasten.

Binnen gewaskeuze en de manier van telen van die gewassen zijn best wat alternatieve keuzes te maken. Maatregelen kunnen variëren van bijvoorbeeld een ander ras aardappel of variabel poten, het tijdstip van zaaien en oogsten, nieuwe gewassen inpassen in een rotatie, tot aan heel andere teeltsystemen, zoals strokenteelt of agroforestry (zie Tabel 1). Deze maatregelen zullen verschillen in impact op de milieudoelen, maar ook in het makkelijk of moeilijk toepassen op een akkerbouwbedrijf.

Tabel 1 *Maatregelen inventarisatie akkerbouwbedrijven – Gewaskeuze/teeltmethode/landmanagement.*

1	Verruiming bouwplan (meer rust- en vanggewassen), verbetering gewasrotatie, meer graan en/ of gras in het bouwplan
2	Gemengde teelten: pixellandbouw, strokenteelt (natuurlijke plaagbestrijding, hogere biodiversiteit, hogere opbrengsten)
3	Variabel zaaien en poten (precisielandbouw)
4	Agroforestry, voedselbossen (in stroken naast akkerbouwgewassen)
5	Meer diep wortelende gewassen toepassen, afwisseling van diep en ondiep wortelend gewas
6	Nieuwe teelten; zoute/zilte teelt, 'natte' teelten (landbouw op vernatte veengronden = paludicultuur), robuuste gewassen
7	Afvoer stikstof- en/of fosforrijke groenresten direct na oogst (laag C/N), mogelijk als veevoer
8	Toepassen groenbemesters en vanggewassen, (verbeteren N-benutting), grond jaarrond bedekt houden
9	Meer eiwitrijke gewassen telen voor humane consumptie (eiwittransitie)
10	Specifieke gewassen telen voor verlagen fosfaat op percelen met een hoge fosfaattoestand
11	Vroegrijpe gewassen telen en direct na de oogst (voor 1 oktober) een stikstofvanggewas zaaien (of onderzaai bij mais)
12	Geen uitspoeling gevoelige gewassen telen op uitspoeling gevoelige gronden om risico voor het grondwater te verminderen
13	Leg slootmaaisel op ruime afstand van de sloot en verwerk het tot bodemverbeteraar
14	Klimaatneutraal produceren, gewassen telen die de emissies van methaan en lachgas minimaliseren en de onvermijdbare broeikasgasemissies in balans brengen met vastlegging van CO ₂ in bodem en bomen
15	Ondergroei van klaver
16	Keuze voor gewassen die weinig (minerale) stikstof achterlaten (d.m.v. rassenkeuze)
17	Keuze voor gewassen met een laag of negatief fosfaatoverschot (d.m.v. aanpassen bouwplan)

Relatie met milieudoelen

In algemene termen dragen genoemde maatregelen met betrekking tot gewaskeuze en teeltmethoden bij aan het verbeteren van de bodemvruchtbaarheid, het verlagen van de ziektedruk, waardoor minder gewasbeschermingsmiddelen nodig zijn, een betere benutting, minder verlies en minder afspoeling van meststoffen naar grond- en oppervlaktewater, het versterken van (functionele agro)biodiversiteit en koolstofvastlegging in landbouwbodems. Het raakt daarmee direct aan de doelen voor klimaat, water en natuur. Maar het raakt zeker ook aan de doelen voor ammoniak, op de eerste plaats door het gebruik van dierlijke mest. Maar er zijn ook tal van minder directe relaties. De keuze van gewassen en gewasrotatie hebben een effect op de stikstofemissies (ammoniak, nitraat en lachgas), omdat gewas type is gerelateerd aan de hoogte van de stikstofgift, de stikstofbenutting, de methode waarop mest wordt toegediend en de toevoer van organische stof naar de bodem. Er is geen algemene beoordeling te geven van het effect van het veranderen van de gewaskeuze op de verschillende emissies, maar er zijn wel risico's op afwenteling, met name van lachgas (Slier en Velthof, 2021).

Enkele algemene, kwalitatieve relaties zijn:

- Dieper wortelende gewassen + groenbemesters/vanggewassen --> minder N-uitspoeling + meer rust in bodem = bodem biodiversiteit, + meer C-input uit gewasresten = C-vastlegging (positief voor klimaat, bodemstructuur, bodem biodiversiteit en watervasthoudend vermogen van de bodem).
- Meer gewasdiversiteit = meer biodiversiteit.
- Meer N-fixerende gewassen, vaak eiwit gewassen --> minder externe mest nodig --> indirect minder kunstmest (klimaat), minder dierlijke mest (ammoniak) + minder uitspoeling mogelijk + vaak meer biodiversiteit (bloei).

Bandbreedte impact maatregelen

Naarmate een bouwplan minder intensief is, zijn er positieve effecten voor klimaat, water, natuur, ziektedruk en duurzaam bodembeheer mogelijk, maar neemt het bedrijfseconomisch rendement doorgaans af. Er is kortom een spanningsveld tussen bedrijfseconomisch rendement en het behoud van ecosysteemdiensten. Een mogelijke oplossingsrichting in dit verband is het belonen van ecosysteemdiensten ter compensatie van een bouwplan met meer rustgewassen en een doorgaans lager bedrijfseconomisch rendement.

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Gewaskeuze en teeltmaatregelen zijn sterk verweven met de andere bedrijfsonderdelen van het akkerbouwmatige landgebruik. Een ruimer bouwplan in combinatie met bijvoorbeeld mengteelten en groenbemesters kan positief bijdragen aan een gezondere bodem met minder uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater en daardoor een lagere behoefte aan meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Voor sommige 'rustgewassen' zoals granen of gras kan de stikstofbehoefte juist ook hoog uitvallen. In combinatie

met maatregelen op het vlak van natuur- en landschapsbeheer (akkerranden) kan een ruimer bouwplan bijdragen aan het extra versterken van biodiversiteit en het realiseren van een meer natuurinclusieve productie met behoud en versterking van ecosysteemdiensten. Inzet van technologie kan daar ook een bijdrage aan leveren.

Mogelijke afwenteling

Er lijken veel positieve kanten aan een ruimere rotatie te zitten, maar er zijn wel wat afwentelingseffecten mogelijk. Zo kan een bouwplan met veel vlinderbloemigen leiden tot een hogere ziekte- en plaagdruk in sommige gewassen. 'Rust'gewassen, zoals granen en grassen, zijn erg stikstof (en P en K) behoeftig en kunnen dus ook zorgen voor een hogere mestbehoefte (kunstmest, klimaat).

Het gebruik van groenbemesters en het al dan niet achterlaten van gewasresten is van invloed op bodemprocessen en kan in sommige gevallen zorgen voor een toename van lachgasemissie, wat vanuit klimaatoogpunt niet wenselijk is.

3.2 Gewasbescherming

Beschrijving bedrijfs onderdeel

Om te komen tot een hoge productie van gewassen en gewaskwaliteit in de Nederlandse akkerbouw, is het gezond houden van gewassen heel belangrijk. Om gewassen gezond te houden en goede gewasgroei mogelijk te maken, dient er omgegaan te worden met onkruiden, ziektes en plagen zoals bacteriën, schimmels, virussen, plaaginsecten etc. Het beheersen hiervan kan op verschillende manieren, maar het gebruik van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen is hierin vaak effectief en tijdsefficiënt. Tegelijkertijd staat het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen maatschappelijk onder druk, vanwege de (mogelijk) negatieve gevolgen voor mens en natuur.

Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen binnen de Nederlandse akkerbouw is een belangrijk uitgangspunt om dit te beoordelen. Het totale gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, gemeten over bijna zestig gewassen in de land- en tuinbouw, is tussen 2012 en 2016 licht gedaald. In 2016 is 88% van het totale gebruik (5,7 miljoen kg werkzame stof) toegepast in slechts elf gewassen. Bijna twee derde van het totale gebruik wordt in 2016 toegepast in de akkerbouw (3,6 miljoen kg werkzame stof). Consumptie-, poot- en zetmeelaardappelen zijn samen goed voor 40% van het totale gebruik. Daarnaast nemen de volgende teelten een hoog percentage in van het totale gebruik van gewasbeschermingsmiddelen: lelies (bol) (13%), zaaiuien (7%), tulpen open grond (6%), peren en suikerbieten (beide 5%) en appels, snijmais en wintertarwe (elk 4%).

Tabel 2 Gewasbeschermingsmiddelengebruik Nederland per gewas en sector (2016).

	Werkzame stof (x1000kg)	Aandeel
Akkerbouw	3581	63%
Consumptieaardappelen	936	17%
Pootaardappelen	827	15%
Zetmeelaardappelen	502	9%
Zaai-uien	414	7%
Suikerbieten	273	5%
Tarwe, winter	205	4%
ov akkerbouw	425	7%
Tuinbouw	2093	37%
Bloembollen en -knollen	1205	21%
Fruit open grond	499	9%
Groenten open grond	130	2%
Boom- en bloemkwekerij	124	2%
Bloemen onder glas	85	1%
Glasgroenten	48	1%
Champignons	0.2	0%
Totaal	5674	100%

Bron: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0006-gebruik-gewasbeschermingsmiddelen-in-land--en-tuinbouw-per-gewas>

De genoemde maatregelen rond gewasbescherming bestaan enerzijds uit het efficiënter en preciezer toedienen van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen om zo de milieu-impact te verminderen. Anderzijds worden maatregelen beschreven die juist focussen op andere manieren van gewasbescherming, zoals biologische plaagbestrijding, gewasdiversiteit en mechanisch onkruidbeheer (zie Tabel 3).

Tabel 3 *Maatregelen inventarisatie akkerbouwbedrijven – Gewasbescherming.*

18	Natuurlijke/biologische plaagbestrijding door middel van combinatieteelten
19	Precisiebespuiting
20	Mechanische gewasbescherming
21	Geïntegreerde gewasbescherming (IPM)
22	Gebruik van een wasplaats met zuiveringssysteem
23	Gebruik van een emissieloze kistenreiniger en/of een lekvrije bollenwagen
24	Variatie in gewassen en rassen die meer resistent zijn tegen ziekten en plagen
25	Gewasbeschermingsmiddelen toepassen met een laag risicoprofiel, indien mogelijk van natuurlijke oorsprong
26	Niet-chemische grondontsmetting toepassen door bv. inundatie of teelt van tagetes
27	Biologische en/of natuurlijke bestrijding toepassen met speciale aandacht voor strokenteelt, (bloemrijke) akkerranden en groenbemesters voor het voorkomen van aaltjes en bodem gebonden ziekten en plagen
28	Groenbemester en/of graszode mechanisch onderwerken in plaats van dood spuiten
29	Een gesloten systeem toepassen voor het vullen, doseren en intern reinigen van spuitapparatuur en verpakkingen
30	Gebruik van sensor-gestuurde of andere selectieve en gerichte spuitapparatuur
31	Gebruik van spuittechnieken met hogere driftreductie dan wettelijk vereist
32	Hanteren van een bredere teeltvrije zone langs oppervlaktewater dan wettelijk voorgeschreven is
33	Onkruid bestrijding met een 'vals zaaibed'
34	Afrikaantjes als tussenteelt
35	Vanggewassen voor aaltjesbestrijding, invulling vergoeringsregels GLB en het vermijden van nitraatuitspoeling

Relatie met milieudoelen

Het gebruik van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen raakt in belangrijke mate aan de urgente doelen voor water en natuur, omdat deze middelen een negatieve invloed kunnen uitoefenen op de water- en de natuurkwaliteit. In minder directe mate raakt het ook aan het klimaatdoel, omdat er voor de productie van chemische gewasbeschermingsmiddelen in de industriële sector veel energie nodig is. Het terugdringen van de emissie van gewasbeschermingsmiddelen is daarnaast een beleidsdoel op zich, het nationale beleidsdoel is: realiseren van een grond- en oppervlaktewaterkwaliteit conform de doelen van de Kaderrichtlijn Water.

Het Uitvoeringsprogramma (UP) Toekomstvisie Gewasbescherming heeft drie strategische doelen:

1. weerbare plant- en teeltsystemen;
2. het verbinden van land- en tuinbouw en natuur;
3. nagenoeg geen emissies naar het milieu en nagenoeg geen residuen op voedselproducten.

De eerste twee doelen zijn gericht op een afname van de behoefte aan gewasbeschermingsmiddelen. Hiermee wordt een bijdrage geleverd aan het realiseren van nagenoeg geen emissies naar het milieu in 2030 (doel 3). Daarnaast gelden de doelen van de KRW die deel uitmaken van dit programma (specifiek voor 2027). Het uitvoeringsprogramma bevat verschillende acties om de emissies naar het milieu terug te dringen, zoals het 'hoofdlijnenakkoord waterzuivering in de glastuinbouw' en het 'pakket van maatregelen emissiereductie gewasbeschermingsmiddelen open teelten'. Wet- en regelgeving is van toepassing om de emissies van gewasbeschermingsmiddelen te verminderen (bijvoorbeeld activiteitenbesluit milieubeheer). Daarnaast draagt – als gevolg van nieuwe wetenschappelijke inzichten – het steeds strengere toelatingsbeleid bij aan minder emissies van (schadelijke) gewasbeschermingsmiddelen en een meer natuurinclusieve productie.

Bandbreedte impact maatregelen

Maatregelen op het vlak van gewasbescherming kunnen op de eerste plaats milieuwinst geven door het principe van minder gebruik, preciezer toedienen, meer mechanische onkruidbestrijding en geïntegreerde gewasbescherming. Het gebruik van chemische middelen en emissies daarvan naar het milieu kunnen daardoor verder afnemen. Natuurinclusieve en biologische landbouw met mengteelten en natuurlijke

bestrijding van ziekten en plagen kan in dit verband beschouwd worden als de hoogste gradatie, omdat chemische bestrijdingsmiddelen hierin niet worden toegepast.

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Er is een duidelijke relatie tussen gewasbescherming en gewaskeuze en teeltmethoden. Zoals aangegeven, kan bijvoorbeeld strokenteelt en pixellandbouw in combinatie met functionele agrobiodiversiteit bijdragen aan meer mogelijkheden voor natuurlijke plaagbestrijding. Hetzelfde geldt voor het natuur- en landschapsbeheer. De relatie met bodembeheer is ook evident, omdat er veel bodemgebonden ziekten en plagen zijn, waar een goed bodembeheer en bodembiodiversiteit potentieel ook een bijdrage aan kunnen leveren. Daarnaast is de gewasgezondheid natuurlijk ook sterk afhankelijk van voldoende nutriënten (bemesting) en water (waterbeheer). Gezonde en goed groeiende planten zijn namelijk ook weer minder vatbaar voor ziekten en plagen en kunnen beter concurreren met onkruiden. Een integrale blik op een goede gewasgroei is dus een essentieel onderdeel van gewasgezondheid en daarmee de benodigde gewasbescherming.

Mogelijke afwenteling

De reden dat veel akkerbouwers graag gebruikmaken van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen, is dat ze vaak effectief en tijdsefficiënt zijn. Het verbieden of reduceren van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen kan dus leiden tot hogere arbeidskosten en daarnaast ook tot een lagere gewasopbrengst en kwaliteit indien er geen goede alternatieven beschikbaar zijn. Verder kan een hoger aandeel mechanische onkruidbestrijding zorgen voor meer water- en winderosie op daarvoor gevoelige grond, omdat deze vaker losgetrokken wordt; al hoeft dit zeker niet altijd een probleem te zijn.

3.3 Bemesting

Beschrijving bedrijfsonderdeel

Voor een goede gewasgroei is bemesting noodzakelijk in de vorm van dierlijke mest of kunstmest. Als dierlijke mest wordt vaak varkensdrijfmest toegepast, omdat het aanbod van hoogwaardigere rundveedrijfmest beperkt beschikbaar is; regionaal kan dit overigens nogal verschillen. De huidige mestwetgeving maakt het niet voor alle gewassen mogelijk om met alleen dierlijke mest volledig te voorzien in de nutriëntbehoefte. Voor een juiste dosering en een goede balans tussen N- en P-gift kan aanvullend kunstmest gebruikt worden. Het nadeel van kunstmest is dat de (industriële) productie van stikstofkunstmest veel energie vraagt en dat mineralen zoals fosfor en kalium eindig zijn. De hoeveelheid meststoffen die akkerbouwers mogen gebruiken, is wettelijk geregeld.

Op perceelniveau betekent duurzame bemesting toepassing van de juiste gift, met de juiste meststof, op de juiste plaats en op het juiste tijdstip. Elk perceel en elk gewas vragen een eigen bemestingsstrategie. De bemesting dient gericht te zijn op de toediening van alle voedingsstoffen voor de plant en het op peil brengen/houden van de bodemvruchtbaarheid, rekening houdend met de nalevering van nutriënten vanuit de bodem. De efficiëntie van voedingsstoffen neemt toe bij goede biologische en fysische bodemeigenschappen, waarvoor onder meer bekalken, beheer van organische stof en de wijze van grondbewerking van belang zijn.

Duurzame bemesting begint bij een optimale inzet van dierlijke mest (onder de huidige omstandigheden van de mestmarkt) als basisvoorziening van de benodigde nutriënten. De organische stof van dierlijke mest verbetert de bodemstructuur en stimuleert het bodemleven. Naast de basisbemesting met dierlijke mest blijft extra bemesting van vooral stikstof nodig, afhankelijk van de bodemtoestand en de dynamiek in nutriëntenlevering, de mestgift en het opbrengstniveau. Minerale meststoffen kunnen op maat worden samengesteld en voorzien in de specifieke behoeften aan de verschillende voedingsstoffen. In Tabel 4 staan de maatregelen opgesomd, die uit inventarisatie naar voren komen.

Tabel 4 *Maatregelen inventarisatie akkerbouwbedrijven – Bemesting.*

36	Precisiebemesting (aanpassen op de behoefte van het gewas)/minder kunstmest/rijenbemesting/ fertigatie (betere plaatsing van mestgiften)
37	Tijdstip van mestaanwending/najaarsbemesting aanpassen/periode waarin mest kan worden toegediend (betere timing van mestgiften)
38	Toepassing van nitrificatieremmers in kunstmest (10% reductie N ₂ O-emissie) en toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof
39	N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, beperkte verlaging kunstmestgift (met 15 kg N/ha) door teelt van stikstofbindende eiwitgewassen
40	Toedienen van organische meststoffen (stromest/compost/bokasi/biochar) i.p.v. kunstmest
41	Toepassen van sloot- en bermmaaisel als organische stof (evt. na composteren), gecombineerd met minder gebruik van mest (dus de N/P-werking van de compost compenseren)
42	Hergebruik van stikstof en fosfor uit slootbagger (kwaliteitsbaggeren), gecombineerd met minder gebruik van mest (dus de N- en P-werking van bagger compenseren)
43	Extensiveren, beneden de landbouwkundige norm bemesten, biologisch, biologisch dynamisch
44	Afval- en reststoffen als mest gebruiken
45	Minder N bemesten
46	Verkorten van de uitrijdperiode van dierlijke mest in het najaar en het voorjaar later bemesten dan vanaf de toegestane datum
47	In het najaar geen of nauwelijks dierlijke mest gebruiken
48	Bemesten in aansluiting op de kwaliteit van de bodem op basis van bodemanalyse en verdelen van mest over percelen conform bemestingsadvies
49	Verdunnen van drijfmest voor het uitrijden met water
50	Beperken van de dierlijke mestgift en eventueel bijmesten met kunstmest of bewerkte ('groene') mest
51	In het voorjaar minerale meststoffen gebruiken met een hoog ammoniumgehalte (>75%)
52	Bijmesten met vloeibare N-meststoffen
53	(Kunst)mestgift afstemmen op mineralisatie door extra te bemonsteren
54	Beginnen met kunstmest bij temperatuursom boven de 180 ^o C-dagen (als er voldoende warmte is geweest voor herstart van gewasgroei)
55	Optimaliseren van de Ph- en Ca/Mg-verhouding voor de gewasproductie
56	Hergebruiken van fosfor en stikstof uit slootbagger (via een baggerpomp)
57	Fertigatie en/of druppelirrigatie toepassen
58	Ruwe, storrige mest of compost in plaats van drijfmest gebruiken
59	Telen van meer vlinderbloemige gewassen (N-vastlegging)
60	Stikstofefficiëntie verbeteren, verbeteren circulariteit
61	Afvoeren en composteren biomassa
62	Gestabiliseerde stikstof gebruiken
63	Bemestingsplan, in combinatie met bemonstering bodem en metingen aan het gewas
64	Meteo- en grondwater gestuurd bemesten (managementsysteem)

Relatie met milieudoelen

Bemesting raakt in sterke mate aan de vier urgente milieuthema's. Hoewel ammoniak vooral veehouderij-gerelateerd is, is de akkerbouw ook onderdeel van dit systeem doordat dierlijke mest aangewend wordt. In 2015 betrof dit ongeveer 25% van de dierlijke mest (Kros et al., 2018). Bemesting, zowel met dierlijke mest als kunstmest, draagt in belangrijke mate bij aan de uitstoot van broeikasgassen in de vorm van lachgas en CO₂. Uitspoeling van meststoffen zorgt voor verontreiniging van grond- en oppervlaktewater, ook wel bekend als vermessing, waardoor de ecologische kwaliteit van het water in het geding komt. Stikstofdepositie en vermessing hebben hierdoor weer grote gevolgen voor natuur en biodiversiteit.

In de (gangbare) akkerbouw is naast lachgasemissies een groot deel van de broeikasgasemissies afkomstig van de (stikstof)kunstmestproductie. Hoewel dit formeel gekoppeld is aan emissiecijfers van de industrie, is dit toch een grote uitstootbron, die met het oog op de klimaatdoelstellingen zo veel mogelijk verminderd moet worden.

Bandbreedte impact maatregelen

De milieumaatregelen in relatie tot bemesting bij akkerbouw (Tabel 4) richten zich enerzijds op een meer precieze en efficiënte bemesting (bv. precisiebemesting, fertigatie) en anderzijds op het (her)gebruik van

nieuwe vormen van meststoffen (organische meststoffen en afvalstromen). Meer dierlijke mest en compost toedienen aan bouwland is een maatregel om organische stof toe te dienen. De gebruiksnormen stellen een maximum aan de hoeveelheid organische meststoffen die aan bouwland kunnen worden toegediend. De gebruiksnormen voor stikstof uit dierlijke mest worden vaak niet opgevuld in de akkerbouw, omdat de fosfaatruimte meestal limiterend is. Er zijn binnen de huidige gebruiksnormen weinig mogelijkheden om meer organische stof via dierlijke mest en compost toe te dienen. Wel kan er meer organische stof aan de bodem toegevoegd worden via het achterlaten van gewasresten en het gebruik van groenbemesters.

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Voor een goede gewasproductie staat bemesting niet op zichzelf, maar in wisselwerking met de locatie-specifieke kenmerken en managementvaardigheden van de ondernemer. De bemestingsstrategie heeft voornamelijk een sterke relatie met de gewaskeuze en het bodembeheer. Het doel van bemesting is uiteindelijk om te voorzien in de nutriëntbehoefte van gewassen, welke sterk afhangt van het gewas. Daarnaast is bemesting ook direct verbonden aan bodembeheer en hebben zeker maatregelen rondom organische bemesting ook vaak een positief effect op de bodemkwaliteit.

Mogelijke afwenteling

Een lagere stikstofbemesting met kunstmest en/of dierlijke mest door verlaging van de gebruiksnormen zal tot minder stikstofemissies van ammoniak, nitraat en lachgas uit de bodem leiden. Opgemerkt wordt hierbij dat de stikstofgebruiksnormen al vaak onder het landbouwkundig advies liggen (met name in het zuidelijke zand- en lössgebied) en dat een verdere verlaging ertoe kan leiden dat bepaalde gewassen minder rendabel geteeld kunnen worden door een verlaging van de productiviteit. Dit kan leiden tot structurele veranderingen in de landbouw (zoals andere en/of extensievere gewassen) die weliswaar in potentie, maar niet per definitie gunstig hoeven uit te pakken voor reductie van stikstofemissies.

Het beperken van de uitrijdperiode van mest is een maatregel om het risico op uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat te beperken. Ook de emissie van lachgas zal daardoor worden beperkt. Verkorten van de uitrijdperiode (nu ongeveer half februari-1 september) leidt ertoe dat mest langer moet worden opgeslagen. Er is dan meer mestopslagcapaciteit nodig en de emissies van ammoniak en methaan (en lachgas bij vaste mest) uit de mestopslag nemen daardoor toe. In het algemeen kan gesteld worden dat het beperken van de uitrijdperioden leidt tot mesttoediening in warmere omstandigheden (gedurende het teeltseizoen) en daardoor tot een hogere ammoniakemissie.

Het verlagen van de gebruiksnorm dierlijke mest en/of die van stikstof en fosfaat leidt landelijk, bij een gelijkblijvende veestapel, tot een groter mestoverschot. In potentie kan dit leiden tot afwentelingen (bijvoorbeeld extra opslag van mest of bewerkte mest) en de fraudedruk verhogen. Het kan ook leiden tot krimp van de veestapel en daarmee tot lagere stikstofemissies of tot meer mestverwerking en producten die elders kunnen worden afgezet. Als een hoger mestoverschot leidt tot meer mestexport naar België of Duitsland en deze geëxporteerde mest wordt toegepast in gebieden grenzend aan Nederland, kan er van deze mest nog steeds een negatief effect op stikstofdepositie in Nederland optreden.

3.4 Bodembeheer

Beschrijving bedrijfs onderdeel

Bij bodembeheer wordt meestal gekeken naar zowel de fysische, chemische als biologische bodemkwaliteit, en daarmee dus de bodemstructuur, -vruchtbaarheid en biodiversiteit. Het organischestofgehalte in de bodem heeft effect op al deze drie aspecten. In het Nationaal Programma Landbouwbodems is het doel gesteld om in 2030 alle landbouwbodems duurzaam beheerd te hebben. Omdat in paragraaf 3.3 al in is gegaan op de bemesting, en daarmee de meeste chemische aspecten van bodemkwaliteit al behandeld zijn, gaat dit deel van bodembeheer met name in op de bodemfysiologie en -biologie. Al jarenlang wordt er gewerkt aan een beter bodembeheer via verschillende landelijke projecten, zie ook: [beterbodembeheer.nl](https://www.beterbodembeheer.nl).

Het creëren en behouden van een goede bodemstructuur is cruciaal voor een geslaagde en weerbare teelt, omdat dit de gewassen de ruimte geeft om goed te wortelen en daarmee nutriënten en water op te nemen uit de verschillende bodemlagen. Om ondergrondverdichting te voorkomen, kunnen maatregelen genomen

worden die de druk op de bodem verlagen, zoals vaste rijpaden, lichtere machines, lichtere grondbewerking en lagere bandendruk (zie Tabel 5). Daarnaast kan het telen van diep wortelende gewassen en groenbemesters en het verhogen van het organischestofgehalte bijdragen aan een betere bodemstructuur. Hierbij is ook direct een sterke link met de bodembiodiversiteit, want die heeft ook baat bij een hogere organischestofgehalte en groenbemesters, maar ook een minder intensieve grondbewerking. Een betere bodemstructuur en bodembedekking zal daarnaast ook zorgen voor een lager erosierisico.

Tabel 5 *Maatregelen akkerbouwbedrijven i.r.t. bodembeheer.*

65	Verhogen van het bodem-organischestofgehalte voor een hogere bodemvruchtbaarheid, meer koolstofvastlegging, meer waterbindend vermogen en meer (bodem)biodiversiteit
66	Gewasresten achterlaten (ten behoeve van bodem-koolstofvastlegging) (hoge C/N-verhouding)/stro inwerken in de bodem
67	Opstellen van organischstofbalansen en zo nodig strorijke mest toevoegen, compost of andere OS-verhogende bronnen
68	Toevoegen van zaagsel of stro aan mest of composteren van mest voor meer organische stof in de bodem
69	NKG (niet-kerende grondbewerking)/gereduceerde/beperkte grondbewerking (directe zaai) toepassen in plaats van ploegen
70	Minder zware grondbewerking uitvoeren om verdichting van de bodem te voorkomen (inzet robots, drones, minder zware machines, bandendruk wisselsysteem, brede banden)
71	Ploegen met een eco-ploeg, zo nodig met mechanische voorbewerking
72	Voorkomen van insporing door lage bandenspanning, bodem niet bewerken onder natte omstandigheden
73	Sleepslangbemesting toepassen (bij voorkeur met lage bandendruk) voor behoud bodemstructuur
74	Gebruiken van vaste rijpaden op percelen met behulp van gps
75	Inzetten van bodemverbeteraars voor een betere bodemstructuur
76	Terrassen aanleggen als percelen aflopen
77	Bewerken van de grond haaks op de helling (als een perceel afloopt)
78	Een combinatie van ondiep en diep wortelende grassoorten en (rust)gewassen toepassen
79	Egaliseren van laagtes in percelen (om natte delen op te heffen en het water voor het hele perceel te benutten)
80	Verbeteren de bodemstructuur door het toepassen van bodemverbeterende middelen
81	Stimuleren bodemleven (wormen, pH hoog houden(bekalken), gewaskeuze etc.)

Relatie met milieudoelen

Een beter bodembeheer heeft geen heel directe effecten op de urgente doelen, maar het biedt wel een hoop mogelijkheden. Een betere bodemstructuur zorgt voor een betere doorwortelbaarheid en daarmee kunnen gewassen beter groeien en beter water en nutriënten uit diepere lagen opnemen. Dit kan de N-uitspoeling verminderen en dit kan, zeker in combinatie met diep wortelende gewassen en groenbemesters, positief uitpakken voor de waterkwaliteit. Een beter bodembeheer zal daarnaast leiden tot een betere bodembiodiversiteit, wat landbouw en natuur kan helpen verbinden, en daarmee een (kleine) bijdrage levert aan de natuurdoelen. Daarnaast kan het verhogen van het organischestofgehalte bijdragen aan koolstofopslag in de bodem en daarmee bijdragen aan de klimaatdoelen en doelen van koolstofopslag. Al blijkt uit de metingen van Slim Landgebruik (slimlandgebruik.nl) dat gereduceerde grondbewerking in de Nederlandse omstandigheden niet direct leidt tot koolstofopslag in de bodem. Het gebruik van compost en vaste mest wel, maar deze zijn vaak beperkt beschikbaar voor akkerbouwers.

Bandbreedte impact maatregelen

Een betere bodemkwaliteit levert ook voor de landbouwkundige productie directe voordelen op en maakt de productie ook weerbaarder in omgang met piekbuien en droogtes (klimaatadaptatie). Een aantal maatregelen is makkelijk toepasbaar, maar andere maatregelen vergen wel een verandering in de manier van werken en/of een aanpassing in de mechanisatie en machinepark, wat dus investeringen met zich meebrengt.

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Goed bodembeheer vormt de basis voor een duurzame akkerbouw en heeft dus een sterke relatie met de meeste bedrijfsonderdelen. De gewaskeuze en het bouwplan bepalen mede welke bodembewerkingen er nodig en mogelijk zijn. Gewasbescherming richt zich deels op bodemgebonden ziekten en plagen die met een goed bodembeheer ook aangepakt kunnen worden. De bemesting, en met name organische, heeft een effect op de bodemstructuur en biodiversiteit. Daarnaast gaat een goed bodembeheer hand in hand met een goed waterbeheer.

Mogelijke afwenteling

De afwenteling van bodembeheer lijkt redelijk klein. Sommige maatregelen zullen investeringen (mechanisatie) of kosten (compost) met zich meebrengen. Meer organische mest en gewasresten kunnen een risico vormen voor hogere lachgasemissies, maar een betere bodemstructuur kan dit risico ook weer verlagen. Minder intensieve grondbewerking kan leiden tot een hogere onkruiddruk, wat kan leiden tot hoger herbicidegebruik, al bestaat in veel gevallen de mogelijkheid om dit mechanisch op te lossen.

3.5 Waterbeheer

Beschrijving bedrijfs onderdeel

Waterbeheer is in Nederland altijd al belangrijk geweest om akkerbouw mogelijk te maken. Waar traditioneel de focus ligt en lag op het zo snel mogelijk afvoeren van (regen)water, wordt het door de klimaatverandering ook steeds belangrijker om water vast te houden. Hier kan een trade-off ontstaan, omdat zowel periodes van (extreme) droogte toenemen (= water willen vasthouden) als piekbuien met extreme regenval frequenter voorkomen (= water willen afvoeren). Tegelijk heeft er tijdens de afgelopen droge jaren veel beregening plaatsgevonden om gewassen in leven te houden en productie te redden. In sommige gebieden waren er zelfs beregeningsverboden ingesteld om de natuur en grondwaterpeilen te beschermen. Waterbeschikbaarheid blijft echter cruciaal voor gewasgroei en een (hoog)productieve landbouw. Dit komt door de klimaatverandering steeds verder onder druk te staan.

De maatregelen rondom waterbeheer (Tabel 6) zijn o.a. gericht op het verhogen van de waterbeschikbaarheid, efficiënter omgaan met water, hergebruik van water, waterkwaliteit en waterecologie.

Tabel 6 *Maatregelen inventarisatie akkerbouwbedrijven – Waterbeheer.*

82	Op maat beregenen
83	Vasthouden van regenwater in de bodem; waterretentie, waterberging (bovengronds of ondergronds)
84	Zomer- en winterpeilen verhogen/opzetten of verlagen
85	Dynamisch grondwaterpeilbeheer toepassen
86	Drainagesysteem aanpassen (toepassen onderwaterdrainage, regelbare drainage of opheffen drainage)
87	Reduceren van oppervlakkige afspoeling
88	Reactieve barrières, drainage water behandelen om afspoeling van mineralen te voorkomen
89	Boerenstuwen gebruiken om water vast te houden
90	Drainagewater opnieuw benutten
91	Hemelwater opslaan in bassin, vijver of plas, eventueel door af te koppelen, en het water zo mogelijk opnieuw gebruiken
92	Gebruikmaken van regelbare, peilgestuurde of onderwaterdrainage
93	Gebruiken van gerichte watergeefsystemen (bv. druppelirrigatie)
94	Drainagebasis in detailwatergangen (niet beekdalen) verhogen om water langer vast te houden in vrij afwaterende gebieden
95	Beperken van afspoeling door o.a. aanleg van infiltratiegreppels, drempels en door het verruigen van ruggen
96	Kunstmatige infiltratie toepassen bij gebiedseigen zoetwateroverschot ter aanvulling van de zoetwatervoorraad
97	Landbouwgrond beschikbaar stellen voor bovenwettelijke waterberging op perceel
98	Restwater van derden opnieuw benutten
99	Ecologisch maaien en onderhouden van sloten en slootkanten
100	Aanleggen en beheren van droge en natte bufferstroken
101	Gebruikmaken van natuurvriendelijke oevers en/of waterbergingsoevers
102	Gebruiken van helofytenfilters in of nabij watergangen
103	Zuiveren van drainagewater
104	Creëer van bezinkplaatsen in greppels in overleg met het waterschap
105	Herstellen van waterbronnen
106	Opvangen van hemelwater en gebruiken bij reinigen van machines
107	Water minder snel afvoeren/vasthouden in sloten om vochttekorten in droge perioden te verminderen
108	Efficiëntere irrigatietechnieken en -management (drip, beregeningssignaal, sensoren etc.) gebruiken
109	Gebruiken van beslissingsondersteunende systemen voor beregening
110	Nitraat terugwinnen uit beregeningsputten met hoog nitraatgehalte
111	Telen op folie zodat regenwater kan worden hergebruikt

Relatie met milieudoelen

Het waterbeheer heeft een sterke relatie met de doelen van de KRW rondom waterkwaliteit en grondwateraanvulling. Al moet gezegd worden dat de meeste maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren al in de eerdere bedrijfsonderdelen aan bod zijn gekomen, welke gaan over gewasbescherming, bemesting, gewaskeuze en bodembeheer. Zeker voor het behalen van de doelen voor nitraat in het grondwater zal de combinatie van bemesting en gewaskeuze een veel grotere rol spelen dan het waterbeheer zelf. Tenzij je denkt aan end-of-pipe-oplossingen om drainwater te zuiveren of te hergebruiken, maar dat is meer symptoombestrijding en geen integrale aanpak. Voor voldoende aanvulling van het grondwater zijn enerzijds de maatregelen die bijdragen aan een hogere waterinfiltratie en minder (snelle) afvoer van belang, anderzijds de maatregelen om efficiënter te beregenen en dus minder oppervlaktewater of grondwater hiervoor te gebruiken. Dit kan beide direct en indirect bijdragen aan een verhoogde aanvulling van het grondwater.

Het waterbeheer heeft niet direct een sterke relatie met de ammoniakdepositie, al is het waterbeheer wel van belang in veel natuurgebieden. Op minerale gronden heeft het waterbeheer ook geen sterke relatie met de klimaatdoelen. Op de veengronden is het waterbeheer wel van belang voor reductie van broeikasgasemissies, maar daar is voornamelijk melkveehouderij.

Bandbreedte impact maatregelen

Als een beter waterbeheer ook zorgt voor voldoende waterbeschikbaarheid voor de gewassen, zal dit ook voordelig zijn voor de landbouwkundige productie. De maatregelen lopen uiteen van technische maatregelen, zoals druppelirrigatie en peilgestuurde drainage, tot beheersmaatregelen, zoals dynamisch grondwaterpeilbeheer en ecologisch slootkantenbeheer. Er is hierbij veel verschil in hoe makkelijk ze te implementeren zijn. Het aanleggen van peilgestuurde drainage, druppelirrigatie en bijvoorbeeld wateropvangbassins vergt een flinke investering, die beetje bij beetje terugverdiend kan worden. Maatregelen als peilbeheer van sloten en ecologisch slootkantenbeheer zijn makkelijker te implementeren en kunnen ook makkelijker weer aangepast of gestopt worden.

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Waterbeheer heeft voornamelijk een relatie met de gewaskeuze en ook enigszins met het bodembeheer. Aangezien het waterbeheer veelal gericht is op gewasgroei, speelt de gewaskeuze hierin een grote rol. Dieper wortelende gewassen of wintergewassen (bv. wintergranen, winterpeulvruchten) zullen bijvoorbeeld minder last hebben van zomerse droogte dan oppervlakkig wortelende gewassen (bv. aardappel, ui, peen). Dat betekent ook direct dat deze laatste gewassen een hogere beregeningsbehoefte hebben, al helemaal omdat dit vaak ook cash crops zijn en een misoogst dus zeer ongewenst is.

Een goede bodemkwaliteit en voornamelijk een goede bodemstructuur kan ook voordelig zijn voor het waterbeheer, omdat dit kan bijdragen aan een betere infiltratie en watervasthoudend vermogen.

Mogelijke afwenteling

De grootste tweestrijd rondom waterbeheer zitten hem rondom het water willen vasthouden om droogte tegen te gaan, en water willen afvoeren om wateroverlast te voorkomen. Dit laat zich sociaal-maatschappelijk voelen, maar zeker ook voor landbouwproductie. Een gewas met te weinig water zal namelijk een oogstreductie geven, maar een gewas met wateroverlast ook. Een andere afwenteling zijn de kosten die gemaakt moeten worden voor technologische investeringen in het watersysteem, bijvoorbeeld druppelirrigatie en peilgestuurde drainage. Als de droge zomers blijven voorkomen, dan kunnen deze investeringen zich waarschijnlijk wel terugverdienen. Dit soort investeringen is wel eerder de moeite waard als er hoogwaardige cash crops geteeld worden.

3.6 Natuur- en landschapsbeheer

Beschrijving bedrijfs onderdeel

Ongeveer 28% van de landbouwgrond in Nederland is akkerbouwgrond (CBS, 2018) en dit is zeer bepalend voor het Nederlandse landschap. Het aandeel is veel hoger in de typische akkerbouwgebieden op de zeekleigronden van Noord- en Zuidwest Nederland en de IJsselmeerpolders.

In tegenstelling tot de hiervoor besproken bedrijfsonderdelen, waaruit blijkt dat de impact van de akkerbouwbedrijfsvoering vaak negatief uitpakt voor biodiversiteit, is het ook mogelijk om gerichte maatregelen te treffen om biodiversiteit van het agrarisch gebied te versterken (zie Tabel 7). Daarbij moet gedacht worden aan maatregelen die gericht zijn op de groenblauwe dooradering van het agrarisch gebied in de vorm van de aanleg van natuurlijke bufferstroken en akkerranden die aan de agrarische productie worden onttrokken.

De beleidsmatige aandacht van het agrarisch natuurbeheer begint in 1975 met de Nota betreffende de relatie tussen landbouw en natuur- en landschapsbehoud. De kritiek door de jaren heen is geweest dat de uitvoering van het agrarisch natuur- en landschapsbeheer onvoldoende effectief is voor de instandhouding van soorten. Per 1 januari 2016 is met het Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer (ANLb) een nieuw stelsel ingevoerd. De kern hiervan is een leefgebiedenbenadering voor (dier)soorten van internationaal belang op basis van een collectieve, gebiedsgerichte aanpak. Het verschil met het eerdere stelsel zit hem in de collectieve, gebiedsgerichte aanpak. In plaats van met individuele boeren worden in het nieuwe stelsel afspraken gemaakt met 'gebiedscollectieven'. In 2020 wordt het ANLb uitgevoerd door ca. 40 collectieven met ruim 8.000 deelnemende boeren, waarvan 1200 (=15%) akkerbouwers (bron: CBS). Overigens blijkt uit de cijfers dat kleinere akkerbouwbedrijven naar verhouding vaker aan agrarisch natuur- en landschapsbeheer doen dan de grote.

Tabel 7 *Maatregelen inventarisatie akkerbouwbedrijven – Natuur- en landschapsbeheer.*

112	Akkerranden (meerjarig) realiseren
113	Vogelakkers (meerjarig) realiseren
114	Versterken van de groenblauwe dooradering
115	Landschapselementen aanleggen en onderhouden, inclusief binnenveldse elementen en landschapselementen verbinden
116	Natuurvriendelijke oevers en slootkantbeheer toepassen
117	Extensieve landbouw in overgangszones met natuur of N2000 toepassen
118	Bufferstroken in beekdalen realiseren
119	Weidevogelbeheer toepassen
120	Soortenspecifieke maatregelen (nestkasten- of vlotjes, erfbeplanting etc.) nemen
121	Stapelmuurtjes, houtstapels en andere schuilplaatsen realiseren
122	Bijenhouderschap als versterking van de biodiversiteit in kwetsbare zones

Relatie met milieudoelen

Agrarisch natuur- en landschapsbeheer op akkerbouwbedrijven heeft vooral impact op de urgente doelen van water en natuur. Natuurlijk ingerichte stroken langs watergangen kunnen als buffer voor minder afspoeling zorgen, naast een versterking van de biodiversiteit ter plekke. Bufferstroken en akkerranden kunnen daarnaast ook een bijdrage leveren aan de opslag van bodemkoolstof en kunnen daarmee bijdragen aan de doelen voor klimaat.

Bandbreedte impact maatregelen

Bufferstroken langs slootranden lijken een effectieve manier om het oppervlaktewater te ontlasten van nutriënten vanuit de aangrenzende percelen ([Stowa, 2018](#)). Voor effectief agrarisch natuur- en landschapsbeheer is vaak ruimtelijke samenhang nodig tussen wat individuele boeren doen. Onderzoekers pleiten voor een integrale en participatieve strategie van monitoring en leren in het agrarisch natuur- en landschapsbeheer ([Westerink, 2009](#)).

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Agrarisch natuur- en landschapsbeheer op akkerbouwbedrijven, langs randen van percelen die niet voor productie worden gebruikt, zijn een redelijk op zichzelf staand bedrijfsonderdeel. Naast een positieve bijdrage aan biodiversiteit kunnen akkerranden ter plekke ook een bijdrage leveren aan koolstofvastlegging.

Mogelijke afwenteling

De grond die voor agrarisch natuur- en landschapsbeheer uit productie wordt genomen, betekent een afwenteling van de productie naar grond elders (uitgaande van gelijkblijvend productie volume), maar vaak

zijn het 'overhoekjes' of stukken die voor agrarische productie minder optimaal zijn, zoals heel natte of juist droge plekken.

3.7 Bedrijfsmanagement

Beschrijving bedrijfs onderdeel

Het bedrijfsmanagement omvat alle keuzes die een boer maakt, op de eerste plaats met het oog op de landbouwproductie. Keuzes die vanzelfsprekend ook grote gevolgen hebben voor de milieu-impact van die productie. Aanvullend zijn ook managementmaatregelen en -systemen mogelijk om de milieu-impact van de productie te minimaliseren (zie Tabel 8). Automatisering en de inzet van technologie om agro-ecologische principes te ondersteunen of sensoren die de conditie van de bodem meten voor bemestingsadvies bieden in dit verband veel perspectieven voor bijvoorbeeld precisiebemesting en -gewasbescherming en het verlagen van de milieubelasting van de landbouw. Ook het toepassen van managementsystemen zoals de mineralenbalans, stoffenbalans of kringloopwijzer kan nuttige informatie verschaffen om de milieubelasting op bedrijfsniveau te reduceren. En het systeem van Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's) dat momenteel in ontwikkeling is, biedt onder het motto 'meten is weten' goede perspectieven.

Tabel 8 *Maatregelen inventarisatie akkerbouwbedrijven – Bedrijfsmanagement.*

123	Automatiseren, inzetten van slimme technologie die agro-ecologische principes ondersteunen, sensoren die de conditie van de bodem meten en de boer bemestingsadvies geven, schoffel- en wiederebots, automatische ziekte- en onkruidherkenning en plaats-specifieke behandelingen met gps op de machines of met robots
124	Toepassen van ondersteunende systemen zoals Mineralenbalans/Afrekenbare Stoffen Balans/KPI's
125	Oogstresten of restproducten afzetten als grondstof voor biobased producten
126	Gemengde circulaire bedrijfssystemen (combinatie van akkerbouw en veeteelt, nieuw gemend bedrijf)

Relatie met milieudoelen

Voor alle (urgente) milieudoelen geldt dat maatregelen op het gebied van management, verliezen naar het milieu kunnen terugbrengen. De impact zal echter afhangen van kennis, keuzes en handelen van individuele boeren. Het verplicht stellen van bijvoorbeeld een systeem van KPI's of een stoffenbalans zou in dit verband effectief kunnen zijn als dit in combinatie is met afrekenbare doelen waar individuele bedrijven aan moeten voldoen. Hoe een afrekenbare stoffenbalans voor akkerbouwbedrijven kan worden ingezet, is overigens nog verre van concreet en nog volop in ontwikkeling; zie onder meer Spijkerman et al. (2021). Bovendien zijn er bij een mogelijke invoering nog tal van juridische hobbels; zie onder meer "Onderzoek naar de mogelijkheden van een Afrekenbare Stoffen Balans voor de melkveehouderij" (Vellinga en De Haan, 2022).

Bandbreedte impact maatregelen

Het is moeilijk om aan te geven hoe groot de impact van managementmaatregelen kan zijn, ofwel er is een hele grote bandbreedte. Een verplichte afrekenbare stoffenbalans waarbij boeren financieel worden beloond als zij erin slagen hun milieubelasting omlaag te brengen, lijkt op voorhand een grote impact te kunnen hebben.

Relatie met andere bedrijfs onderdelen

Managementmaatregelen zijn van toepassing bij alle van de hiervoor genoemde bedrijfs onderdelen. Bij het verder doorontwikkelen van ondersteunende systemen zal de integraliteit van het systeem dat wordt toegepast een belangrijk uitgangspunt moeten zijn, zowel wat betreft de verschillende bedrijfs onderdelen als de afzonderlijke milieudoelen/-thema's, om afwenteling op wat voor manier dan ook te voorkomen.

Mogelijke afwenteling

Verplicht stellen van een managementsysteem, zoals de afrekenbare stoffenbalans, vraagt ook om na te denken over het voorkomen van misbruik. Bij onvoldoende draagvlak is de kans op fraude en misbruik groter dan wanneer alle gebruikers zijn overtuigd van nut en noodzaak.

3.8 Erf en gebouwen

Beschrijving bedrijfsonderdeel

Voorgaande bedrijfsonderdelen hadden betrekking op het grondgebruik en milieumaatregelen die akkerbouwers op percelen kunnen nemen om de milieubelasting te verlagen. Op het agrarisch erf zijn daarnaast ook maatregelen denkbaar die kunnen bijdragen aan de urgente doelen (zie Tabel 9). Voor akkerbouwbedrijven valt daarbij onder meer te denken aan bijvoorbeeld een wasplaats met zuiveringssysteem voor de reiniging van machines voor gewasbescherming, om te voorkomen dat chemische middelen worden geloosd op het riool. Ook ten aanzien van energiegebruik en gebouwen kunnen maatregelen worden genomen, bijvoorbeeld door het energieverbruik omlaag te brengen, duurzame energie op te wekken of gebruik te maken van circulaire bouwmaterialen zoals hout in plaats van staal en beton. Ten slotte kunnen op het erf gerichte maatregelen worden ondernomen voor vogels (zoals nestkasten) of voor vleermuizen en dergelijke.

Tabel 9 Maatregelen akkerbouwbedrijven – Erf en gebouwen.

129	Circulaire bouwmaterialen toepassen (hout i.p.v. beton en staal)
130	Energiezuinige verlichting toepassen (bijvoorbeeld led)
131	Gebruik van hernieuwbare energie (windmolens, zonnepanelen op daken)
132	Op diesel rijdende voertuigen vervangen door elektrische voertuigen (bijvoorbeeld minishovel)
133	Water gecontroleerd van het erf afvoeren om de kwaliteit van het grondwater niet negatief te beïnvloeden
134	Groene erfbeplanting aanleggen
135	Natuurwaarden te versterken via bijvoorbeeld erfbeplanting, nestkasten en dergelijke

Relatie met milieudoelen

De maatregelen die in Tabel 9 zijn opgesomd dragen bij aan de doelen voor klimaat, water en natuur.

Bandbreedte impact maatregelen

De impact van maatregelen lijkt relatief beperkt en ondersteunend.

Relatie met andere bedrijfsonderdelen

Geen heel duidelijke relatie met andere bedrijfsonderdelen.

Mogelijke afwenteling

Geen duidelijke risico's op afwenteling, behalve de investeringskosten.

3.9 Synthese akkerbouw

In onderstaande paragraaf worden de vier milieudossiers besproken, gevolgd door een integrale beschouwing – werken maatregelen elkaar tegen of is er juist sprake van onderlinge versterking? Ten slotte wordt nog de koppeling gelegd tussen de milieupgave en de energietransitie.

Ammoniakemissie en depositie

Vergeleken met (melk)veehouderij speelt akkerbouw een beperkte rol in de stikstofproblematiek rond ammoniakemissie en -depositie. De emissie van ammoniak vindt vooral plaats door de aanwending van dierlijke mest, kunstmest en bij afrijping of gewasresten die op het veld blijven liggen. Het verdergaand optimaliseren van de mesttoediening kan leiden tot een verlaging van de ammoniakemissie. Voorbeelden zijn het toepassen van vloeibare kunstmest, verdunnen van drijfmest of teelt van vlinderbloemige gewassen, die voor een belangrijk deel zelf de stikstof uit de lucht kunnen binden. Maximale inzet op kunstmest zou mogelijk tot iets lagere emissies kunnen leiden, maar dat leidt tot broeikasgasemissies bij de productie ervan. Daarnaast levert maximaal gebruik van dierlijke mest of andere organische meststoffen juist een bijdrage aan kringlooplandbouw en ook aan de bodemvruchtbaarheid, doordat aanvoer van organische stof plaatsvindt. Daarbij is de beschikbaarheid van verschillende producten met verschillende minerale

samenstelling van belang, zodat via dierlijke mest aan een groot deel van de gewasbehoefte kan worden voldaan.

Het verlagen van het bemestingsniveau met stikstof zorgt voor lagere ammoniak emissies; daarmee wordt echter ook de kans op lagere opbrengsten groter; voor verschillende gewassen ligt de gebruiksnorm voor N-bemesting al lager dan het landbouwkundig optimum. Voor akkerbouwbedrijven nabij kwetsbare natuurgebieden kan een structuurverandering naar een meer extensieve bedrijfsvoering met minder N-input een bijdrage leveren aan de benodigde emissieverlaging.

Klimaat

Ten opzichte van andere landbouwsectoren is de bijdrage van akkerbouw aan de uitstoot van broeikasgassen relatief beperkt. Er vinden echter nog steeds veel emissies plaats van broeikasgassen. De lachgasemissies uit de bodem zorgen hierbij voor de grootste impact. Zeker ook het gebruik van (stikstof)kunstmest draagt voor een groot deel bij aan de CO₂-voetafdruk van de akkerbouw door de hoge energiebehoefte van dit industriële proces. Vervanging van kunstmest door dierlijke mest(producten) kan een bijdrage leveren aan het voorkomen van deze emissies.

Lachgasemissies kunnen verminderd worden door een lagere N-input en hogere N-benutting door gewassen, en mogelijk ook door een betere bodemstructuur. Dit kan ook positieve effecten hebben voor de waterkwaliteit en kan de benodigde N-input uit stikstofkunstmest verlagen, wat ook positief uit kan pakken voor het klimaat. Het lijkt dus de moeite waard om te kijken met welke combinaties van gewaskeuze, bemesting en bodembeheer de stikstofefficiëntie verhoogd kan worden.

De akkerbouw kan daarnaast bijdragen aan een verhoging van de koolstofopslag in de bodem, al is deze al relatief hoog in Nederland. Tot op zekere hoogte kan dit nog wel verhoogd worden binnen het huidige landgebruik, maar er zal altijd een nieuw evenwicht ontstaan in de koolstofbalans van de bodem. Een verhoogd organischestofgehalte in de bodem kan daarbij ook goed uitpakken voor bodem- en waterbeheer en daarmee gewasgroei. Meer organische stof opslag in de bodem kan bereikt worden door gebruik te maken van gewasresten, aanvoer van compost, gebruik van dierlijke mest, meer rustgewassen in het bouwplan en de grondbewerkingen zo minimaal mogelijk te houden.

Water

In een groot deel van de Nederlandse wateren worden de doelen van de KRW nog niet behaald. De akkerbouwsector is hier deels verantwoordelijk voor, en speelt een grote rol wat betreft de N-uitspoeling en nitraatnorm. Het aandeel van akkerbouw hierin is aanzienlijk groter dan van melkveehouderij. De grootste uitdaging voor akkerbouw rondom N-uitspoeling is op uitspoelingsgevoelige gronden, met name de hoge zandgronden, zeker in combinatie met intensieve akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Daarnaast kan het waterbeheer van landbouwgrond ook bijdragen aan het laten infiltreren van regenwater en daarmee aanvullen van grondwater. Het resultaat is afhankelijk van de balans tussen waterafvoer, infiltratie, gewasproductie en watergebruik voor irrigatie of beregening.

Om de N-uitspoeling uit de akkerbouw te voorkomen, lijkt er nog best veel te halen met een passende bemesting en het gebruik van groenbemesters. Daarnaast zullen ook gewassen die efficiënter omgaan met stikstof en water en/of dieper wortelen hieraan bij kunnen dragen. Hierbij ontstaat vaak een trade-off met de financiële kant, omdat hoog salderende gewassen vaak gevoeliger zijn voor uitspoeling. Daarnaast kan er gekozen worden voor het implementeren van bufferstroken, die in veel verschillende vormen en maten kunnen voorkomen.

Een aspect dat niet direct onder een van de bedrijfsonderdelen valt, is het risico van mestfraude. Indien dit leidt tot overmatig gebruik van mest buiten gebruiksnormen kan dit lokaal een grote impact hebben op de waterkwaliteit en andere emissies.

Natuur

Om ook de natuurkwaliteit buiten bestaande natuurgebieden te verhogen, kunnen zowel akkerbouw als melkveehouderij een belangrijke rol spelen. Hierboven is al ingegaan op emissies uit de akkerbouw, bij de

doelen rondom ammoniakdepositie en waterkwaliteit. Daarnaast kan ook bij de bedrijfsvoering en inrichting van percelen een meer natuurinclusieve manier van werken gehanteerd worden.

Afhankelijk van specifieke natuurdoelen kan er ingezet worden op maatregelen die de connectiviteit en dooradering verbeteren, door het beheren van landschapselementen, akker- en slootranden. Daarnaast kan ook zeker binnen de productie de diversiteit omhoog gebracht worden door gebruik te maken van meer gewasdiversiteit en minder intensief beheer. Dit lijkt samen te kunnen gaan met doelen voor waterkwaliteit en ook gewasbescherming.

Indien delen van de productiegrond hiervoor uit productie worden genomen, zal dit economische gevolgen hebben. Meer diversiteit binnen de productie hoeft niet per se te leiden tot een lagere productie, maar zal wel een andere manier van werken vragen.

Andere milieudoelen

Naast bovengenoemde doelen spelen ook beleidsdoelen rond andere milieuthema's een rol in de akkerbouw. Het is cruciaal om deze aspecten mee te nemen bij een integrale aanpak voor het reduceren van de negatieve milieu-impact. Belangrijk voor akkerbouw zijn maatregelen gericht op de doelen voor duurzaam bodembeheer (incl. bodemverdichting) en reductie van emissies van gewasbeschermingsmiddelen.

Overall conclusies

Grofweg zijn de oplossingsrichtingen van de maatregelen om de urgente doelen te behalen op te delen in twee sporen. Enerzijds een focus op verdere efficiëntie (optimalisatie), met daarmee minder emissies per product. Dit is de focus die al decennialang de overhand heeft in de Nederlandse landbouw, vaak gepaard gaat met technologie en investeringen en de sector veel efficiëntie en innovatie heeft opgeleverd. Het effect van deze ontwikkelrichting gaat vaak samen met opbrengstverhoging, waarbij het landbouwareaal of de emissies per ha niet of nauwelijks verminderden. Om deze ontwikkelrichting in te zetten voor het milieu, is het belangrijk om efficiënte winst niet te gebruiken voor hogere opbrengsten, maar voor lagere emissies. Om deze omslag te realiseren, is een andere context van beleid en economie nodig, waarin de prikkels voor emissieverlagingen sterker zijn dan die voor opbrengstverhoging.

Anderzijds is er een focus gericht op diversifiëring van gewassen en meer (natuur)inclusieve akkerbouw, om op die manier de doelen te behalen. Deze focus is vaak meer gericht op het integrale systeem en kijkt daarmee wat breder naar de verschillende doelen. Als deze focus verder wordt doorgezet, is vaak sprake van lagere gewasopbrengsten, waarbij een transitie plaatsvindt naar een extensievere akkerbouw (structuurverandering), die meer mogelijkheden laat voor herstel en ontwikkeling van natuur.

Het uitsplitsen van deze twee sporen kan overzicht en inzicht bieden in de mogelijke maatregelen. Tegelijkertijd is het gevaarlijk, omdat dit doet vermoeden dat er een keuze gemaakt dient te worden, wat ten eerste niet zo is. Het is nadrukkelijk mogelijk om onderdelen van beide oplossingsrichtingen te combineren om op die manier bij te dragen aan het behalen van de doelen.

Maatregelen of oplossingsrichtingen die lijken bij te dragen aan alle doelen:

- Ruimer bouwplan met meer rustgewassen en groenbemesters;
- Gewaskeuze, teelt, zaaien en oogsten afstemmen op minimale milieubelasting;
- Uitgaan van ecologische principes (natuurinclusief), met gebruik van zo weinig mogelijk meststoffen en chemische gewasbescherming;
- Verbeteren bodemkwaliteit, verhogen bodem organische stof, minder zware machines;
- Voor zover meststoffen en gewasbescherming noodzakelijk zijn: precisie toediening en op het juiste moment om verliezen te voorkomen en gebruik van kringloopmeststoffen;
- Wateropslag voor droge perioden;
- Meten is weten (bv. waterkwaliteit), toepassen van technologie, sensoren, KPI's om bedrijfsvoering te verbeteren.

In de voorgaande paragrafen is een concretere beschrijving van de onderliggende maatregelen gegeven.

4 Maatregelen op melkveebedrijven

In dit hoofdstuk worden mogelijke milieumaatregelen besproken voor melkveebedrijven per bedrijfsonderdeel. De onderverdeling in bedrijfsonderdelen is een manier om een beter overzicht te krijgen van de mogelijke maatregelen. Bedrijfsonderdelen zijn te beschouwen als verschillende knoppen waar een melkveehouder aan kan draaien. Vanzelfsprekend zijn de verschillende bedrijfsonderdelen binnen de bedrijfsvoering sterk met elkaar verweven en soms kan een maatregel bij verschillende onderdelen worden ondergebracht.

Voor het beschrijven van de maatregelen per bedrijfsonderdeel hanteren we het volgende format:

- Beschrijving van het bedrijfsonderdeel en mogelijke maatregelen;
- Relatie van de maatregelen met de urgente doelen voor SKWN en de andere relevante doelen (verbetering dierenwelzijn en diergezondheid, vermindering fijnstof en geur, reductie gewasbeschermingsmiddelen, verbetering bodemkwaliteit en landschap);
- Schetsen bandbreedte van de impact op milieu, maar ook de bedrijfseconomische impact benoemen;
- Maatregelen relateren aan de inspanning die binnen de bedrijfsvoering gedaan moet worden, gradatie geringe inspanning (toepassen van afzonderlijke technische maatregelen <--> grote inspanning: structurele maatregelen om te komen tot een natuurinclusieve bedrijfsvoering);
- Mogelijke afwentelingen benoemen;
- Verwijzen naar relevante literatuur: uitkomsten van de belangrijkste onderzoeken.

Soms zijn dit aparte paragrafen, maar voor andere onderdelen heeft dit meer gewerkt als een aandachtspuntenlijst en komen ze los in de tekst aan de orde. Voor sommige onderdelen, zoals fijnstof, speelt de melkveehouderij slechts een beperkte rol; de pluimveesector is daarin veel meer van belang. Bij de beschrijving van effecten worden waar mogelijk referenties gebruikt en wordt ook gebruikgemaakt van eigen expertise.

Bij de milieudoelen stikstof, water en natuur gaat het om het verlagen van de totale milieubelasting in Nederland en, meer specifiek, in kwetsbare natuurgebieden. Voor deze doelen kan een gedeeltelijke verschuiving van zuivelproductie in Nederland naar het buitenland behulpzaam zijn, omdat de belasting in Nederland afneemt en in het buitenland zal toenemen, in de veronderstelling dat dat op plekken gebeurt waar het geen probleem is voor natuur en milieu. Voor het klimaat is dat een ander verhaal: verschuiving van zuivelproductie in Nederland naar andere landen leidt vaak tot een vergelijkbare of hogere uitstoot in het buitenland, zodat het positieve klimaateffect voor Nederland wegvalt tegen het negatieve klimaateffect elders. Dit betekent dat klimaatmaatregelen pas effectief zijn als ze leiden tot een lagere emissie van broeikasgassen per eenheid product.

Omdat het aantal mogelijke maatregelen zo groot is, maken we onderscheid in de verschillende werkingsprincipes van maatregelen en zullen we willekeurig voorbeelden noemen:

- **Maatregelen gericht op efficiëntie:** Meer of dezelfde hoeveelheid productie realiseren met minder middelen, zoals vee, nutriënten en energie, met name wat betreft voerproductie en de omzetting van voer naar melk en vlees (voerconversie). Hierdoor zijn per kg melk en vlees minder productiemiddelen nodig, waardoor emissies verminderen, uitgaande van een vast maximaal productievolume, wat via de fosfaatproductierechten voor de melkveehouderij momenteel van toepassing is. De Nederlandse melkveehouderij kent reeds een hoge efficiëntiegraad en daardoor een relatief lage emissie-intensiteit (wereldwijd varieert de emissie-intensiteit van ongeveer 1 tot 12 kg CO₂-eq/kg melk; Gerber et al., 2011). De mogelijkheden om de emissie-intensiteit fors te verlagen, zijn daardoor beperkt.
- **Maatregelen die ingrijpen in emissievorming:** Het afremmen van emissievorming in vee, mest, bodem, gewassen en energieopwekking, bv. productie van energie op basis van zon of wind, verminderen van het ontstaan van methaan in de mest of lachgas in de bodem.
- **Maatregelen om geëmitteerde stoffen af te vangen:** Zogenaamde 'end-of-pipe'-maatregelen, bv. het reinigen van stallucht van ammoniak of het afvangen en omzetten van broeikasgassen naar een minder

schadelijk gas, zoals methaan uit mestopslagen via verbranding omzetten naar CO₂. Bij uitspoeling van nitraat gebeurt dat bv. ook via natuurlijke processen in sommige bodems, waarbij nitraat dat de wortelzone heeft verlaten niet in het grondwater terecht komt, maar via een proces van denitrificatie door bacteriën wordt omgezet in stikstofgas.

- **Maatregelen die emissies ongedaan maken:** Het kan daarbij ook gaan om emissies van andere bedrijven. Een voorbeeld is extra koolstofvastlegging in de bodem. Bij stikstof kan men denken aan het afvangen van geëmitteerde ammoniak door bv. landbouwgewassen of landschapselementen, waardoor het niet in natuurgebieden terecht komt. Dit proces gebeurt al op grote schaal (de meeste N-depositie vindt plaats in landbouwgebieden), maar er zijn nog weinig maatregelen bekend die dit effect kunnen vergroten.
- **Structurele maatregelen:** Maatregelen die de structuur van de sector wezenlijk veranderen, zoals het inkrimpen van de veestapel (extensivering) of transitie van landbouwgronden naar natte landbouw, natuur, energieproductie of waterberging. Als sprake is van een inkrimping van de veestapel, zonder een evenredige productie stijging per dier, zal de landelijke productie van melk of vlees afnemen. In het algemeen zal dit leiden tot lagere emissies van ammoniak, broeikasgassen, stoffen die de uitspoelen naar grond- en oppervlakte water en belasting van de natuur. Bij een gelijkblijvende consumptie van melk en vlees zal dit tot gevolg hebben dat elders in Europa of de wereld een toename van melk- en vleesproductie zal plaatsvinden. Mogelijk is daar wat betreft de regionale milieudoelen stikstof, water en natuur wel ruimte voor, maar voor de emissie van broeikasgassen kan een dergelijke verplaatsing van de productie leiden tot een grotere bijdrage aan klimaatverandering doordat de productie elders minder efficiënt gebeurt dan in Nederland. Om deze afwenteling te voorkomen, zullen productie verlagende maatregelen gepaard moeten gaan met een vergelijkbare verlaging in de consumptie van melk- en vleesproducten. Dit betekent dat landbouwstructuurbeleid, om effectief te zijn, gepaard moet gaan met voedselbeleid.

Maatregelen kunnen soms op meerdere principes tegelijk ingrijpen. Een voorbeeld is scheiding van mest en urine in de stal, wat ingrijpt op emissievorming in de mestopslag (vorming van ammoniak) en bij aanwending, maar afhankelijk van vervolgstappen mogelijk ook op efficiëntie van nutriënten en energie door een betere benutting van stikstof en besparing op kunstmeststikstof, en energieverbruik gerelateerd aan mestscheiding en kunstmestproductie (Van Dooren en Mosquera, 2010; Verloop, 2013).

4.1 Dierspoor: productie, fokkerij en rassenkeuze

Beschrijving bedrijfs onderdeel en maatregelen

Bij de keuze van rassen en genetische selectie van dieren in de melkveehouderij heeft in de afgelopen decennia bij veel bedrijven het verhogen van de melkproductie (in combinatie met het verbeteren van de voeding) vooropgestaan. Dat heeft geleid tot een efficiënte productie van melk o.b.v. gras, mais en aanvullende krachtvoerders. Via verdere stappen op dit spoor kan een verdergaande verlaging van emissies per kg melk gerealiseerd worden. Dit betreft deels meer gerichte fokkerij op vermindering van emissies, en anderzijds verbetering van management, sturen op gezond melkvee en aandacht voor dierenwelzijn, waardoor ook minder jongvee nodig is. Tabel 10 geeft aan welke maatregelen in de gebruikte bronnen voor de melkveehouderij genoemd worden.

Tabel 10 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Dierspoor: productie, fokkerij, rassenkeuze.*

1	Genetische selectie op koeien met minder methaanemissie uit pensfermentatie
2	Genetische selectie op efficiëntere eiwitbenutting (fokwaarde melkureum)
3	Aanpassen microbioom door management of fokkerij
4	Ingrijpen in microbioom
5	Genetische selectie op persistentie (melkvee dat langere melkproductie periode heeft)
6	Genetische selectie op gezonde dieren (minder uitval)
7	Levensduur verlengen
8	Verbeteren diergezondheid door management en/of fokkerij
9	Verbeteren reproductie (lagere afkalfleeftijd vaarzen, kortere tussenkalftijd) Koeien vaccineren tegen micro-organismen verantwoordelijk voor methaanvorming in de pens
11	Jongvee weiden Jongveeopfok management verbeteren
12	Afvangen van methaanemissies uit pensfermentatie
13	Vervangingspercentage van de koeien verlagen
14	Minder jongvee aanhouden
15	Melkproductie per koe verhogen via genetische selectie of managementaanpassingen (rantsoen, gezondheid)
16	Antibioticagebruik verminderen

Relatie met milieudoelen

Verschillende maatregelen zijn gericht op goed diermanagement waardoor een efficiëntere omzetting van voer naar melk en vlees en een hogere productiviteit kan worden gerealiseerd, zoals beter voer- en diermanagement of fokkerijmaatregelen. Dit resulteert in hogere melkproducties, betere reproductie, betere diergezondheid, langere levensduur, en daarmee een efficiënter gebruik van inputs. Berekeningen voor de Nederlandse situatie, waarbij het rantsoen in de afgelopen jaren ongewijzigd is gebleven, laten een daling zien in de orde van 25-40 gram CO₂eq/kg melk per 1000 kg productiestijging per koe (Vellinga en De Vries, 2018). In dit geval is de verhoging van de melkproductie voortgekomen uit met name een grotere opnamecapaciteit van de dieren. De stijging van de gemiddelde melkproductie de afgelopen vijftien jaar in Nederland bedraagt 50 kg per jaar. Dat komt neer op een daling van de emissie van 19-30 gram CO₂eq/kg melk (De Vries et al., 2018). Vanuit breder perspectief leidt een eenzijdige optimalisatie op melkproductie enerzijds en rundvleesproductie anderzijds tot hogere totale broeikasgasemissies uit het voedselsysteem, doordat een deel van het geconsumeerde rundvlees geproduceerd wordt in gespecialiseerde systemen met relatief hoge emissies (Vellinga en De Vries, 2018). Gezien vanuit het totale voedselsysteem bieden dubbeldoelkoeien daarom perspectief voor verlaging van emissies (Zehetmeier et al., 2012).

Goed diermanagement omvat een diverse range aan managementaspecten, zoals voeding, droogstandmanagement, diergezondheidsmanagement, fokkerij, jongveeopfok etc. Gezonde dieren zijn productiever en dus efficiënter in de omzetting van voer naar dierlijke producten. Ongezonde dieren hebben doorgaans een lagere melkgift, groei, vruchtbaarheid en levensduur, met als gevolg hogere emissies per eenheid dierlijk product. Veelvoorkomende gezondheidsproblemen bij Nederlands melkvee zijn klinische en subklinische mastitis, klauwproblemen, slepende melkziekte, diarree en luchtwegproblemen. Het verbeteren van de diergezondheid kan zo de uitstoot per eenheid dierlijk product verminderen, terwijl dit ook leidt tot productiviteitsverbetering, met belangrijke positieve gevolgen voor voedselzekerheid, inkomen, dierenwelzijn, voedselveiligheid en volksgezondheid.

Ziekten bij melkkoeien kunnen leiden tot een lagere melkproductie, verminderde vruchtbaarheid, kortere levensduur (hoger vervangingspercentage), langere tussenkalftijd en vervroegde afvoer van koeien. Vooral de verlaging van de melkgift heeft een grote impact op de economische prestaties, terwijl vervroegd afvoeren en melk wegspoelen grote impact heeft op de uitstoot van broeikasgassen per kg afgeleverde melk (Mostert, 2018). Het leidt ook tot verminderd dierenwelzijn en een lager inkomen voor de boeren door verminderde melkoprangst, meer weggespoelde melk en door behandelingskosten. De impact van gezondheidsverbeteringen op de uitstoot van broeikasgassen en de economische prestaties hangt sterk af van de bedrijfsspecifieke prevalentie van ziekten, het type ziekteverwekker, bedrijfsmanagement en prijzen (bijvoorbeeld melk en voer). Voor sommige aandoeningen zijn effecten op BKG-emissies gekwantificeerd ten opzichte van dieren zonder ziekte (subklinische ketose: 21 kg CO₂eq/t FPCM (2,3%) per geval, subklinische mastitis: 3,7% per geval, klinische mastitis: 58 kg CO₂eq/t FPCM (6,2%) per geval, digitale dermatitis:

4 kg CO₂eq/t FPCM (0,4%) per geval, wittelijndefect: 39 kg CO₂eq/t FPCM (4,3%) per geval, zoolzweer: 33 kg CO₂eq/t FPCM (3,6%) per geval (Mostert et al., 2018a en b, 2019; Gülzari et al., 2018)). Van de gecombineerde effecten van ketose, mastitis en klauwaandoeningen wordt ingeschat dat deze ongeveer 3,4% aan totale BKG-emissies van de Nederlandse veestapel bijdragen (0,37 Mton CO₂eq/ jaar; Mostert, 2018). Dit aandeel zal mogelijk hoger uitpakken wanneer andere ziekten worden meegenomen (bv. lebmaagverdraaiing, metritis, pensverzuring). Het voorkomen van ziektes kan dus tot een beperkte vermindering van emissies leiden, waarbij wel opgemerkt moet worden dat volledige ziektevrije dieren een utopie is. Het verminderen van antibioticagebruik (en andere middelen) kan leiden tot minder reststoffen in de mest, waardoor het negatieve effect van bemesting op de biodiversiteit mogelijk wat minder zou kunnen worden.

Het verbeteren van jongveeopfok resulteert in betere dierprestaties, minder ziekte en sterfte en in verbetering van groeisnelheden om het beoogde levend gewicht te bereiken (belangrijk voor de melkproductie en vruchtbaarheid, en om problemen bij het afkalven te beperken), alsook lagere kosten van inputs (bv. voer, diergezondheidskosten etc.). Goede ontwikkeling van vaarzen verlaagt de leeftijd bij de eerste afkalving en verhoogt de productiviteit en levensduur van de volwassen koe. Bovendien impliceert een lagere overlevingskans van jongvee een verminderde rundvleesproductie (Zehetmeijer et al., 2014) en minder kans op genetische verbetering van de veestapel (Moran, 2009).

Een langere levensduur zorgt voor een lager vervangingspercentage en minder jongveeopfok. Een langere levensduur en minder jongvee leidt niet alleen tot lagere broeikasgasemissies (10-20 g CO₂-eq per kg FPCM voor elk extra levensjaar van koeien; De Vries et al., 2018), maar ook tot lagere kosten, minder mestproductie en daarmee ook minder TAN-productie. Vuistregel is dat elke 0,5 stuks jongvee leidt tot 2% minder NH₃-emissie (Evers et al., 2019), maar de grootte van het effect is heel bedrijfsspecifiek.

Andere maatregelen grijpen in op emissievorming, zoals selectie op dieren met een lagere methaanemissie, koeien vaccineren tegen micro-organismen verantwoordelijk voor methaanvorming in de pens (Baca-Gonzalez et al., 2020) en ingrijpen in het microbiom (Zom en Sebek, 2021). Dit betreft echter nieuwe ontwikkelingen die nog niet praktijkrijp zijn en waarnaar nog onvoldoende onderzoek is gedaan. Door introductie van een fokwaarde voor methaan zal naar verwachting de methaanemissie per kg melk kunnen dalen met 25-29% over 30 jaar (~1% per jaar; De Haas et al., 2021; effect afhankelijk van hoe zwaar de fokwaarde meeweegt in de totale fokwaarde) en de verwachte ontwikkeling zich volgens het huidige inzicht voortzet. Wanneer in 2025 de fokwaarde voor methaanemissie zou worden geïntroduceerd, zullen effecten (vanwege dracht en opfok) pas zo'n 3 jaar later zichtbaar worden en richting 2030 neerkomen op zo'n 1% exclusief autonome ontwikkeling (~0.5% per jaar). Mogelijkheden om in te grijpen in het microbiom zullen naar verwachting pas over enkele jaren beschikbaar komen. Ook is nog onduidelijk of de vermindering van methaanemissies door bovenstaande maatregelen onverhoopt gepaard gaat met een lagere verteerbaarheid van het voer.

Wat betreft maatregelen die emissies afvangen ('end of pipe') heeft het dierspoor vooral betrekking op het afvangen van methaanemissies uit pensfermentatie. Maatregelen hiervoor zijn nog in ontwikkeling, met nog veel onduidelijkheid of dit in de praktijk kan gaan werken.

In de oorspronkelijke maatregelenlijst vanuit de rapporten stonden ook maatregelen gericht op het verbeteren van diergezondheid en dierenwelzijn (maatregelen 17 – 29). Als via dierenwelzijn de diergezondheid verbetert en daarmee productiviteit en voerefficiëntie, kan dit leiden tot lagere emissies naar het milieu. Omdat deze effecten vergelijkbaar zijn met bovenstaande effecten van goed diermanagement, zijn deze maatregelen hier niet apart beschreven.

Bandbreedte impact

Op de milieudoelen klimaat en stikstof zijn met deze maatregelen verbeteringen haalbaar. Voor maatregelen gericht op efficiëntieverbeteringen geldt dat deze veelal kosteneffectief zijn, maar een verbetering van het bedrijfsmanagement en vakmanschap van veehouders vragen (bijvoorbeeld ten behoeve van verlengen levensduur, verbeteren diergezondheid), wat mogelijk niet in korte tijd haalbaar is. Ook fokkerijmaatregelen en ingrijpen in het microbiom vergen een lange adem. Het is nog niet duidelijk of dit mogelijk leidt tot hogere emissies vanuit de mest of bodem. Bij een hoger productieniveau kunnen absolute emissies per koe

wel toenemen en is de vraag in welke mate een hoger productieniveau past bij andere doelen, zoals meer eiwit van eigen bodem en biodiversiteit.

4.2 Voerspoor

Het voer is een belangrijke ingang om op emissies van de melkveehouderij te sturen, waarbij maatregelen die vaak gericht zijn op het verminderen van één aspect, bv. stikstof of methaan, en afwentelingen (maar soms ook synergiën) kunnen bestaan (zie Tabel 11). Ook kan al snel sprake zijn van ingewikkelde koppelingen met andere bedrijfsonderdelen en keuzes in bedrijfsmanagement. Een voorbeeld is de vervanging van een deel van het gras in het rantsoen door snijmais: dat leidt niet alleen tot een ander rantsoen, met mogelijkheden voor lagere N-emissies, maar ook tot veranderingen in grondgebruik, met mogelijk een grotere nitraatuitspoeling in snijmais en eenmalig hoge broeikasgassen uit de bodem wanneer blijvend grasland gescheurd wordt voor maisproductie. In deze paragraaf richten we ons zo veel mogelijk op het voer en rantsoen, terwijl grondgebruik in het hoofdstuk 'gewaskeuze' aan bod komt. De uitdaging is om tot passende rantsoenen te komen die integraal gunstig uitpakken t.a.v. onder meer ammoniakemissie, methaanemissie, uitspoeling van nitraat, emissies uit bodem en landbewerking, voorkomen van ontbossing, en diergezondheid en dierwelzijn, maar ook ter voorkoming van 'greenwashing'.

Tabel 11 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Voerspoor.*

30	Meer weidegang, bv. aanpassen beweidingssysteem
31	Gras in vroeger stadium oogsten
32	Voeropslagverliezen beperken (bv. door goed inkuilen)
33	Minder kuilgras, meer energie- of vetrijke producten (mais, biet, aardappel, bierbostel)
34	Optimaliseren ruweiwitgehalte in rantsoen, dat wil zeggen zo laag mogelijk wat gezien de productie nog nodig is
36	Meer vers gras i.p.v. kuil (als graskwaliteit beter is dan de kuilkwaliteit)
38	Vetten of oliën, of vet- of oliehoudende grondstoffen toevoegen (bv. lijnzaad)
40	Voeradditieven/methaanremmers (bv. 3-NOP (Bovaer), Nitraat (SilvAir), Mootral (= knoflook- en citrusextract), extracten uit plantaardige producten, zeewier (bromoform/niet-bromoform/microalgen)
48	Zelfvoorzienend in voer, voer op het eigen bedrijf telen
49	Voldoende energie (VEM) voeren
50	Totaal OEB in het rantsoen naar 0
51	Minder NDF in gras, graskuil en mais
52	Krachtvoer(grondstoffen), reststromen en bijproducten met een lage footprint selecteren (broeikasgas- en/of ammoniakemissie), bv. combi bierbostel en koolzaadschroot
53	Optimale reststroombenutting voor veevoer
54	Gepelletiseerd krachtvoer vervangen door enkelvoudige krachtvoerders (want pellets (brok) maken kost veel energie)
56	Sojagebruik verminderen
57	Voer uit de regio gebruiken in plaats van daarbuiten

Een effectieve maatregel voor het verlagen van N-emissies is het verlagen van het ruw eiwit (RE)-gehalte van het voer (RE-gehalte = N-gehalte x 6.25), waarbij de productie op peil blijft en er minder N in mest en urine terecht komt en de N-emissies naar zowel lucht als water lager kunnen worden. Daarbij is uiteraard niet alleen het totale RE-gehalte van belang, maar ook de vorm en verteerbaarheid van het eiwit en of de koe voldoende eiwit kan opnemen voor melkproductie en/of groei. De verlaging van het RE-gehalte van het rantsoen kan door keuze van een andere rantsoensamenstelling of door te streven naar componenten (in bijvoorbeeld krachtvoer) met lagere RE-gehalten. Verwacht wordt dat door het verlagen van het RE-gehalte tot ongeveer 25% reductie van ammoniak(NH₃-)emissie op bedrijfsniveau behaald kan worden, waarbij elke gram reductie in RE 1% minder NH₃-emissie oplevert (Migchels en Van Dijk, 2019; Migchels et al., 2019). Als de N-excretie omlaaggaat (als effectieve bronmaatregel voor reductie van N-emissies), zullen niet alleen de ammoniakemissies uit stal, mestopslag en bij mest uitrijden omlaaggaan, maar kan ook het risico op uitspoeling van nitraat lager worden bij een nauwgezette aanwending van die mest.

De rantsoensamenstelling heeft eveneens een grote invloed op methaanvorming in de pens, de belangrijkste bron van broeikasgassen uit de melkveehouderij. Methaan uit pensfermentatie kan worden gereduceerd door de pens te stimuleren meer propionaat i.p.v. acetaat en butyraat te produceren, wat kan worden bereikt door het aandeel zetmeel (krachtvoer) in het rantsoen te verhogen (Hristov et al., 2013) of door verlaging van NDF (Neutral Detergent Fibre – een maat voor de hoeveelheid celwanden ten opzichte van cel-inhoud) in het rantsoen (Bannink et al., 2006). Belangrijke zetmeelbronnen zijn granen (bv. mais, tarwe, gerst en haver) en ruwvoer zoals snijmais en tarwe GPS (gehele plant silage). Meer snijmais voeren is een effectieve manier om enterische methaanemissie te reduceren (Van Gastelen et al., 2019) en ook een betere kwaliteit van graskuil kan methaanemissies aanzienlijk te verlagen. Zoals hierboven genoemd, kan de teelt van extra mais echter nadelige gevolgen hebben en zelfs de reductie in enterische methaanemissies compenseren als voormalig oud grasland wordt gescheurd voor mais (Vellinga en Hoving, 2011). Het is dus belangrijk om de teelt van mais op de juiste locaties te doen, zodat integraal positieve effecten kunnen ontstaan.

Aanpassing van de hoeveelheid vers gras in het rantsoen kan effect hebben op de methaanuitstoot van het melkvee. Uit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat de methaanuitstoot van koeien gevoerd met vers gras (dat in een jonger groeistadium verkeert dan gras gemaaid voor inkuilen) 10 tot 30% lager is dan die gevoerd met ingekuild gras, en 0 tot 20% lager bij volledige zomerstalvoeding (Klootwijk et al., 2021). Het seizoen en de groeiomstandigheden van het verse gras en de kwaliteit van de graskuil hebben invloed op het percentage emissieverschil. Jonger gras heeft een lager NDF-gehalte en een hoger eiwit- en vetgehalte vergeleken met ouder gras, waardoor de enterische methaanproductie afneemt bij zowel graskuil (Warner et al., 2016, 2017) als vers gras (Klootwijk et al., 2021). Bovendien heeft jonger gras een hogere verteerbaarheid die op zichzelf ook een lagere methaanemissie lijkt te geven, wat in combinatie met de hogere nutritionele waarde leidt tot een hogere melkproductie en een nog lagere methaanemissie per kg melk. Toename van het aandeel vers gras in het rantsoen kan gebeuren door meer vers gras te maaien en direct aan te bieden of door het melk- en jongvee meer te laten weiden. Omdat het hierbij niet alleen om een rantsoenaanpassing gaat, maar om veranderingen in de gehele bedrijfsvoering (o.a. oogsten, ruwvoermanagement, en mestproductie), is het belangrijk om steeds naar het netto integrale effect op bedrijfsniveau te kijken (Bannink en Dijkstra, 2021).

Bijkomende voordelen van meer weiden is dat het aansluit bij een maatschappelijke wens, omdat het dierenwelzijn en natuurlijk gedrag kan bevorderen (De Vries et al., 2015). Meer beweiden betekent ook dat minder arbeid en energie nodig is om voer naar de stal te brengen en andersom: minder mest naar het grasland. Nadeel is dat de grasopbrengst bij beweiden mogelijk lager kan zijn dan bij maaien, door vertrapping van het gras. Ook is er minder controle over (de kwaliteit van) het rantsoen, minder mogelijkheden om op N-gehalte rantsoen te sturen en is het minder eenvoudig om met additieven de methaanreductie te bewerkstelligen.

Wat betreft ammoniak is de emissiefactor van mest in de weide (4%) een stuk lager dan die van mest in de stal (7-14%), waar ook nog emissies van de opslag en uitrijden van mest bijkomen (20-32%). Dit komt omdat in de weide mest en urine nauwelijks bij elkaar komen, waardoor de omzetting van ureum naar ammonium pas in de bodem plaatsvindt, waardoor er minder ammoniak emitteert. Wel kan er vanuit de urineplekken een grotere lachgasemissie plaatsvinden en eventueel ook uitspoeling van nitraat. Daarom is het advies momenteel om extra beweiding niet aan het eind van het seizoen te doen, maar meer in voorjaar en zomerperiode. Belangrijke voorwaarde daarbij is dat bedrijven over een voldoende grote huiskavel beschikken om de gewenste toename van de beweiding te realiseren. Op bedrijfsniveau zou door meer weidegang tot 15% reductie in NH₃ kunnen worden behaald, met als vuistregel dat elk uur weidegang ruwweg tot 3,3 gram minder ammoniakemissie leidt. Voor alleen het staleffect betekent 720 uur weidegang 5% reductie, als alle koeien tegelijkertijd de stal verlaten (Proeftuin Natura 2000; Hoving et al., 2014).

Er zijn verschillende voeradditieven die specifiek gericht zijn op het voorkomen van methaanvorming ('methanogenese') in de pens. Nitraat, 3-NOP en vetten zijn zeer effectieve maatregelen die momentaan effect hebben (o.a. Zijdeveld et al., 2010, 2011; Van Gastelen et al., 2020; Beauchemin et al., 2009; Moate et al., 2011). Bij hogere doseringen is er de mogelijkheid van afwentelingen naar voeropname en vertering met mogelijk meer methaan uit mestopslagen, en de productie van vetten en oliën kan mogelijk gepaard gaan met hogere emissies (bv. bij import vanuit het buitenland), waardoor er een risico is dat effecten (deels) teniet worden gedaan. De individuele maatregelen zijn bij de doeldoseringen echter zeer effectief gebleken om methaan te reduceren en er zijn rondom het combineren van deze maatregelen nog vragen

rondom de (gezamenlijk) te behalen effectiviteit; dat onderzoek moet nog uitgevoerd worden. Bij het voeren van nitraat moet het eiwitgehalte in het rantsoen worden bijgesteld zodat de maatregel niet tot een hogere ammoniakemissie leidt. Het voeren van extra vetten kan invloed hebben op de melkvetsamenstelling. Praktijkimplementatie van voeradditieven wordt mogelijk belemmerd door de maatschappelijke acceptatie en de kosten van maatregelen en er zijn nog vragen rondom praktische toepassing, maar hun inzet is daarentegen zeer effectief en hun potentie is zeker. Verwachte reducties in enterische methaanemissies (Klimaatenvolop, 2021): nitraat (bij 1% in voer) 9-10%, 3-NOP 20-30% en vetten 7.5-10%. Ook met bromoform kan een hoge methaanreductie worden behaald (20-30%), maar deze maatregel is omstreden vanwege onzekerheid rondom mogelijke negatieve neveneffecten (veiligheid, productie en opslag, afbraak ozonlaag). Effecten van diverse andere onderzochte middelen van plantaardige oorsprong (bv. essentiële oliën, secundaire plant metabolieten) zijn vaak niet solide, ook omdat pensmicroben zich kunnen aanpassen aan deze middelen (Benchaar, 2020). Desondanks geeft statistische analyse van resultaten uit de literatuur (meta-analyse) aan dat positieve effecten wel degelijk mogelijk zijn, maar geringer van omvang dan wat verwacht mag worden voor nitraat, vetten en 3-NOP of bromoform (De Souza Gongio et al., 2021).

Voor krachtvoergrondstoffen kan gekozen worden voor grondstoffen met een lage carbon footprint, wat betekent dat in de teelt, transport en verwerking van de grondstoffen relatief weinig broeikasgasemissies zijn veroorzaakt of grondstoffen uit gebieden met ontbossingsrisico's worden vermeden. Informatie over de footprint van diervoeders is beschikbaar in databases en bij voerleveranciers (bv. <https://www.wur.nl/nl/show/feedprint.htm>; Vellinga et al., 2013). Door keuze van krachtvoergrondstoffen met een relatief lagere methaanopbrengst of RE-gehalte is eveneens een bijdrage te leveren aan het verlagen van de methaanemissie en/of de N-emissies. Als het mogelijk is om geïmporteerde krachtvoerders te vervangen door voerproductie van eigen land, kunnen in elk geval de broeikasgasemissies door het energiegebruik van transport naar Nederland worden vermeden. Belangrijk is daarbij wel om ook te bekijken wat er gebeurt met effecten op andere dossiers (stikstof en water).

4.3 Huisvesting of stalsysteem

Voor de huisvesting van melkvee zijn veel verschillende maatregelen ontworpen die een bijdrage kunnen leveren aan de milieudoelen (zie Tabel 12, waarin het resultaat staat vermeld van de gebruikte bronnen).

Tabel 12 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Huisvesting/stalsysteem.*

58	Toepassing van emissie arme stalsystemen – zie alle onderstaande maatregelen
59	Verkleining emitterend oppervlak – komt ook terug in diverse onderstaande maatregelen
60	Grupstal met emitterend opp per koe max 1,2 m ² (A1.1)
61	Loopstal met hellende vloer en giergoot/roostervloer en spoelen (A1.2)
62	Loopstal met hellende vloer en spoelen; max besmeurd opp. 3,0 m ² per koe (A1.3)
63	Loopstal met hellende vloer en spoelen; max. 3,75 m ² mest besmeurd opp. per koe (A1.4)
64	Loopstal met sleufvloer en mestschuif (A1.5)
65	Ligboxenstal met dichte hellende vloer, met profilering, snelle gierafvoer met mestschuif (A1.6)
66	Ligboxenstal met dichte hellende vloer, rubbertoplaag, snelle gierafvoer met mestschuif (A1.7)
67	Ligboxenstal met sleufvloer met noppen en mestschuif (A1.8)
68	Ligboxenstal met roosters met een bolle rubber toplaag, met mestschuif (A1.10) (Groene Vlag)
69	Ligboxenstal met roostervloer met cassettes in roosterspleten en mestschuif (A1.13) (Eco Vloer)
70	Ligboxenstal met geprofileerde vlakke vloer met hellende sleuven, regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif (A1.14) (Welzijnsvloer W4 en Profielvloer C6)
71	Ligboxenstal met V-vormige vloer met gierafvoerbuïs en mestschuif (A1.18) (Welzijnsvloer W5)
72	Ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd, voorzien van afdichtkleppen in roosterspleten en mestschuif (A1.19)
73	Ligboxenstal met vlakke vloerplaten met tegelprofiel, hellende sleuven en regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen of -kleppen en mestschuif (A1.21) (Qwinpro en Duurzaamheidsvloer)
74	Ligboxenstal met sleufvloer en mestschuif en in de doorsteken, wachtruimte en doorlopen een roostervloer met bolle rubber toplaag voorzien van afdichtflappen in de roosterspleten (A1.22)

75	Ligboxenstal met geprofileerde vloerplaten met sterk hellende langssleuven met urineafvoergat en hellende dwarsgroeven, aangesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtkleppen, met mestschuif (A1.23) (Patent Comfort Vloer)
76	Ligboxenstal met vloer met sterk hellende langssleuven, de vloerplaten aaneengesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif (A1.24)
77	Ligboxenstal met hellende V-vormige vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten, met centrale giergoot en mestschuif (A1.26)
78	Ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd voorzien van afdichtkleppen in de roosterspleten, met mestschuif en vernevelsysteem (A1.27)
79	Ligboxenstal met roostervloer, voorzien van rubber matten en composiet nokken met een hellend profiel, kunststofcassettes met kleppen in de roosterspleten en met mestschuif (A1.28)
80	Ligboxenstal met roosters en bolle rubber matten, met mestschuif (A1.30)
81	Ligboxenstal met sleufvloer en dichte hellende vloer met geprofileerde rubbertegels, met mestschuif (A1.31)
82	Ligboxenstal met vlakke betonnen vloerplaten met sleuven, voorzien van profiel met 1% hellende groeven richting een centrale giergoot met giergaten en mestverwijdering (A1.32)
83	Ligboxenstal met vlakke vloer, voorzien van rubberen sleufvloer met 3% hellende langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met mestschuif (A1.33)
84	Ligboxenstal met dichte gegroefde vloer met rubber matten met een hellend profiel, aangebrachte composietnokken met vingermestschuif (A1.34)
85	Ligboxenstal met vlakke vloer voorzien van rubberen sleufvloer, met vlakke langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met vingermestschuif (A1.35)
86	Koet toilet: urine wordt apart opgevangen in een speciale toiletbox (A1.36)
	Ligboxenstal met een indrukbare drainerende loopvloer voorzien van een mestschuif, de urine en mest worden direct gescheiden en apart opgeslagen (A1.37)
	Ligboxenstal voorzien van geprofileerde rubberen oplegmatten met ruitprofiel onder 2% afschot naar een centrale giergoot en frequente mestverwijdering met vaste mestschuif (A1.38)
87	Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een roostervloer voorzien van inlays met urineafvoergaatjes in de roosterspleten, frequent bevochtigen en schoonzuigen van de vloer door een mestverzamelrobot en een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemisch luchtwassysteem (95% emissiereductie) (A1.39)
88	Bronscheiding via vloer, N-stripper van de dunne fractie (SBV201003)
89	Stal met stro, bronscheiding (SBV201006)
90	Bronscheiding via vloer, ureaseremmer (SBV201008)
91	Bronscheiding via vloer (SBV201012)
92	Bronscheiding vloer, ureaseremmer (SBV201014)
93	Bronscheiding vloer, dikke fractie omzetten in bokashi, dakisolatie (SBV201021)
94	Vloer frequent spoelen, mest scheiden, dunne fractie strippen op N (SBV201029)
95	Vloerscheiding met extra opraaprobot, vergisting dikke fractie (SBV201035)
96	Vloerscheiding, opraaprobot, kelderafzuiging, luchtwasser (SBV201014)
97	Stal met stro, bronscheiding (SBV201046)

Het gaat om een veertigtal stalsystemen, waarvan de eerste (ruim) dertig voorkomen op de staltypenlijst voor melkvee van de **Richtlijn Ammoniak en Veehouderij (RAV)**, zie <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/>.

De RAV-maatregelen die niet terugkomen in de gebruikte bronnen, betreffen stalsystemen die momenteel bij nieuwbouw niet meer zijn toegestaan. Het tweede deel betreft maatregelen die in het kader van SBV-projecten (Subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen) momenteel worden onderzocht. Het betreft de projecten uit de eerste ronde; inmiddels zijn ook de projecten van de tweede en derde ronde bekend (zie <https://www.rvo.nl/onderwerpen/sbv/innovatie-stalsystemen>). Dit betreft stalsystemen waarvan werking en de effectiviteit nog niet bekend zijn, omdat de metingen nog lopen. Bij sommige projecten is niet alleen sprake van aanpassingen in de stal, maar ook daarbuiten. Een enkel systeem is inmiddels weer gestopt.

De meesten stalsystemen van de RAV-lijst hebben slechts een beperkte reductie van de ammoniakuitstoot van ca. 20-30%. Voor zover bekend, zijn er niet of nauwelijks effecten op broeikasgassen. Bij sommige RAV-systemen kan het ammoniakreductiepercentage oplopen naar 50. Momenteel heeft circa 20% van de melkveehouderijbedrijven een emissiearme vloer (Van Bruggen et al., 2022), waarbij type A1.13 (ecovloer),

de meest toegepaste is. De emissiefactoren van deze vloeren zijn vastgesteld in de praktijk, waarbij meerdere stallen op basis van een protocol worden gemeten (Ogink et al., 2017). Uit onderzoek naar het gasvormige stikstofverlies op basis van het verschil in N-/P-verhouding bij excretie en bij mestafvoer kwam echter naar voren dat het gasvormige verlies van emissiearme stallen groter is dan het verlies berekend op basis van de emissiefactoren in de RAV (Van Bruggen en Geertjes, 2019), wat betekent dat de emissiereductie in de praktijksituaties minder is dan volgens de emissiefactoren.

Naar aanleiding hiervan heeft Wageningen Livestock Research verder onderzoek uitgevoerd naar de redenen van de tegenvallende effectiviteit van emissie reducerende systemen voor de veehouderij, inclusief de reguleringssystematiek in de gehele keten van ontwerp tot gebruik van een emissiearme stal. Conclusie daaruit is dat de borging van de huidige RAV-systematiek op diverse punten tekortschiet: dit betreft onder andere het meten van de emissie van het nieuwe systeem, mogelijke effecten van veranderingen in omstandigheden zoals rantsoen, productieniveau en welzijnseisen, gebruik van het systeem volgens de voorschriften en controle daarop door omgevingsdiensten. De huidige systematiek neemt autonomie bij veehouders weg, waardoor geen gebruikgemaakt wordt van breed gedeelde intenties om duurzaam te produceren. Aanbevolen wordt om de RAV-systematiek te verbeteren en aan te vullen met doelvoorschriften, geborgd door emissiemetingen met bedrijfssensoren. Deze maken het ook mogelijk om voer- en managementmaatregelen betrouwbaar in de RAV-systematiek te borgen (Bremmer et al., 2022).

Het RAV-systeem met de hoogste NH₃-reductie is momenteel de A1.39, waarin via de vloer zo veel mogelijk scheiding van mest en urine plaatsvindt, doordat de vaste mest met behulp van een mestrobot met watersproeier wordt verzameld in een aparte opslag. De urine loopt weg via gaatjes in roestvrij stalen profielen die in de roosterspleten worden gemonteerd naar de opslag onder de roosters. Vervolgens wordt de lucht van de kelder en mestopslag gereinigd met een chemische luchtwasser. Dit betekent een combinatie van het principe om het ontstaan van ammoniak te voorkomen (door urine zo snel mogelijk af te voeren en snelle afvoer van urine mogelijk is) met het afvangen van emissies die alsnog ontstaan middels de luchtwasser, die is aangesloten op de mestput en mestopslag. Het voordeel daarvan is dat niet alle stallucht van de melkveestal gewassen hoeft te worden (want dat is voor een melkveestal heel veel lucht), maar alleen het deel uit de mestopslag waarin de meeste ammoniak zit.

Verder mag verwacht worden dat ook een deel van ammoniak die alsnog op de vloer wordt gevormd ook via de gaatjes naar de mestkelder en vervolgens de luchtwasser zal verdwijnen en daarmee niet in de stallucht komt, wat kan leiden tot een verbetering van het stalklimaat. De voorlopige emissiereductie van dit RAV-systeem is vastgesteld op 75%.

Ten slotte leidt toepassing van dit systeem tot de productie van drie verschillende mestproducten, namelijk de dikke fractie met relatief veel fosfaat, de dunne fractie met vooral ammonium en kalium, en het spuiwater van de luchtwasser, waarin vooral stikstof en zwavel zit (bij gebruik van zwavelzuur in de luchtwasser), waardoor betere mogelijkheden ontstaan om gewassen naar behoefte te bemesten en minder aankoop van kunstmest nodig is. Doordat de stikstof vooral in dunnere drijfmest en spuiwater aanwezig is, zal de ammoniakemissie bij het uitrijden van de mest ook lager zijn. De huidige ammoniakemissiefactor van spuiwater is 1,8%, terwijl die van emissiearme aanwending van drijfmest 17% bedraagt (Van Bruggen et al., 2022); de emissie van de dunnere drijfmest is nog niet bekend. Spuiwater bevat bij gebruik van zwavelzuur ook zwavel. Of dit systeem ook bijdraagt aan vermindering van methaanemissie ligt niet in de lijn der verwachting, maar is nog niet bekend. Het kan worden toegepast in bestaande stallen. Het systeem vraagt wel om een flinke investering, die mogelijk voor een beperkt deel terugverdiend kan worden met een besparing op kunstmestkosten en mogelijk ook door verbetering van het stalklimaat.

Bij staltypen waarbij alleen sprake is van een emissiearme vloer zal bij een goede werking het N-gehalte van de mest hoger zijn, doordat ammoniakemissie uit de stal wordt voorkomen. Dit betekent een extra opgave bij opslag en uitrijden van de mest, om ervoor te zorgen, dat deze extra N in de mest blijft en benut kan worden door het gewas. Het risico bestaat dat door een hogere minerale N in de mest meer N kan vervluchtigen bij uitrijden van de mest en meer kan uitspoelen. Dit is mede afhankelijk van het functioneren van het vloersysteem en emissiebeperkende maatregelen bij aanwenden: als beide goed werken, mag een verlaging van de emissie verwacht worden.

Emissiearme vloeren, die ook zorgen voor een dikke en dunne fractie, of het koetoilet, waarbij urine apart wordt opgevangen, kunnen ook bijdragen aan lagere ammoniakemissies bij uitrijden ten opzichte van systemen die alleen drijfmest produceren. Daarbij zijn wel specifieke uitrijstechnieken nodig, die passen bij de verschillende mestsoorten.

Bij emissiearme vloeren en dichte kelders onder de stal bestaan ook zorgen over de veiligheid, vanwege een verhoogd risico op explosies door ophoping van gassen in de mestkelder en risico's op uitglijden door opdrogende mestlagen en een gladdere vloer (Antea groep, 2021).

Door een frequentere en schonere mestafvoer op een dichte stalvloer naar een dichte opslag kunnen ammoniakemissies worden gereduceerd. Een schonere, drogere vloer kan ook leiden tot een beter dierenwelzijn, omdat deze minder glad is en een schone, droge vloer goed is voor de klauwgezondheid. Om methaanemissies uit mest te reduceren, zijn in de dichte opslag vervolgstappen nodig: de methaan moet worden afgevangen en omgezet, bijvoorbeeld door het oxideren van methaan of in een mestvergister. Bij SBV201035 gaat bijvoorbeeld de dikke fractie van de mest naar de vergister en wordt de methaan opgevangen ten behoeve van de energievoorziening van het bedrijf. Daarmee worden niet alleen verliezen van methaan naar de atmosfeer verminderd, maar wordt ook minder fossiele brandstof gebruikt voor bedrijfsprocessen. Bij het onderdeel mestopslag/technieken komen nog meer mogelijkheden voor mestbewerking aan bod.

Een andere manier waarop methaan zou moeten worden afgevangen, is een geheel gesloten stal, waarin niet alleen de methaanemissie vanuit de mest, maar ook de enterische methaanemissie zou moeten worden opgevangen (methaan uit pens- en darmfermentatie, wat het grootste aandeel van de methaanemissie door melkvee veroorzaakt). Dit systeem verkeert echter nog in een vroeg stadium van onderzoek en ontwikkeling, en kent forse uitdagingen zoals technische aspecten, kosten en acceptatie.

De op één na laagste ammoniakemissie (van de RAV-lijst) zou gerealiseerd kunnen worden via toepassing van mechanische ventilatie met een chemische luchtwasser, waarmee in principe een reductie van wel 90-95% behaald kan worden, mits alle stallucht de luchtwasser zou passeren. Omdat alle stallucht wassen niet haalbaar is, is voor dit systeem een reductiepercentage van 60% vastgesteld. Dit leidt wel tot een flinke extra kostenpost, omdat er in melkveestallen relatief veel ventilatie nodig is. Het spuiwater is weliswaar bruikbaar als kunstmestvervanger, maar daarnaast is de drijfmestproductie vergelijkbaar met een gewone stal. Inmiddels is dit systeem niet meer toegelaten, omdat er in de praktijk minder lucht door de luchtwasser gaat dan beoogd. Er zijn geen veranderingen in methaan- of lachgasemissie, maar CO₂-emissies kunnen toenemen door een hoger energieverbruik.

De op twee na laagste ammoniakemissie (van de RAV-lijst) vindt plaats in de traditionele grupstal vergeleken met een ligboxenstal (verschil van ruim 55%), waarin melkvee staat aangebonden en er sprake is van een zeer beperkt bevuild oppervlak per koe, met drijfmest die via een mestschuif regelmatig naar buiten gaat. Vanuit het oogpunt van dierenwelzijn is terugkeer naar een aangebonden systeem echter niet gewenst.

Vrijloopstallen zijn ontwikkeld en in ontwikkeling als bedrijfssysteem met het oog op meer dierenwelzijn door meer ruimte (geen ligboxen), andere mestproducten dan drijfmest in relatie tot bodemvruchtbaarheid of precisiebemesting en minder emissies in bedrijfsverband. De vrijloopstal met een houtsnipperbodem geeft 30% minder ammoniakemissie per koe, maar 30% meer methaanemissie (Van Dooren et al., 2019). Compostering van houtsnippers met de mest en urine levert een mestproduct met veel organische stof op. Een vrijloopstal met een kunststofvloer scheidt de feces en urine, waarbij de feces wordt opgeraapt door een robot. Een zandbodem (ook wel Vrijlevenstal genoemd) zorgt ook voor een scheiding van feces en urine waarbij de feces wordt opgeraapt door een bedding cleaner. Beide scheidingsvloeren zijn in ontwikkeling, waarbij vermindering van emissies het waarschijnlijkst is bij de zandbodem. De beddingcleaner kan ook mest oprapen uit een bodem met fijn organisch materiaal.

4.4 Mestopslag en mestbewerkingstechnieken

Melkvee wordt jaarrond gehouden, waardoor ook de mestproductie een jaarrond proces is. Het uitrijden van dierlijke mest op gras- of bouwland is echter met het oog op een goede benutting van meststoffen en het voorkomen van uitspoeling beperkt tot het voorjaar en de zomerperiode, waarbij mogelijkheden voor uitrijden in de zomerperiode soms ook beperkt worden door langdurige droogte. Daarom hebben melkveehouderijbedrijven voldoende mestopslagcapaciteit nodig om de mest op te slaan tijdens de maanden waarin uitrijden niet mag of niet verstandig is (<https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/gebruiken-en-uitrijden/wanneer-uitrijden>). Tijdens de opslag van mest ontstaat ammoniakemissie; ook kan vorming van de broeikasgassen methaan en lachgas plaatsvinden en van gevaarlijke giftige gassen. In veel stallen is sprake van een flinke mestopslagcapaciteit in mestkelders onder de roosters en onder de rest van de stalvloer; daarnaast hebben veel bedrijven ook een afgedekte, aanvullende mestopslag buiten de stal. Door afsluiten van opslagen worden ammoniakemissies uit mestopslagen verminderd; bij mestopslag onder roosters is er meestal geen beperking van de emissies. Dit kan bovendien een negatief effect hebben op het stalklimaat en dierenwelzijn. Afsluiten van de mestkelder geeft echter een verhoogd risico op explosies en kan daarom voor mens en dier gevaarlijk zijn.

Maatregelen om emissies uit mestopslagen te verminderen, werken via het voorkomen van het ontstaan van emissies of het afvangen ervan (zie Tabel 13). Een manier om ammoniakemissie te voorkomen, is een gescheiden opvang van mest en urine, waarna snel en volledig afvoeren van de urine en emissiearm opslaan (als urine of drijfmest) het emissie-reducerende principe is. Dit kwam al aan de orde bij de voorgaande paragraaf over stalsystemen. Mest scheiden of gescheiden opvangen heeft an sich geen invloed op methaan- of lachgasemissies uit mest, maar vervolgstappen kunnen daar wel invloed op hebben (bv. opslag dikke fractie). Een mestscheider kost wel energie en kan daarom hogere CO₂-emissies veroorzaken. Mest gescheiden opvangen maakt een gerichtere bemesting mogelijk; de dikke fractie bevat een hoog gehalte aan organische stof, terwijl de dunne fractie de meeste minerale stikstof bevat. Gericht toepassen van de dikke fractie kan ook bijdragen aan kansen voor weidevogels.

Tabel 13 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Mestopslag en -bewerkingstechnieken.*

98	Mest verwijdering en scheiding
99	Mestvergisting
100	Mestbewerking
101	Mestverwerking
102	Mest verdunnen met water
103	Mestproductie en mestplaatsingsruimte in evenwicht brengen (meer grondgebondenheid) eventueel in combinatie met verplichte mestverwerking van het overschot
104	Meer beweiding (=minder opslag) --> komt aan de orde bij voerrantsoen
105	Koelen van mest
106	Aanzuren van mest
107	(Kelder)luchtbehandeling
108	Vergroten mestopslagcapaciteit naar ten minste negen maanden om mest uitrijden in natte en/of koude perioden (najaar en voorjaar) te voorkomen
109	Technieken voor mestbewerking, mestopslagen en stallen toepassen:
110	Methaanoxidatie buitenopslag via affakkelen
111	Methaanoxidatie buitenopslag via een biofilter (omvang belangrijk i.v.m. capaciteit/verblijftijd)
112	Methaanoxidatie buitenopslag via een veldfilter (omvang belangrijk i.v.m. capaciteit/verblijftijd)
113	Methaanoxidatie kelder via een veldfilter (omvang belangrijk i.v.m. capaciteit/verblijftijd)
114	Methaanoxidatie kelder via een biofilter (omvang belangrijk i.v.m. capaciteit/verblijftijd)
115	Methaanoxidatie lucht in de stal via een biofilter (omvang belangrijk i.v.m. capaciteit/verblijftijd)
116	Dagontmesting + nageschakelde techniek
117	Buitenopslag (afgesloten) in plaats van mestkelder
118	Bewerking tot hoogwaardige stoffen
119	Drijfmest indampen en ammoniakstripper
120	Vergisten (mono)
121	Composteren vaste mest

122	Bokashi maken van mest
124	Aanzuren dunne fractie of urine
125	Additieven aan mest toevoegen
126	Mestadditief Nedmag (magnesiumchloride)
127	Kleimineralen als mestadditief
128	Mixen met lucht
129	Mestopraap-robot (feces uit (an)organische bodem oprapen)
130	Gescheiden opslag feces/dikke fractie
131	Gescheiden opslag urine/dunne fractie
132	Mestkelder schoonmaken
133	Scheiding op vloer: beton/asfalt/rubber (hangt samen met stalsysteem)
134	Scheiding op de vloer: doorlaatbare tegels (hangt samen met stalsysteem)
135	Scheiding via sleufvloer met schuif (gaatjes taps) (hangt samen met stalsysteem)
136	Mest koelen:
137	In kelder van onderen koelen
138	In kelder van boven koelen
139	Nieuwbouw met externe geïsoleerde opslag
140	Nieuwbouw met geïsoleerde kelder
141	Mest per batch koelen
142	Bestaande buitenopslag koelen

Een andere mogelijkheid is het toevoegen van een middel om het ontstaan van emissies te voorkomen. Het gaat bijvoorbeeld om toevoegen van zuur, magnesiumchloride, kleimineralen en mixen met lucht. Bij toevoegen van zuur gaat het vaak om zwavelzuur, wat vervolgens ook in de bodem terecht komt bij het uitrijden van mest. Daarom moet de zuurhoeveelheid beperkt blijven, om te voorkomen dat er te veel zwavel in de bodem komt (CDM, 2014). Toedienen van het zuur kost wel energie en bovendien is het werken met zuren risicovol. Door het verlagen van de pH worden ook andere processen geremd, waardoor ook de emissie van methaan kan verminderen. Tevens is bij het uitrijden van aangezuurde mest de ammoniakemissie lager dan bij uitrijden van gewone mest. Een reductie van ca. 30% lijkt haalbaar. In Denemarken werken al ca. 50 bedrijven met een aanzuursysteem (<https://www.boerderij.nl/mogelijk-nieuwe-kansen-voor-aanzuren-van-mest>). Doordat meer N in de mest blijft, kan dit echter wel leiden tot meer N-belasting in de bodem en daardoor meer risico op uitspoeling wanneer de N-gift niet wordt aangepast.

Bij het koelen van mest mag een vergelijkbaar effect verwacht worden, namelijk dat de biologische processen grotendeels worden stilgelegd, waardoor zowel ammoniak- als methaanemissies uit mest verminderen. Hierbij is geen sprake van een toevoegmiddel, wel is energie nodig om de mest te koelen. Het regelmatig schoonspuiten van de stalvloer kan helpen om de vloeremissies te verlagen en kan ook leiden tot een lagere putemissie, doordat de ammoniakconcentratie door het toevoegen van water aan de mest wordt verlaagd (Van Dooren et al., 2022). Dit kan ook bijdragen aan een verlaging van de emissie bij uitrijden; wel zijn er verschillen in effecten op klei en veen en zand. Kanttekening bij dit effect is ook dat verdunnen van mest bij aanwenden al op grote schaal gebeurt. Wel worden de uitrijdkosten groter, door het hogere mestvolume, en ook is meer opslagcapaciteit voor de verdunde mest nodig. Het schoonspoelen van de vloeren kan ook gunstig zijn voor dierenwelzijn, omdat schone vloeren de klauwgezondheid bevorderen en er door minder gladheid, minder kans op uitglijden is.

Voor het afvangen van emissies uit mestopslagen is het afdekken ervan cruciaal; dat is voor buitenopslagen relatief eenvoudig en reeds verplicht, maar voor de mestopslag onder roostervloeren een behoorlijke uitdaging: daarvoor moeten de roosterspleten worden dichtgemaakt of de roosters moeten worden vervangen door een dichte vloer. Het zo snel mogelijk verwijderen van mest uit de stal naar een afgesloten opslag is een belangrijke stap in het afvangen van emissies. Vervolgens kan methaan worden afgevangen en geoxideerd door affakkelen (verbranden, waarbij methaan wordt omgezet naar CO₂) of door een bio- of veldfilter; hiermee wordt ook een reductie van de ammoniakemissie bereikt, doordat mest niet meer in een open mestput is opgeslagen (Kager et al., 2021).

Een andere vorm van afvangen van emissies is het vergisten van mest tijdens de opslag. In tegenstelling tot het gebruik van additieven en koeling, is het principe nu om de omstandigheden voor bacteriën juist zo gunstig mogelijk te maken, bijvoorbeeld door de mest te verwarmen naar ca. 40 graden, waardoor de omzetting van organische stof naar methaan zo goed mogelijk wordt gefaciliteerd. Vervolgens wordt dit biogas afgevangen en benut in een warmtekrachtkoppeling om groene stroom te produceren of om het gas zodanig op te werken dat het als groen gas geleverd kan worden aan het aardgasnet. Beide vormen worden toegepast in de coöperatie JumpStart van FrieslandCampina, waarin dagverse drijfmest van grote melkveebedrijven (meer dan 175 melkkoeien) wordt vergist, samen met kleine hoeveelheden gewasresten en ruige mest. Eind 2021 waren er 34 melkveebedrijven die een dergelijke vergister in gebruik hebben (<https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/2309/frieslandcampina-wil-melkveehouders-overtuigen-van-kansen-voor-mono-vergisting>).

Het recentelijk gelanceerde ReFerm-concept bouwt voort op het Jumpstart-concept en bestaat uit drie elementen die met elkaar verbonden zijn: emissiearme vloeren, kleinschalige vergisting en stikstofterugwinning (<https://referm.nl/>). Emissiearme stalvloeren leveren dagverse mest aan de mono-mestvergister waardoor een hogere biogasproductie wordt gerealiseerd. Door toepassing van dagverse mest bevat het digestaat ook een hogere concentratie aan ammoniakstikstof, dat vervolgens wordt teruggewonnen en kan worden ingezet als meststof, ook wel ammonium strippen genoemd. De resterende stikstof in het digestaat is grotendeels organisch gebonden en wordt hierdoor gelijkmatiger opgenomen door het gewas waardoor dit ten goede komt aan de plant en niet naar de lucht emitteert. De mineralenscheider zorgt voor een lager stikstofgehalte in de mest na scheiding, waardoor meer fosfaat op het bedrijf kan blijven. Het is nog niet duidelijk wanneer een officiële goedkeuring komt om de gewonnen stikstof als kunstmestvervanger in te zetten.

Initiatieven als Jumpstart en Referm proberen via verschillende stappen in mestverwerking te komen tot vermindering van ammoniak- en methaanemissies, in combinatie met productie van beter toepasbare mestproducten. Door Gollenbeek et al. (2022) zijn berekeningen gemaakt van de mogelijke emissiereducties door toepassing van dergelijke technieken in het kader van de PPS next level mestverwaarding. Daaruit blijkt dat de ammoniakemissie vanuit stal, opslag en aanwenden kan halveren als een systeem wordt toegepast met mechanische mestscheiding, ammoniakverwijdering uit de dunne fractie via een stripper en luchtwasser, en waarbij de roosters en mestkelders vervolgens worden gespoeld en verdund met de N-arme dunne fractie. Voor de emissie van broeikasgassen uit de stal, opslag en bij aanwenden, geldt dat een reductie van ca. 70% mogelijk is (emissies uit mest, exclusief enterische emissie methaan) bij toepassing van dagontmesting en vergisting. Hoe verser de mest bij vergisten, hoe lager de methaanemissies uit de stal of externe opslag en hoe hoger de opbrengst van biogas. Als ook de combinatie met strippen wordt toegepast, komt de verwachte ammoniakemissiereductie (voor stal, opslag en aanwenden) uit op bijna 45%. Kelderafzuiging geeft de grootste ammoniakemissiereductie in de stal, circa 70%, terwijl het effect op de ammoniakemissies bij aanwenden lager is dan bij varianten waarbij de stikstof uit de mest wordt gestript.

Ook is een economische analyse gemaakt van deze maatregelen; daaruit blijkt onder andere dat de kosten van maatregelen om ammoniakemissies te voorkomen via verdunnen, strippen, semidichte vloeren en onderafzuiging groter zijn dan de opbrengsten uit bespaarde kunstmest en bespaarde mest-afvoerkosten. De combinatie van vergisting van dagverse mest met strippen van stikstof kan bij bedrijven van 250 melkkoeien een positieve exploitatie opleveren.

4.5 Gewaskeuze, teeltmethode en landmanagement

In Tabel 14 staan maatregelen die een melkveehouder in de keuze van gewassen en het beheer van het land kan overwegen. Het gaat daarbij niet alleen om gras- en maisland, maar ook om andere voedergewassen, zoals klavers of krachtvoerteelt, de teeltmethoden en uiteraard de beweiding. Dat laatste is ook al aan bod gekomen bij par. 4.3, Rantsoen, waar het dier centraal stond; hier gaat het vooral om verschillende vormen van graslandgebruik of andere gewassen en de effecten daarvan.

Tabel 14 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Gewaskeuze/teeltmethoden/ landmanagement.*

145	Beweidingsystemen: meer beweiden, beweiden optimaliseren
146	Wisselteelten grasland mais toepassen, bijvoorbeeld wisselteelt mais-grasklaver: 60% permanent grasland en 20% grasklaver in een driejarige rotatie met 20% snijmais
147	Optimaliseren van de verhouding gras- en maisland
148	Meer blijvend grasland/leeftijd van grasland verhogen (minerale bodems ten behoeve van C-vastlegging), maximaliseren van het aandeel van blijvend grasland
149	Kruidenrijk grasland toepassen
150	Minder vaak ploegen, hoger aandeel blijvend grasland
151	Vangewassen, groenbemesters inzaaien na mais (minder uitspoeling, C-vastlegging), voorkomen van braakligging in de winter
152	Agroforestry toepassen in combinatie met grasland (silvopastoraal)
153	Specifiek voor veenweide: vernatting in combinatie met natte teelten, zoals lisdodde met oog op minder emissie van broeikasgassen
154	Telen van gewassen voor verlagen fosfaat op percelen met een hoge fosfaattoestand
155	Verbeteren van de grasbedekking door de maai- en/of graas lengte van 5 naar 7 cm te brengen
156	Telen van vroegrijpe gewassen en direct na de oogst een stikstofvanggewas inzaaien (of bij mais onderzaai toepassen)
157	Geen uitspoelingsgevoelige gewassen telen op uitspoelingsgevoelige gronden om risico voor het grondwater te verminderen
158	Geen mais telen, maar bijvoorbeeld gras op natte gronden (GWT <4)
159	Najaarsbeweiding beperken, gelijk in het voorseizoen beginnen met weiden
160	Slootmaaisel op ruime afstand van de sloot leggen; slootmaaisel verwerken tot bodemverbeteraar
161	Gewasopbrengst verhogen, zonder extra bemesting
162	Beperken van graslandvernieuwing door goed beheer
163	Meer grasklaver en eiwitgewassen telen (N-binding en lachgasreductie)
164	Gebruiksvorm volgt functie (aangepast aan water en bodem)
165	Klimaatneutraal produceren (emissies van methaan en lachgas minimaliseren en de onvermijdbare broeikasgasemissies in balans brengen met vastlegging CO ₂ in bodem en bomen)
166	Gewassen telen voor eigen krachtvoer
167	Combinatie teelten, bv. mais direct in grasland in zaaien of mais met ondergroei van klaver, gras en/of vanggewas
168	Laatste bouwlandjaar gerst telen en onderzaai van gras voor soepele overgang naar grasland
169	Telen van snijmais in stroken uitgefreesd in gras

Een aantal maatregelen in bovenstaande tabel is gericht op het verbeteren van het beheer en de efficiëntie van voerproductie voor melkveebedrijven, waardoor een opbrengstverhoging mogelijk is met gelijkblijvende of minder inputs (bv. N) of mogelijk minder graslandvernieuwing nodig is. Een belangrijke keuze is het aandeel grasland t.o.v. bouwland (vaak snijmais) op een melkveebedrijf, waarbij beide teelten voor- en nadelen vertonen waar diverse processen invloed op hebben, inclusief de teeltwijze (blijvend grasland, vruchtwisseling of monoteeft). Doordat blijvend grasland jaarrond een gewasbedekking heeft en als C3-gewas ook bij lagere temperaturen kan groeien, zal dat minder risico's geven op uitspoeling van mineralen dan bv. maisland of bouwland met andere (kracht)voedergewassen. Grasland kan meer koolstof vastleggen dan bouwland, door hogere koolstofaanvoer en minder verstoring. Minder vernieuwing van grasland, bv. door scheuren, kan koolstofafbraak verminderen, maar kan daarentegen ook de grasopbrengst doen dalen. Ook geeft meer grasland meer mogelijkheden voor beweiding, echter bestaat bij beweiding het risico op extra uitspoeling van stikstof, vooral in het najaar. Wat betreft broeikasgasemissies kan een hoger aandeel gras in het rantsoen enerzijds hogere enterische methaanemissies veroorzaken en er is meer energieverbruik voor graslandmanagement; anderzijds is meer koolstofvastlegging mogelijk onder gras en wordt meer eiwit geproduceerd, waardoor er minder aanvoer van eiwit via krachtvoer nodig is. Wat betreft ammoniakemissie spelen diverse processen een rol: op grasland wordt een andere aanwendingstechniek toegepast met een hogere emissiefactor, grasland krijgt vaak meer (drijf)mest, meer gras in het rantsoen betekent vaak een hoger ruw eiwit (dus hogere ammoniakale stikstofproductie in de mest) en meer grasland leidt mogelijk tot meer beweiding (lagere emissie). Het gewasbeschermingsmiddelengebruik is tevens lager op grasland. Grasland kan kansen bieden voor bovengrondse en ondergrondse biodiversiteit (bodemleven, weidevogels, insecten).

Doordat de droge stof (DS) en VEM (voederwaarde-opbrengst) van mais meestal hoger is dan van gras en het gewas minder stikstofrijk is dan gras, is maisteelt echter een aantrekkelijke optie als onderdeel van het

bouwplan en als aanvulling op het rantsoen. Door de hogere DS-opbrengst per hectare van mais en het melkdrijvend effect van mais(zetmeel) in het rantsoen, is er minder landgebruik per kg geproduceerde melk. De ammoniakemissie op het veld is bij snijmais lager, omdat de aanwendingsmethode gunstiger is en de hoeveelheid drijfmest op snijmais lager is dan op blijvend grasland. Daarnaast is een hoger aandeel snijmais beter voor stikstofbenutting in de veestapel, waardoor minder ammoniakaal stikstof wordt aangewend op het land. Verder is snijmais als C4-gewas zeer waterefficiënt en kan daardoor relatief productief blijven onder droge en hete omstandigheden. De bodemkwaliteit onder snijmaispercelen verdient echter veel aandacht (Kipling et al., 2016). Momenteel bestaat ruim 15% van het oppervlak aan gras en voedergewassen uit snijmais (CBS-Statline); andere voedergewassen zoals voederbieten en veldbonen worden weinig toegepast.

Het toepassen van meer klavers in grasland kan op verschillende manieren bijdragen aan de milieudoelen. Allereerst kunnen klavers als vlinderbloemigen in samenwerking met bodemorganismen stikstof uit de atmosfeer binden, waardoor een lagere bemesting met kunstmest nodig is. Als klavers onderdeel vormen van een kruidenrijk grasland kan dit ook positieve effecten hebben op de diergezondheid en op de biodiversiteit. De effecten op de gewasopbrengst zijn afhankelijk van de omstandigheden. Als de omstandigheden goed zijn voor het momenteel gangbare Engels raigras, dan wordt daarmee meestal de hoogste opbrengst behaald, maar als bijvoorbeeld sprake is van droogte kan een kruidenrijk grasland beter presteren, doordat het ook soorten bevat die beter met droogte om kunnen gaan. Op een vergelijkbare manier kan een kruidenrijk grasland ook zorgen voor een hogere koolstofopslag in de bodem; volgens een wereldwijde meta-analyse zou een kleine verhoging mogelijk moeten zijn. Maar zolang daadwerkelijke metingen voor de Nederlandse situatie nog ontbreken, kan dit effect nog niet gekwantificeerd worden (Lesschen et al., 2021).

Een andere mogelijkheid om bij te dragen aan productie van hernieuwbare energie naast mestvergisting is de opwekking van zonne-energie op landbouwpercelen, waarbij gebruik van fossiele bronnen en bijbehorende emissie kan worden gereduceerd. In sommige initiatieven wordt gezorgd dat tegelijkertijd ook gebruik van grond voor landbouw mogelijk blijft. Een voorbeeld daarvan is het initiatief Vrijstad Energie.



Figuur 6 Vrijstad Energie 2022 (<https://vrijstadenergie.nl/zonneprojectdenheuvel/>).

In dit initiatief zijn de inkomsten uit duurzame energieproductie van 1065 panelen op het staldak gebruikt voor financiering van de asbestsanering. Op het ernaast gelegen grasland zijn 958 verticaal geplaatste bifacial (vangen via beide zijden zonlicht op) PV-panelen geplaatst op een rijafstand van 5,7 m. Er is in beide

gevallen sprake van dubbel landgebruik. Door de verticale plaatsing op land kan de grond óók voor grasproductie en beweiding worden gebruikt en voor biodiversiteitsherstel (patrijzen). De geproduceerde duurzame energie wordt geleverd aan omwonenden en is voldoende om 310 huishoudens van groene stroom te voorzien. Dit draagt bij aan verschillende milieudoelen:

- Productie van duurzame energie (CO₂-reductie);
- Extra inkomstenbron voor het melkveebedrijf, de mede wordt ingezet voor:
 - Asbestsanering;
 - Biodiversiteit, ruimte voor patrijzen.

Het project is ontwikkeld door melkveehouderij Stal den Heuvel i.s.m. Energie coöperatie Vrijstad Energie. De verticale PV-techniek op grasland is ontwikkeld door het bedrijf Next2Sun. Die techniek is recentelijk ook gerealiseerd in o.a. Duitsland, Ierland en Frankrijk, waar het op veel grotere schaal is toegepast in combinatie met melkveehouderij. De tamelijk kleinschalige toepassing in Culemborg is in 2022 gerealiseerd en is de eerste in Nederland met verticale PV-panelen op weidegrond. Er is sprake van een businesscase. Leden van de energiecoöperatie financieren daarin mee en dat versterkt ook het draagvlak in de omgeving.

Het is bij agri-PV bekend dat PV-opstellingen effecten hebben op het microklimaat en de lichthoeveelheid die het gewas bereikt. In periodes van hittestress/droogte kan schaduwwerking verdamping reduceren tot wel 30% en daardoor positieve effecten hebben op gewasproductie. Uiteraard kan door schaduwwerking ook een lagere grasproductie ontstaan. Het is voor de verticale PV-opstelling nog niet wetenschappelijk onderzocht of dit systeem effect heeft op de voerkwaliteit en productievolumes van het gras. Ook is nog onduidelijk wat het doet met het welzijn van de koe. Praktijkonderzoek kan dat uitwijzen. Gebruikte bronnen:

- <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i27294/vrijstad-energie-plaatst-verticale-zonnepanelen-bij-stal-den-heuvel-in-culemborg>
- <https://vrijstadenergie.nl/zonneprojectdenheuvel/>

4.6 Gewasbescherming

Tabel 15 bevat maatregelen voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen op melkveebedrijven. De belangrijkste principes zijn efficiencyverbetering, door middelen alleen op de juiste plaats en moment in te zetten en emissies te voorkomen, door waar mogelijk gebruik te maken van mechanische gewasbescherming. Bij geïntegreerde gewasbescherming komen beide principes samen; daarmee is een reductie van middelengebruik haalbaar, waardoor normoverschrijdingen van de waterkwaliteit kunnen worden voorkomen (Tiktak et al., 2019). Ten slotte is structuuraanpassing een optie, door alleen natuurlijke middelen te gebruiken in een vorm van biologische landbouw, waarbij een lagere gewasproductie wordt behaald.

Tabel 15 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Gewasbescherming.*

170	Minder chemische bestrijdingsmiddelen gebruiken bij mais en grasteelt
171	Precisiebespuiting bij toediening van gewasbeschermingsmiddelen
172	Mechanische gewasbescherming toepassen
173	Geïntegreerde of biologische gewasbescherming toepassen
174	Snijmais telen met strokenfrees

Als een verminderd gebruik van gewasbeschermingsmiddelen toch gepaard kan gaan met eenzelfde opbrengstniveau zijn er geen effecten op uitspoeling van nutriënten of broeikasgassen. Maar als sprake is van ziektes of plagen, met een substantiële opbrengstvermindering, is het waarschijnlijk dat een deel van de toegediende meststoffen niet wordt opgenomen, waardoor meer uitspoeling van nutriënten kan ontstaan. Ook kan een toename van mechanische gewasbescherming leiden tot extra emissies van broeikasgassen als dat met behulp van fossiele energie gebeurt. Het is dus belangrijk om vooraf een keuze te maken voor welk opbrengstniveau een teelt wordt ingezet en daarop de bemesting en gewasbescherming af te stemmen.

4.7 Bemesting

Tabel 16 bevat maatregelen die genomen kunnen worden op grasland en andere voedergewassen van melkveebedrijven.

Tabel 16 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Bemesting.*

175	Emissiearme(re) mesttoediening toepassen (injectie, mest verdunnen met water)
176	Minder kunstmest gebruiken, meer dierlijke, organische mest
177	Precisiebemesting/minder kunstmest/rijenbemesting/fertigatie (betere plaatsing van mestgiften)
178	Beter tijdstip van mestaanwending/najaarsbemesting toepassen/periode waarin mest kan worden toegediend (betere timing van mestgiften)
179	Toepassing van nitrificatieremmers in kunstmest (10% reductie N ₂ O-emissie) en toediening van de in de stal gescheiden vaste mest als meststof
180	N- en P-gebruiksnormen aanscherpen, beperkte verlaging kunstmestgift (met 15 kg N/ha) door teelt stikstofbindende eiwitgewassen
181	Toedienen van organische meststoffen (stromest/compost/bokashi/biochar) in plaats van kunstmest
182	Toepassen van sloot- en bermmaaisel als organische stof (evt. na composteren), gecombineerd met minder gebruik van mest (dus de N/P-werking van de compost compenseren)
183	Hergebruiken van stikstof en fosfor uit slootbagger (kwaliteitsbaggeren), gecombineerd met minder gebruik van mest (dus de N- en P-werking van bagger compenseren)
184	Extensiveren, beneden de landbouwkundige norm bemesten, biologisch, biologisch dynamisch
185	Afval- en reststoffen als mest gebruiken
186	Minder N bemesten
187	Verkorten van de uitrijdperiode van dierlijke mest in het najaar, en in het voorjaar later bemesten dan vanaf de toegestane datum
188	Dierlijke mest niet of nauwelijks gebruiken in het najaar
189	Zorgen voor een bemesting die aansluit op de kwaliteit van de bodem, waarbij een bodemanalyse wordt gebruikt en de mest over de percelen wordt verdeeld conform het bemestingsadvies
190	Verdunnen van drijfmest voor het uitrijden met water
191	Beperken van de dierlijke mestgift en eventueel bijmesten met kunstmest of bewerkte ('groene') mest
192	In het voorjaar minerale meststoffen met een hoog ammoniumgehalte (>75%) gebruiken
193	Bijmesten met vloeibare N-meststoffen
194	(Kunst)mestgift afstemmen op mineralisatie door extra te bemonsteren
195	Bemesting met kunstmest toepassen vanaf een temperatuursom boven de 180 C-dagen (als er voldoende warmte is voor gewasproductie)
196	Hergebruiken van fosfor en stikstof uit slootbagger (met behulp van een baggerpomp)
197	Gebruiken van een mestopslagvoorziening (mestkelder of foliebassin) met voldoende capaciteit om op het juiste moment te kunnen bemesten
198	Telen van meer vlinderbloemige gewassen
199	Bemesten van gras in relatie tot maaimoment
200	Stikstofefficiency verbeteren, verbeteren circulariteit
201	Afvoeren en composteren biomassa
202	Bemonsteren van de bodem en bemesten in combinatie met bemestingsplan
203	Meteo- en grondwater gestuurd bemesten (managementsysteem)
204	Jumpstart voor mais (met i-Seed?) goede (jeugd) ontwikkeling van mais bij lage mestnormen
205	Kwaliteit van kunstmest en kunstmeststrooiers (afstelling) verbeteren

Het gaat om ruim dertig maatregelen, waarvan ruim de helft gericht is op het verbeteren van de efficiency: beter afstemmen op de behoefte van de gewassen en op het juiste moment meststoffen toedienen op de juiste plaats, waardoor opbrengsten stijgen of met een lagere bemesting eenzelfde opbrengst kan worden gehaald, met lagere emissies als gevolg (naar bodem, water en lucht). Het voorkomen van emissies is daarbij ook van belang: dit kan door ammoniakemissiearme mesttoedieningstechniek (is al verplicht) en door aanvullende maatregelen, zoals extra verdunnen met water en kunstmest in vloeibare vorm toe te dienen. Ook kunnen N₂O-emissies deels worden voorkomen door de toepassing van nitrificatie remmers.

Emissie afvangen of ongedaan maken is bij bemesting niet eenvoudig. Puur vanuit gewasproductie bekeken, is het beter om drijfmesttoediening te vervangen door kunstmest zodat de ammoniakemissie verlaagd wordt, maar dat verplaatst eigenlijk de drijfmestemissie en draagt niet bij aan kringlooplandbouw. Ook is bij de productie van kunstmest veel energie nodig, wat kan leiden tot emissie van broeikasgassen. Daarom is een groep maatregelen erop gericht om nutriënten in kunstmest te vervangen door afval, reststoffen, slootbagger of door de teelt van vlinderbloemige gewassen, die zelf met hulp van microben stikstof uit de lucht kunnen binden. Dit voorkomt een deel van de emissies die gepaard gaan met de productie van kunstmest op basis van fossiele energie (sector industrie). Het vergroten van de bemesting via organische meststoffen kan ook bijdragen aan het verhogen van het organischestofgehalte van de bodem, en daarmee aan een betere bodemvruchtbaarheid, en aan het watervasthoudend vermogen van de bodem. Wel is daarbij van belang om te kijken naar de afbraak van deze stoffen: idealiter moet die afbraak zo veel mogelijk gelijktijdig plaatsvinden met de gewasgroei, zodat vrijkomende nutriënten direct kunnen worden opgenomen.

Ten slotte kan bemesting via kunstmest volledig weggelaten worden (biologische productie) en/of extensivering naar een lager bemestingsniveau, waarbij ook de opbrengstniveaus lager zullen zijn en er sprake is van aanpassing van de landbouwstructuur. Dit zal ook leiden tot een verdere verlaging van emissies. Dergelijke vergaande maatregelen hebben ingrijpende financiële gevolgen en lijken vooral relevant in kwetsbare gebieden, waar belangrijke verbeteringen van de waterkwaliteit nodig zijn om natuurgebieden te behouden en te herstellen.

4.8 Bodembeheer

Tabel 17 bevat maatregelen die genomen kunnen worden in het bodembeheer van gewaspercelen van melkveehouderijbedrijven.

Tabel 17 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Bodembeheer.*

206	Beperken van groundbewerking, bijvoorbeeld mais direct zaaien in grasland
207	Gebruiken van vaste rijpaden op percelen met behulp van gps
208	Aanleggen van terrassen (minder waterafvoer ten behoeve van erosiepreventie)
209	Sleepslangbemesting toepassen (bij voorkeur met lage bandendruk) ten behoeve van behoud bodemstructuur
210	Niet-kerende bodembewerking toepassen of ploegen met een eco-ploeg, zo nodig met mechanische voorbereiding
211	Voorkomen van insporing door lage bandenspanning, gebruiken van lichtere machines en/of de bodem niet bewerken onder natte omstandigheden
212	Bewerken van grond haaks op de helling
213	Gebruiken van een combinatie van ondiep en diep wortelende grassoorten
214	Egaliseren van laagtes in percelen (om natte delen op te heffen en water op het hele perceel te benutten)
215	Organischestofbalans opstellen en zo nodig compost toevoegen of andere OS-verhogende bronnen
216	Omzetten van grasland om naar productiegericht kruidenrijk grasland
217	Verbeteren van de bodemstructuur door het toepassen van bodemverbeterende middelen
218	Specifiek voor veenweide bodemverbetering toepassen door klei in veen (voor emissiereductie broeikasgassen)
219	Specifiek voor veenweide, 'omhoog boeren': telen van riet of griend

Ook hier is een belangrijk deel van de maatregelen gericht op verbetering van de bodemkwaliteit, wat kan leiden tot verbeteringen in de efficiency van de gewasproductie: een hogere productie, of een gelijkblijvende productie met minder inputs van bemesting en gewasbescherming, wat leidt tot lagere emissies (van mineralen, broeikasgassen en resten van gewasbeschermingsmiddelen). Ook het vergroten van het organischestofgehalte in de bodem kan daaraan bijdragen.

Het zo veel mogelijk beperken van bewerking van de bodem draagt bij aan het voorkomen van uitstoot van broeikasgassen: enerzijds doordat minder fossiele energie nodig is in de trekker, anderzijds doordat er minder afbraak van organische stof plaatsvindt, er minder broeikasgasemissies door bodembewerking (lachgas, CO₂) plaatsvinden en er meer koolstof in de bodem aanwezig blijft.

Een grote vermindering van de emissie van broeikasgassen is haalbaar als de oxidatie of afbraak van veengrond kan worden voorkomen of aanzienlijk vermindert. Dit is mogelijk door veengrond af te dekken met klei of zogenaamd omhoog boeren, daarbij gaat het om telen van biomassa (riet, griend, etc.) bij hoge grondwaterstanden met als doel het weer omhoog brengen van het maaiveld (omkeren bodemdaling). Het in de grond brengen van biomassa draagt tevens bij aan de vastlegging van CO₂, eventueel mogelijk in een langjarige rotatie met grasland. Dit is een ingrijpende structuurmaatregel: grasland wordt (tijdelijk) zodanig vernat, dat weer veenopbouw ontstaat in plaats van veenafbraak, maar het areaal mogelijk geen of minder landbouwkundige functie heeft.

4.9 Waterbeheer

Tabel 18 bevat maatregelen die genomen kunnen worden in het waterbeheer van gewaspercelen van melkveebedrijven.

Tabel 18 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Waterbeheer.*

220	Verhogen van grondwater- en slootpeil
221	Reactieve barrières, drainage water behandelen/zuiveren om afspoeling van mineralen te voorkomen
222	Aanleggen van vloeivelden, helofytenfilters, wetlands en stimuleren van sedimentatie van particulier N/P, inclusief herstel en onderhoud
223	Specifiek voor Veenweide maatregelen voor BKG-reductie: toepassen van waterinfiltratiesystemen: slootpeilbeheer, onderwaterdrainage, drukdrainage, geregeld hoge grondwaterstanden en ongeregeld hoge grondwaterstanden
224	Gebruik maken van boerenstuwen om water vast te houden
225	Drainagewater opnieuw benutten
226	Hemelwater opslaan in bassins, vijvers of plassen, eventueel door af te koppelen; het water zo mogelijk opnieuw gebruiken
227	Gebruiken van regelbare, peilgestuurde of onderwaterdrainage
228	Gebruiken van gerichte watergeefsystemen (bv. druppelirrigatie)
229	Sloten op diepte houden in veenweidegebied (minimaal 30 cm diep)
230	Verhogen van de drainagebasis in detailwatergangen (niet beekdalen) om water langer vast te houden in vrij afwaterende gebieden
231	Beperken van afspoeling door o.a. aanleggen van infiltratiegreppels, drempels en door het verruigen van ruggen
232	Kunstmatige infiltratie toepassen bij gebiedseigen zoetwateroverschotten ter aanvulling van de zoetwatervoorraad
233	Landbouwgrond beschikbaar stellen voor bovenwettelijke waterberging op perceel
234	Restwater van derden opnieuw benutten
235	Voorkomen van oeverafkalving door vee in het veenweidegebied door het afrasteren van de slootkant en door drinkbakken midden in het perceel te plaatsen
236	Ecologisch maaien en onderhouden van sloten en slootkanten
237	Aanleggen en beheren van droge en natte bufferstroken
238	Natuurvriendelijke oevers en/of waterbergingsoevers aanleggen
239	Helofytenfilters in of nabij de watergang gebruiken
240	In overleg met het waterschap creëren van bezinkplaatsen in greppels
241	Herstellen van waterbronnen
242	Waterberging realiseren, bovengronds of ondergronds
243	Water minder snel afvoeren/vasthouden in sloten om vochttekorten in droge perioden te verminderen

Bij waterbeheer is onderscheid naar gebieden belangrijk:

- Veengrond – hier speelt vooral ontwatering in relatie tot bodemdaling;
- Kleigrond – verzilting kan een probleem zijn, voldoende zoet water voor gewasgroei;
- Zandgrond – hier speelt water vasthouden, voorkomen van nat- en droogte schade.

Maar er zijn ook algemene opmerkingen te maken: als sprake is van een suboptimale watervoorziening waardoor de gewasgroei achterblijft, worden nutriënten in mindere mate opgenomen en bestaat het risico op uitspoeling daarvan, waardoor de waterkwaliteitsdoelen niet gehaald worden.

De boer streeft naar een goede gewasgroei op de landbouwgrond waarbij voldoende nutriënten nodig zijn, terwijl de natuur gebaat is bij schoon water in de sloten en de grondwateraanvulling. Bij de slootkanten komen deze tegengestelde bewegingen bij elkaar; de instelling van bufferzones of natuurvriendelijke oevers zonder landbouwactiviteiten langs watergangen (zoals de 3 m brede teelt- en bemestingsvrije zones uit de derogatie beschikking) kan bijdragen aan het verminderen/afvangen van emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater. De aanleg van infiltratiegreppels, drempels, bezinkplaatsen en helofytenfilters werken op een vergelijkbare wijze in het afvangen van emissies die in eerdere landbouwprocessen hebben plaatsgevonden.

Bij melkveebedrijven op **veengronden** zijn maatregelen die de waterstand binnen de percelen verhogen onvermijdelijk om de urgente doelen uit het NPLG te halen; dit is nodig om verdergaande afbraak van het veen en bijbehorende emissie van broeikasgassen te voorkomen. Een hoger waterpeil kan echter in het voorjaar leiden tot percelen met te weinig draagkracht voor dieren of machines; in de zomerperiode kan een hoger peil ook leiden tot minder droogteschade. Door peilverhoging in veenweidegebieden kan de afbraak van veen worden verminderd en/of gestopt; daarmee vermindert of stopt ook de bodemdaling. De huidige peilbesluiten kennen een flinke variatie: van gebieden in Friesland met een peil van 100 cm of meer onder maaiveld, naar gebieden in Noord-Holland waar het peil maar 20 cm lager is en percelen soms alleen varend bereikbaar zijn. In de afgelopen decennia waren peilbesluiten vaak gekoppeld aan het maaiveld, maar de toenemende bodemdaling zorgt ervoor dat dit niet meer houdbaar is. In de Friese veenweidestrategie is een berekening gemaakt voor het droogleggen van percelen van 60-120 cm naar 40 cm onder maaiveld, wat tot een reductie van de CO₂-emissie leidt van 49%. Voor de provincie Utrecht is met de huidige ontwatering van 40-60 cm de huidige CO₂-emissie per ha al ruim 40% lager dan in Friesland. In de veenweidestrategie van de provincie Utrecht wordt verder voor 90% van het veen ingezet op een peil van 40 cm beneden maaiveld; in combinatie met drukdrainage leidt dit tot een reductie van 45% van de huidige CO₂-emissie. Daarnaast wordt voor 10% van het areaal ingezet op een peilverhoging naar 20 cm beneden maaiveld. De helft hiervan betreft een transitie naar natte landbouw met drukdrainage, wat leidt tot een emissiereductie van 66% of natte natuur (beide de helft) zonder infiltratie via drainage, wat leidt tot een reductie van 34% (Arets et al., 2022).

Tot nu toe sturen waterschappen in veenweidegebieden meestal via het slootpeil, maar voor de oxidatie van het veen is de grondwater stand midden in het perceel veel meer van belang. Daarom wordt momenteel ook onderzocht wat effecten zijn van drainage, waarmee het slootpeil ook midden in het perceel bereikt wordt, of drukdrainage, waarmee het ook mogelijk is om het grondwaterpeil in de percelen in het voorjaar wat lager te zetten – om natschade te voorkomen, en in de zomer juist wat hoger – om droogteschade en afbraak van het veen te voorkomen. Dit zijn behoorlijk kostbare investeringen.

Ten slotte is in veengebieden oeverafkalving een probleem, doordat grazend vee water gaat drinken bij de sloot en daarbij het veen afbrokkelt. Dit is ongewenst, omdat de sloten steeds breder worden en het beteelbare oppervlak steeds kleiner. Door het afrasteren van de waterkant en het plaatsen van drinkbakken in het midden van de percelen kan dit worden voorkomen.

Bovenstaande maatregelen helpen om de vorming van emissies te voorkomen. De eerste stappen in vernatting zijn over het algemeen met beperkte aanpassingen in de bedrijfsvoering wel op te vangen. Maar als het peil steeds hoger wordt en naar -20 cm of hoger gaat, gaat zowel de grasopbrengst als de -kwaliteit omlaag en worden de oogst-/weidemogelijkheden beperkt, zodat de productie aanzienlijk vermindert. Een dergelijke structuurverandering van het grasland betekent minder ruwvoerbeschikbaarheid en/of een andere, meer extensieve bedrijfsvoering.

Voor **kleigebieden** bestaat het risico op verzilting, vooral de kleigebieden die bij de kust liggen. Daarnaast kan gedurende het seizoen sprake zijn van te veel of te weinig water. Bij te veel water kan de gewasgroei stoppen of ontstaan problemen met bewerkbaarheid van het land of oogsten van het gewas. Maatregelen ter voorkoming van droogteschade hebben betrekking op het realiseren van voorraden zoetwater, die in de zomer ingezet kunnen worden bij droge perioden. Door verzilting is beregening vanuit oppervlaktewater alleen een optie als dat zoet genoeg is; dit kan soms bereikt worden door doorspoeling van het oppervlaktewatersysteem vanuit rivierwater, maar dat lijkt in toenemende mate ontoereikend te zijn: door droogte is er ook minder rivierwater.

Ook voor **zandgebieden** is de balans van belang tussen enerzijds niet te veel water in voor- en najaar en anderzijds voldoende water in de zomerperiode. Waar in de afgelopen decennia de nadruk vaak lag op het tijdig realiseren van voldoende waterafvoer zodat de bodem snel kan opwarmen en de gewasgroei kan beginnen, blijkt in de laatste jaren dat de zomermaanden vaak zo droog zijn dat achteraf gezien meer water vastgehouden had moeten worden. Daarop zijn ook diverse maatregelen gericht, zoals infiltratie van gebiedseigen water en een hogere ontwateringsbasis in detailwatergangen, boerenstuwen en landbouwpercelen benutten als tijdelijke waterberging. Bij dergelijke maatregelen kan sprake zijn van meerkosten in het voor- of najaar, waartegenover meeropbrengsten staan van een goede groei in de zomer. Het realiseren van een goede efficiency van de ingezette landbouwmiddelen staat hierbij voorop.

Uiteraard is het ook voor omliggende natuurgebieden een voordeel als meer water wordt vastgehouden, waardoor verdroging van habitattypen kan worden verminderd. Bij sommige natuurgebieden zal de gewenste ontwateringsbasis zo hoog zijn dat voortzetting van de huidige landbouw eigenlijk niet meer mogelijk is (de natschade wordt te groot) en andere gewassen nodig zijn, zoals extensief grasland in plaats van maisland. In dat geval is sprake van een structuuraanpassing, waarbij ten behoeve van natuurherstel gekozen moet worden voor andere gewassen en/of lagere opbrengsten.

4.10 Agrarisch natuur- en landschapsbeheer

Onderstaande tabel bevat maatregelen die genomen kunnen worden in het agrarisch natuur- en landschapsbeheer op gronden van melkveebedrijven.

Tabel 19 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Agrarisch natuur- en landschapsbeheer/omgevingsbeheer.*

244	Versterken groenblauwe dooradering
245	Bufferstroken realiseren, perceelsranden (minder afspoeling, C-vastlegging en versterking biodiversiteit)
246	Heggen, boomwallen, slootkanten, perceelranden en bosschages aanleggen die passen op het bedrijf: samen zorgen ze voor een waardevolle en biodiverse omgeving
247	Beheer en onderhoud van landschapselementen
248	Aangepast agrarisch beheer (mozaïekbeheer, plasdras, overhoekjes, winterveldjes, perceel- en slootrandenbeheer)
249	Soorten specifieke maatregelen (nestkasten- of vlotjes, erfbeplanting etc.)
250	Natuurbegrazing in uiterwaarden
251	Aanleg van plasdrasgebieden (t.b.v. weidevogels)
252	Stapelmurtjes, houtstapels en andere schuilplaatsen
253	Bijenhoudery ondersteunen ten behoeve van versterking van biodiversiteit in kwetsbare zones
254	Verschralen grasland door uitmijnen van fosfaat

Naast de indirecte verbetering van de omstandigheden voor de natuur via vermindering van stikstofemissies, broeikasgassen en uitspoeling van stoffen naar het grond- en oppervlaktewater, kunnen ook maatregelen worden genomen die een directe bijdrage leveren aan leefgebieden van soorten. Het gaat vaak om het niet-agrarisch gebruik van kleine stukjes grond, zodat de natuur daar haar gang kan gaan; het gaat dan bijvoorbeeld om akkerranden, slootkanten en overhoekjes. Eventueel kan daar nog specifiek beheer op toegepast worden, zoals het aanleggen van heggen, boomwallen, bosschages, nestkasten of vlotjes, erfbeplanting, stapelmurtjes, houtstapels of andere schuilplaatsen, die kunnen bijdragen aan een goede groenblauwe dooradering van het landschap. Het houden van bijen kan bijdragen aan het verbeteren van bestuiving van landbouwgewassen, maar ook van plantensoorten in de natuur.

Verdergaande maatregelen zijn het combineren van landbouw en natuurdoelen, via bijvoorbeeld mozaïekbeheer en plasdraspercelen voor weidevogels, wintervoedselveldjes voor akkervogels of natuurbegrazing in uitwaarden (extensief, begrazing afgestemd op gewenst natuurbeheer). Ook het uitmijnen van fosfaat (gewasproductie zonder fosfaatbemesting) zou je hieronder kunnen scharen. Ook deze maatregelen zijn weer te beschouwen als structuuraanpassing, waarbij gekozen wordt voor productieverlaging in de landbouw om betere omstandigheden voor bepaalde soorten te realiseren. Als

akkerranden- en slootkantenbeheer substantiële oppervlakten in beslag nemen, kan dat ook als structuurverandering beschouwd worden. Dergelijke extensiveringen van de landbouw zullen in het algemeen ook een positieve bijdrage leveren aan de milieudossiers van stikstof, klimaat en water.

4.11 Bedrijfsmanagement/bedrijfssysteem

Tabel 20 bevat maatregelen die genomen kunnen worden in het bedrijfsmanagement van melkveebedrijven.

Tabel 20 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Bedrijfsmanagement/Bedrijfssysteem.*

255	Vermindering van de veestapel
256	Overstappen naar een volledig gras gevoerd bedrijf
257	Gebruikmaken van een hulpmiddel of tool om inzicht te krijgen in nutriënten- en gewasbeschermingsmiddelenemissies
258	Voorzieningen aanleggen om emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen tegen te gaan
259	Bevorderen van samenwerking voor roulatie grondgebruik om uitputting van de bodem te voorkomen en/of bodemstructuur te verbeteren
260	Een bedrijfsplan natte teelten opstellen
261	Gebruikmaken van beslissingsondersteunende systemen voor beregening, bemesting en gewasbescherming
262	Extensieve beweiding toepassen (maximaal 1,5 GVE per ha)
263	Bemestingsplan opstellen
264	Bodempaspoort opstellen
265	Kringlooplandbouw toepassen: minimaliseren van onnodig gebruik en verliezen op gebied van onder andere: nutriënten, mineralen, energie, water, grondstoffen, gewasbescherming, goed bodembeheer en hergebruik van restproducten (ook overkoepelend m.b.t. andere bedrijfsonderdelen)
266	Deelnemen aan kennisuitwisselingsprogramma's, studiegroepen of themabijeenkomsten
267	Inzetten van slimme technologie, sensoren die de conditie van vee en bodem meten en de boer adviseren en gebruiken van gps op de machines of met robots
268	Gemengde vormen van akkerbouw/veeteelt toepassen
269	Gebouwen / erf – zie volgende paragraaf

De meeste maatregelen die onder het kopje bedrijfsmanagement/bedrijfssysteem vallen, hebben betrekking op verbetering van efficiency. Voorbeelden zijn het gebruik van tools om de huidige emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen in beeld te krijgen, het maken van een bemestingsplan en een bodempaspoort, het gebruik van beslissingsondersteunende systemen voor beregening, bemesting en gewasbescherming, het toepassen van principes van kringlooplandbouw, kennisuitwisseling, inzet slimme technologie, sensoren en precisielandbouw. Ook de introductie van nieuwe bedrijfssystemen zoals gemengde vormen van akkerbouw en melkveehouderij kunnen daaraan een bijdrage leveren. Al deze maatregelen zijn erop gericht om een hogere productie te behalen, of een vergelijkbaar productieniveau met de inzet van minder meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Dit draagt bij aan lagere emissies naar de lucht en naar grond- en oppervlaktewater.

De vermindering van de veestapel, overschakeling naar natte teelten in veenweidegebieden of naar een volledig gras-gevoerd bedrijf of het toepassen van extensieve beweiding met maximaal 1,5 gve per ha kunnen beschouwd worden als structuuraanpassingen, waarin de huidige productieniveaus worden verlaagd naar niveaus waarop minder emissies plaatsvinden. Ook de omschakeling naar bijvoorbeeld biologische productie zal vaak gepaard gaan met lagere productieniveaus, waardoor dit ook te beschouwen is als een vorm van extensivering.

4.12 Energie gebruik en productie, gebouwen en erfinrichting

Tabel 21 bevat maatregelen die genomen kunnen worden op het gebied van energiegebruik en productie, gebouwen en erfinrichting van melkveebedrijven.

Tabel 21 *Maatregelen inventarisatie melkveehouderij – Energie, erf en gebouwen.*

Energie gebruik/productie	
270	Energiezuinige verlichting toepassen (bijvoorbeeld led)
271	Besparen op energieaanvoer door eigen productie
272	Gebruiken van windmolens
273	Gebruiken van zonnepanelen op daken
274	Op diesel rijdende voertuigen vervangen door elektrische voertuigen (bijvoorbeeld minishovel)
275	Toepassen van voorcoeler en/of warmteterugwinningssysteem (WTW) om energie te besparen
276	Herinrichting erf (scheiden vuil- en schoonwaterafvoer; perssap opvangen; aanleggen van een opvangvoorziening voor het bergen en zuiveren van verontreinigde erfafspoeling)
277	Saneren van hotspots: opp. afspoeling vanaf verhard oppervlak buiten het erf (bv. vaste rijpaden) en vanaf intensief bereden of betreden plekken op een perceel (veeverzamelplekken, kopakkers, looppaden op het perceel, etc.). Saneren kan bestaan uit het verplaatsen naar een plek op grotere afstand van de sloot, of het treffen van bergingsvoorzieningen waar de afspoeling naartoe wordt geleid voor bezinken en infiltreren, of het introduceren van verplaatsbare drink- en/of schaduwplekken.
Gebouwen	
278	'Natuurinclusieve' bedrijfsgebouwen/toepassen circulaire bouwmaterialen
Erfinrichting	
279	Maatregelen voor versterken natuurwaarden, bijvoorbeeld nestkasten e.d.

Uiteraard is het voorkomen van energiegebruik een belangrijke eerste stap – belangrijke voorbeelden op melkveebedrijven zijn de toepassing van ledverlichting en een voorcoeler of warmte-terugwinningssysteem, om de energie in de warme melk te benutten, in plaats van energie te gebruiken om het te koelen. Daarnaast hebben veel landbouwbedrijven ruime mogelijkheden om zelf energie op te wekken via bijvoorbeeld zonnepanelen op daken en het realiseren van windmolens. Strikt genomen valt het dieselgebruik van trekkers niet onder de landbouwsector, maar onder de sector mobiliteit; we noemen de maatregel hier wel, omdat het toch op landbouwbedrijven moet gebeuren. Door over te gaan op elektrische voertuigen zal het stroomgebruik weer toenemen, wat op veel bedrijven relatief eenvoudig opgewekt kan worden via zonnepanelen op daken, windenergie of biogasproductie.

Veel landbouwbedrijven zijn momenteel al bezig met de opwekking van energie uit wind, zon of biogas. Sommige bedrijven hebben ook gras- of bouwland omgezet naar zonneparken. Dat is een structuraanpassing waarbij ruimte van de landbouwsector overgaat naar de energiesector en de landbouwproductie lager wordt. Het toepassen van circulaire bouwmaterialen leidt ertoe dat minder emissies ontstaan bij de productie daarvan. Daarnaast kunnen via kleine aanpassingen voorzieningen worden gerealiseerd voor bepaalde soorten, die daardoor betere mogelijkheden hebben voor bijvoorbeeld voortplanting.

Ten slotte zijn de inrichting van het erf en de looplijnen van het melkvee een aandachtspunt: bij bepaalde looplijnen of wachtplekken van melkvee kan afspoeling plaatsvinden van mest en urine naar het grond- en oppervlaktewater. Dat kan ook gelden voor perssappen afkomstig van voeropslagen op het erf. Het opvangen van dergelijke verliesstromen in bijvoorbeeld de mestopslag of in een speciale voorziening waarin zuivering plaatsvindt, kan een bijdrage leveren aan de vermindering van verontreiniging van grond- en oppervlaktewater met nutriënten. Deze maatregelen werken volgens het principe dat emissies worden afgevangen.

4.13 Synthese melkveehouderij

In onderstaande paragraaf worden de vier milieudossiers besproken, gevolgd door een integrale beschouwing – werken maatregelen elkaar tegen of is er juist sprake van onderlinge versterking? Ten slotte wordt nog de koppeling gelegd tussen de milieupgave en de energietransitie.

Stikstof

De uitstoot van ammoniak bij melkveehouderijbedrijven vindt vooral plaats in de stal en bij het uitrijden van mest. Allereerst is beperking van de N-excretie in mest van belang, door het RE-gehalte in het rantsoen te optimaliseren. Het samenkomen van mest en urine op de stalvloer en vervolgens maandenlange opslag van deze drijfmest onder de roosters in de stal is uit het oogpunt van ammoniakemissie (en broeikasgassen) een ongunstig systeem. Aanpassing van dit 'traditionele' meststelsel is cruciaal om emissie van ammoniak uit de melkveestal te beperken: de meest RAV-maatregelen zijn daarom gebaseerd op het emissie-reducerende principe om urine zo snel en volledig mogelijk af te voeren en daarna emissiearm op te slaan (als urine of drijfmest).

Een substantiële vermindering van de stalemissie is haalbaar als mest en urine (waarin de meeste N zit) zo snel en schoon mogelijk van de (dichte) stalvloer worden afgevoerd naar aparte, gesloten opslagen. Spoelen met water of opname door een substraat, zijn mogelijkheden om deze afvoer snel en goed te doen. De aanvullende stap van reiniging van lucht uit afgesloten mestopslagen en eventueel ook van lucht dicht bij de stalvloer, zorgt ervoor dat de ammoniak die alsnog ontstaat, kan worden afgevangen en opgeslagen, om vervolgens te dienen als meststof. Luchtdicht opslaan geeft ook de mogelijkheid om methaan uit mest af te vangen en om te zetten (zie 'klimaat').

Bovenstaande stalaanpassingen brengen aanzienlijke investeringen met zich mee. Anderzijds bieden schonere en drogere vloeren kansen voor verbetering van dierenwelzijn via klauwgezondheid, minder kans op uitglijden en betere luchtkwaliteit. Beweiding zorgt ervoor dat het emissiepercentage van N in de mest dat emitteert als ammoniak bijna tienmaal zo klein is als dat van mest in de stal (dat ook moet worden uitgereden). Het vergroten van het aantal weide-uren kan daarom een relatief voordelige stap zijn voor bedrijven met een voldoende grote huiskavel om een beperking van de stalemissie te realiseren. Aandachtspunt daarbij is nog wel om meer onderzoek te doen naar emissies bij weiden; de huidige emissiefactor is gebaseerd op weinig metingen (<https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-Inv/expertisegebieden/kennisonline/add-beweiding-verbetering-modellen.htm>).

Het uitrijden van melkvee drijfmest is de tweede grote ammoniakemissiebron. Momenteel zijn er al diverse technieken voorgeschreven om ervoor te zorgen dat het emissiearm gebeurt. Om de ammoniakemissie verder omlaag te brengen, zijn het juist toepassen van de voorgeschreven technieken en zo nodig toevoegen van extra water eerste stappen. Ook het toepassen van meer beweiding biedt kansen door lagere opslag- en aanwendingsemisies, eventueel in combinatie met stalmaatregelen (water, ventilatie) (Van Dooren et al., 2019). Een verdergaande stap is de productie van verschillende soorten mest, zoals afgevangen urine, een dikke en dunne fractie door mestscheiding en spuiwater van een luchtwasser, waarvan het uitrijden mogelijk (maar niet per definitie) tot lagere emissies kan leiden (zie bv. Jumpstart, Reform en de SBV-aanvragen).

Klimaat

Op melkveebedrijven ontstaan broeikasgas(BKG-)emissies vooral door methaanvorming in de pens en dikke darm van het melkvee ('enterische methaanemissie'), waarvan het grootste deel wordt uitgedemd bij het herkauwen. Daarnaast ontstaat ook methaan bij de opslag van drijfmest en kan vorming en emissie van lachgas ontstaan bij het toedienen van kunstmest en dierlijke mest of bij urineplekken door beweiding in grasland. Daarnaast ontstaan broeikasgassen in de vorm van CO₂ door gebruik van energie op het bedrijf, zoals bij gebruik van diesel voor landbewerking en elektriciteit voor verlichting, melken en schoonmaken. Ook zijn broeikasgasemissies geassocieerd met de productie van aangekochte producten, zoals kunstmest en voedermiddelen (carbon footprint).

Mogelijke oplossingen om de grootste bron van broeikasgasemissies uit de melkveehouderij, enterische emissie van methaan, te verminderen, zijn enerzijds gericht op beter voer- en diermanagement waardoor

een efficiëntere omzetting van voer naar melk en vlees en hogere productiviteit kan worden gerealiseerd en een efficiënter gebruik van inputs en minder opfokemissies. Anderzijds zijn er oplossingen die ingrijpen op de vorming van methaan in de pens, zoals het gebruik van voeradditieven, het aanpassen van rantsoenen (samenstelling, kwaliteit, keuze voedermiddelen en grondstoffen) en, op de langere termijn, het genetisch selecteren (fokken) op dieren met een lagere methaanproductie. Rantsoenmaatregelen zijn een belangrijke ingang om op methaanemissies te sturen, maar ook ingewikkeld i.v.m. koppelingen met andere bedrijfsonderdelen (bv. inputs, gewasteelt, mest) en mogelijke afwentelingen en synergiën naar andere thema's (bv. waterkwaliteit, ontbossing, diergezondheid en -welzijn, productiviteit etc.).

Voor het reduceren van methaan uit mest is afvoer naar een dichte opslag noodzakelijk waar vervolgens methaan kan worden afgevangen. Vervolgstappen kunnen zijn om methaan te oxideren (thermisch of biologisch), waarbij methaan wordt omgezet in het minder schadelijke kooldioxide, of te benutten voor anaerobe vergisting waarbij tevens biogas wordt geproduceerd.

Gebruik en productie van hernieuwbare energie kan fossiele energiegebruik beperken en bijdragen aan de energietransitie. De hierboven genoemde productie van biogas uit dagverse mest kan daarin een belangrijke bijdrage zijn. Verder is op de meeste melkveebedrijven veel ruimte op staldaken en erf om een groot deel van de eigen energiebehoefte op te wekken met zonnepanelen of windenergie. Ook wordt geëxperimenteerd met zinvolle combinaties van zonnepanelen en grasland voor melkveehouderij.

Het grondgebruik is een belangrijke schakel als het gaat over landgebonden emissies van broeikasgassen. Bij gebruik als grasland is er meer kans op koolstofvastlegging in de bodem dan bij gebruik als maisland; anderzijds heeft dit ook invloed op de rantsoensamenstelling waardoor er een relatie bestaat met enterische methaanemissies, productiviteit van dieren en is de DS-opbrengst van gras lager. Voor beide geldt dat het belangrijk is om bodembewerkingen zo veel mogelijk te minimaliseren. Een lager kunstmestgebruik levert een belangrijke bijdrage aan het reduceren van BKG-emissies en kan op diverse manieren gereduceerd worden (bv. precisiebemesting, gebruik van klavers, lage carbon footprint fertilizers). Bij veengronden is de ontwatering cruciaal – de combinatie van peilverhoging met drukdrains lijkt het effectiefst om afbraak van veengrond te verminderen in combinatie met behoud van mogelijkheden voor melkveehouderij. Bij het nog verder terugdringen van emissies uit veengronden is verlies van de landbouwkundige functie of natte teelten voor de hand liggend, waarbij mogelijk minder dieren gehouden kunnen worden i.v.m. onvoldoende ruwvoervoorziening.

Water

In het kader van de derogatie wordt de waterkwaliteit onder melkveebedrijven goed onderzocht. Het blijkt dat in de meeste gebieden de kwaliteitsnormen gehaald kunnen worden als veehouders een voldoende groot aandeel grasland hebben. Door preciezer te bemesten, onder andere door bijvoorbeeld verschillende meststoffen te gebruiken, kan beter worden voldaan aan de gewasbehoefte en kunnen verliezen naar grond- en oppervlaktewater verder verminderen. Vooral in kwetsbare gebieden is dat van belang. Zo nodig kan de aanleg van bufferstroken daarbij een rol spelen: hierin worden emissies opgevangen voordat ze in het water komen. Dat geldt ook voor zogenaamde hotspots in percelen of op het erf.

Voor de waterhoeveelheid is de afgelopen jaren duidelijk geworden dat niet alleen natuurgebieden, maar ook landbouwbedrijven steeds vaker last hebben van droogte. Dit betekent dat het belangrijk is om meer mogelijkheden te hebben om te gaan met wateroverlast enerzijds en watertekort anderzijds. In sommige gebieden zal dat leiden tot een andere gewaskeuze, bijvoorbeeld meer zouttolerante gewassen in gebieden waar verzilting een rol speelt, en teelt van andere voedergewassen of omzetting naar kruidenrijk of extensief grasland in beekdalen van zandgebieden, en waar nodig vernatting met het oog op natuurbehoud en -herstel.

Natuur

Naast bovenstaande indirecte maatregelen voor de natuur (via stikstof, klimaat en water), kunnen landbouwbedrijven ook andere maatregelen nemen die bijdragen aan overige lokale biodiversiteit. Eerste stap is het met rust laten van de niet-landbouwgronden, zoals perceelranden, slootkanten en overhoekjes, of deze juist te voorzien van zinvolle beplanting of structuren, zoals heggen en houtwallen, die medegebruik door natuurlijke soorten bevorderen.

Meer ingrijpende stappen zijn aanpassingen op landbouwpercelen zelf, zoals toepassen van kruidenrijk grasland, vogelakker, aanleg van een plasdras of een meer extensieve productie, waardoor natuurlijke soorten beter de kans krijgen om zich te ontwikkelen op landbouwgronden, zoals weidevogels en insecten. Deze stappen gaan meestal gepaard met een lagere productie, waardoor de landbouwstructuur verandert.

Integrale beschouwing

Het blijkt dat er in de melkveehouderij een veelheid aan maatregelen mogelijk is, die in meer of mindere bijdragen aan de vier belangrijke milieudoelen stikstof, klimaat, water en natuur. De onderbouwing van de effecten op deze milieudoelen verschilt per maatregel: van sommige is veel onderzoek beschikbaar, voor andere geldt dat het kennisplaatje nog niet compleet is. Daarnaast lijkt het erop dat soms sprake is van tegengestelde effecten op de vier milieudoelen, maar meestal lijkt er sprake van onderlinge versterking op de verschillende milieudossiers. Verschillende oplossingsrichtingen kunnen worden onderscheiden, waaruit tevens verschillende combinaties gemaakt kunnen worden, zoals:

- Efficiëntie stappen doorvoeren gericht op milieu en economie, waarbij milieu vooropstaat;
- Investeren in technische innovaties, zoals voeradditieven, emissiearme stallen en mestaanwending, mestvergisting en -scheiding;
- Natuurinclusieve bedrijfsvoering – zo veel mogelijk gebruikmaken van natuurlijke processen, weinig inputs van buiten, zoals gebruik van klaver, melkvee meer weiden;
- Extensivering – het aanpassen van de bedrijfsvoering naar een *lager productieniveau*, waarbij minder emissies naar het milieu ontstaan en meer mogelijkheden voor combinaties van landbouw en natuur.

Meer beweiding toepassen is een voorbeeld dat positief uitpakt voor ammoniak en natuur, maar mogelijk negatieve effecten kan hebben op klimaat en uitspoeling van stikstof. In gebieden met een slechte waterkwaliteit zouden bedrijven hiermee terughoudend moeten zijn. Mestvergisting en -scheiding bijvoorbeeld dragen bij aan de vermindering van ammoniakuitstoot en broeikasgassen en tot verbetering van de waterkwaliteit, door de mogelijkheid van gerichte inzet van diverse mestproducten. Ook levert het een bijdrage aan de energietransitie.

De veelheid aan mogelijke maatregelen enerzijds en de variatie in bedrijfstypen, bedrijfsvoeringen en fysieke gebiedsomstandigheden anderzijds, maakt het niet mogelijk om een mandje maatregelen te selecteren die Nederland-breed goed uitpakken. Het maken van een pakket per gebied is iets dat de komende jaren in gebiedsprocessen opgepakt gaat worden. In het algemeen kan wel gesteld worden dat efficiencymaatregelen in de vorm van productieverhoging met dezelfde inputs, of het behalen van dezelfde productie met minder inputs, voor alle situaties een relevante bijdrage kan leveren. Dagontmesting in combinatie met vergisting is een maatregel met veel positieve effecten, maar zal op kleine extensieve bedrijven, die ook veel beweiding kunnen toepassen, relatief erg duur zijn.

Een deel van bovenstaande oplossingsrichtingen is al ingevoerd door diverse vormen van wet- en regelgeving op het gebied van mest en inrichting van stallen. Dit blijkt deels effectief te zijn in die zin, dat nieuwe technieken wel worden toegepast. Een stevige stimulans om deze nieuwe technieken ook effectief te laten zijn, ontbreekt echter, waardoor de effectiviteit van nieuwe technieken in de praktijk minder groot is dan verwacht. Dat geldt ook voor efficiencystappen die bedrijven kunnen nemen om verliezen naar het milieu te verminderen. Deze kunnen uiteraard wel zorgen voor kostenbesparingen, maar vaak zijn er ook beperkte investeringen in geld en/of arbeid nodig om dat voor elkaar te krijgen. Daardoor zullen ook deze maatregelen pas bij een stevige stimulans grootschalig opgepakt worden.

Voor veel bedrijven is de strategie geweest dat investeringen in milieumaatregelen zijn geïmplementeerd in combinatie met bedrijfsvergroting. Als echter in de komende jaren productierechten van stoppende bedrijven worden overgenomen door de overheid in het kader van opkoopregelingen, zal die strategie minder toepasbaar zijn en is een nieuw financieringsmechanisme nodig voor milieumaatregelen, zoals:

- True pricing – het belasten van emissies naar het milieu;
- Subsidies op toepassing van milieuvriendelijke technieken, in combinatie met monitoring op een goede werking.

Bij het overstappen naar een meer natuurinclusieve bedrijfsvoering kan sprake zijn van een kostendaling. Deze kan een beperkte opbrengstdaling compenseren, waardoor het bedrijfsinkomen op peil kan blijven. Een

vergaand voorbeeld hiervan is (overstappen naar) biologische bedrijfsvoering, waarbij een hogere opbrengstprijz helpt om de daling van opbrengsten en inkomsten op te vangen. Deze hogere voedselprijzen worden momenteel door slechts een klein deel van consumenten betaald.

Bij een overstap naar een meer extensieve bedrijfsvoering is meestal sprake van een sterkere afname van de opbrengsten dan van de kosten, waardoor het bedrijfsinkomen onderuitgaat. Dit kan soms worden opgevangen via de keten in de vorm van een speciaal product met een veel hogere prijs. Maar om hierin grote stappen te zetten, lijkt een gerichte vergoeding van de overheid voor de geleverde eco-diensten veel meer voor de hand te liggen. Een andere mogelijkheid is dat de benodigde extra grond voor extensivering door de overheid beschikbaar wordt gesteld via bijvoorbeeld de inzet van landschapsgrond, waarvan de kosten veel lager zijn dan landbouwgrond.

Bij structuuraanpassingen in de vorm van extensivering zijn voor stikstof, water en natuur meestal duidelijk positieve effecten te verwachten van lagere productieniveaus. Maar als we kijken naar klimaateffecten ligt er wel een belangrijke afwenteling op de loer. Als de consumptie namelijk gelijk blijft, mag verwacht worden dat de verminderde Nederlandse productie elders zal plaatsvinden met vergelijkbare of mogelijk hogere emissies van broeikasgassen, zodat onze planeet als geheel daar niets mee opschiet. Een positief effect lukt alleen als een lagere productie van de veehouderij samengaat met een lagere consumptie.

Koppeling met de energie transitie

De twee praktijkvoorbeelden (verticale zonnepanelen en vergisting van dagverse mest) laten zien dat de sectorale opgaves op het gebied van Duurzame Landbouw en Duurzame Energie op het boeren erf en boerenland samengaan en dat er sprake kan zijn van synergiën met het behalen van landbouwmilieudoelen.

Duurzame energieproductie op het boeren erf is tamelijk nieuw. Het wordt momenteel sterk gestimuleerd door de hoge energieprijzen. Volgens de PPS Energie en Landbouw kan de introductie van duurzame energieopwekking op het boeren erf een vliegwieleffect hebben op verduurzaming van de landbouw.

De invulling zal per agrosector verschillen. In de Nederlandse fruitteeltsector bijvoorbeeld zijn zes praktijkvoorbeelden met semitransparante PV-panelen boven fruitteelt, die zowel de klimaatrisico's voor de telers beperken als het gebruik van water en gewasbeschermingsmiddelen sterk reduceren. Dergelijke agri-PV-concepten zijn op dit moment in ontwikkeling in alle agrosectoren, met maatwerk, zoals de verticale panelen op grasland bij een melkveebedrijf. Het is belangrijk dat oplossingen passen in de gebieden en in de keten. Nationaal en internationaal wordt door bedrijven en overheden in deze innovatieve technologieën geïnvesteerd.

Het is echter geen vanzelfsprekendheid dat andere milieudoelen worden mee gekoppeld met deze energiemaatregelen. De ondernemers in beide praktijkvoorbeelden kiezen er zelf voor om de inkomsten uit energieopwekking aan te wenden voor aanvullende investeringen in milieumaatregelen, zoals de mineralenscheider naast de mestvergister of in de asbestsanering.

Het is de vraag of het nodig is om die synergiën tussen duurzame energieopwekking met milieudoelen beleidsmatig af te dwingen. Die noodzaak is in deze studie niet onderzocht. Er loopt op dit moment wel een verkennende WOT-studie naar 'value capturing in het landelijk gebied', met als vraag wat (juridische) mogelijkheden hiervoor zijn in brede zin en hoe het toegepast kan worden bij wind- en zonne-energie en waarom dat laatste in de praktijk nog niet zo vaak lijkt te gebeuren, althans niet verplichtend vanuit gemeenten (Kamphorst, 2022, mondelinge mededeling).

5 Discussie en conclusies

Er is de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar milieumaatregelen op landbouwbedrijven. Er zijn op verschillende dossiers, zoals de uitstoot van ammoniak en de verontreiniging van grond- en oppervlaktewater door de landbouw, ook al flinke reducties bereikt. Dit alles heeft echter nog niet geleid tot een robuust herstel van de natuur. In veel natuurgebieden zijn de condities voor veel soorten en habitattypen nog onvoldoende voor een gunstige staat van instandhouding. Verder zal de landbouw ook een bijdrage moeten leveren aan de vermindering van broeikasgasemissies en rekening houden met klimaatadaptatie: het opvangen van de gevolgen van klimaatverandering.

Veel onderzoeken naar milieumaatregelen zijn echter ingestoken vanuit slechts één aspect, waardoor het integrale resultaat ontbreekt. Ook is nog weinig onderzocht welke interacties en mogelijke trade-offs er zijn tussen verschillende maatregelen. Op het landbouwbedrijf komen de verschillende opgaven bij elkaar. De boer staat voor de uitdaging om vanuit het brede palet van mogelijke maatregelen keuzes te maken die voor zijn bedrijf voldoende effectief zijn, en waarbij een rendabele bedrijfsvoering nog mogelijk is.

In dit rapport zijn 135 maatregelen voor akkerbouwbedrijven en 285 voor melkveebedrijven in overzichten per bedrijfsonderdeel bij elkaar gezet. Genoeg mogelijkheden dus om bij te dragen aan het halen van de milieudoelen voor de landbouw. Maar zoals al eerder vermeld, zijn de mogelijkheden en effecten sterk afhankelijk van de bedrijfssituatie met betrekking gewassen, dieren, grondsoort, waterhuishouding en ligging ten opzichte van kwetsbare natuur en stedelijke omgeving. Het is ondoenlijk om alle mogelijke combinaties van bedrijven, omgevingen en maatregelen te onderzoeken en vervolgens de effecten van de maatregelen te beschrijven. Wel biedt dit geheel aan maatregelen aanknopingspunten voor oplossingsrichtingen, zowel per milieuthema als integraal. De uiteindelijke uitwerking is maatwerk, dat conform het NPLG voor een belangrijk deel op gebiedsniveau verder uitgewerkt moet worden.

Daarbij hebben we nog geen aandacht besteed aan de financiering van de maatregelen. Voor sommige maatregelen geldt dat ze leiden tot meeropbrengsten of kostenbesparingen, maar voor de meeste geldt dat het totaalplaatje van de financiën op bedrijfsniveau negatief is, wat betekent dat aanvullende financiële middelen nodig zijn om een duurzame productie mogelijk te maken. Voorbeelden zijn subsidies voor investeringen in nieuwe emissiearme technieken of financiële prikkels die een bedrijfsvoering met weinig emissies belonen en die met veel emissies belasten.

Voor akkerbouw- en melkveebedrijven komen we voor de vier milieudossiers ammoniak, klimaat, water en natuur uit op de volgende conclusies.

Wat betreft de **ammoniak** uitstoot uit de akkerbouw en veehouderij zijn de emissies uit stallen en bij uitrijden van de mest de grootste bronnen. Voor de stallen geldt er in de melkveehouderij nog niet veel is gebeurd om emissies te beperken. Ca. 80% van het melkvee wordt gehouden in ligboxenstallen waar drijfmest op en onder de roosters verzameld en maandenlang opgeslagen wordt, om voor en tijdens het groeiseizoen te worden uitgereden. Er zijn wel veel emissiearme vloeren ontwikkeld, maar de werking ervan in de praktijk blijkt tegen te vallen. Door aanvullende bedrijfsemissemetingen kan dat beter geborgd worden. Om tot een belangrijke emissiereductie te komen, moet urine in de stal zo veel mogelijk gescheiden worden opgevangen en snel in een afgesloten ruimte worden opgeslagen. Door aanvullende behandelingen van de vloer met water en het afzuigen van de lucht vanaf de vloer naar een luchtwasser, kan de emissie nog verder worden verlaagd. Waar afsluiting van mestkelders moeilijk of duur is, kunnen toevoegmiddelen wellicht nog soelaas bieden.

Voor het uitrijden van drijfmest zijn al emissiearme technieken verplicht, maar die leiden nog steeds tot ca. 17% uitstoot van ammoniak. Verdergaand finetunen van machines en verdunnen met water kan mogelijk nog enige extra reductie teweegbrengen, maar om nog een substantiële reductiestap te maken, moet drijfmest zo veel mogelijk vermeden worden. Dan kan enerzijds op melkveebedrijven door het toepassen van

meer beweiding en anderzijds door mest in de stal zo veel mogelijk gescheiden op te vangen, of in de vervolgstappen te scheiden, waarbij stikstof zo veel mogelijk in een waterige fractie komt (N-stripper), die met een lagere emissie kan worden uitgereden.

De emissie van **broeikasgassen** ontstaat vooral in de vorm van methaan in het maagdkanaal van het melkvee en tijdens de opslag van mest. Daarnaast kunnen lachgasemissies ontstaan bij bemesting van het land en CO₂-emissie bij afbraak van ontwaterd veen. En ten slotte ontstaan emissies door het gebruik van diesel, gas en elektriciteit.

De enterische methaanemissie van melkvee kan beperkt worden door aanpassingen in het rantsoen, voederadditieven en fokkerij. Op korte termijn lijken voederadditieven het effectiefst. De emissie tijdens mestopslag kan voorkomen worden door open kelders te vervangen door gesloten opslagen. Nog beter is het vergisten van dagverse mest – dan kan de gemakkelijk afbreekbare organische stof gebruikt worden om een bijdrage te leveren aan het voorkomen van het gebruik van fossiele energiebronnen. Doordat de mest hierbij uit de stal gaat, zal ook de ammoniakemissie vanuit de stal lager zijn.

De emissies van lachgas bij bemesting kan beperkt worden door zo veel mogelijk de juiste bemesting op het juiste moment te doen, in een zo laag mogelijke hoeveelheid. Beperking van het kunstmestgebruik leidt ook indirect tot minder broeikasgassen, die vrijkomen bij de productie ervan. Beperking van bodembewerkingen kunnen leiden tot meer koolstofopslag in de bodem en tot minder energiegebruik door trekkers. Een verhoogd organischestofgehalte in de bodem kan daarbij ook goed uitpakken voor bodem- en waterbeheer en daarmee gewasgroei.

De emissie van CO₂ uit veenbodems kan beperkt worden door de ontwateringsbasis te verhogen (in combinatie met (druk)drainage), eventueel in combinatie met natte teelten.

Door daken van stal- en opslaggebouwen te voorzien van zonnepanelen, kunnen landbouwbedrijven een belangrijke bijdrage leveren aan hun eigen en de maatschappelijke energietransitie. Dat geldt ook voor de toepassing van windmolens (variërend van een kleine bedrijfsmolen tot een grote buurtmolen) en de aanleg van zonnepanelen in het veld. Bij toepassing van monofunctionele zonneparken daalt het landbouwareaal, maar door toepassing van bijvoorbeeld verticale of mobiele panelen zijn goede combinaties mogelijk van landbouw en energieopwekking.

De **waterkwaliteit** staat vooral onder druk door uit- of afspoeling van niet-benutte meststoffen in de akkerbouw; uiteraard kan dit ook op grasland gebeuren, maar daar is het risico minder groot, doordat er jaarrond sprake is van een gewas, dat ook bij wat kouder weer nog actief kan zijn. Ten behoeve van de waterkwaliteit is een zo precies mogelijke bemesting van belang: op het juiste moment, de juiste meststof, in de juiste hoeveelheid, op de juiste plaats. En vervolgens helpt de inzet van groenbemesters voor de periode dat er geen gewas staat. Ten slotte kunnen bufferstroken bijdragen aan een betere waterkwaliteit. Maar bij sommige combinaties van gewas, bodem en waterhuishouding blijft het moeilijk om de uitspoeling beneden de norm te krijgen – in die gevallen lijkt een omschakeling naar andere gewassen de enige optie, vaak met nadelige gevolgen voor het bedrijfssaldo.

Om energiegebruik bij de kunstmestproductie te verminderen en kringlooplandbouw te bevorderen, is een vermindering van het kunstmestgebruik met optimaal gebruik van dierlijke mest aan te bevelen. Een goede kwaliteit is daarbij cruciaal, zodat alleen bemest wordt met de nutriënten die het gewas nodig heeft. Als bij de productie van mest een scheiding plaatsvindt in verschillende meststromen, kan dit leiden tot meer gebruik van dierlijke mest, met minder risico's op een slechte waterkwaliteit.

Daarnaast kan in de melkveehouderij uitspoeling van stikstof ontstaan via urineplekken. Vooral bij beweiding in het najaar is het van belang om dit in de gaten te houden.

Naast bovenstaande indirecte maatregelen voor de **natuur** (via stikstof, klimaat en water) kunnen landbouwbedrijven ook andere maatregelen nemen die bijdragen aan de lokale biodiversiteit. Eerste stap is het met rust laten van de niet-landbouwgronden, zoals perceelranden, slootkanten en overhoekjes, of deze juist te voorzien van zinvolle beplanting of structuren, zoals heggen en houtwallen, die medegebruik door

natuurlijke soorten bevorderen en waardoor de groenblauwe dooradering van het landschap wordt verbeterd. Ook het toepassen van meer diversiteit in de gewassen kan behulpzaam zijn voor de natuur.

Meer ingrijpende stappen zijn aanpassingen op de landbouwpercelen zelf, zoals het toepassen van kruidenrijk grasland, vogelakkers, plasdraspercelen of een meer extensieve productie, waardoor natuurlijke soorten beter de kans krijgen om zich te ontwikkelen op landbouwgronden, zoals akker- en weidevogels en insecten. Deze stappen gaan meestal gepaard met een lagere productie, waardoor de landbouwstructuur verandert.

Samenvattend

Er zijn veel maatregelen mogelijk om de milieudoelen te behalen. Grofweg zijn de oplossingsrichtingen om de stikstof-, klimaat-, water- en natuurdoelen te behalen op te delen in twee sporen:

- *Enerzijds een focus op verdere efficiëntie, met daarmee minder emissies per product. Dit is de focus die al decennialang de overhand heeft in de Nederlandse landbouw, die vaak gepaard gaat met technologie en investeringen en de sector veel efficiëntie en innovatie heeft opgeleverd. Deze ontwikkelrichting is samengegaan met opbrengstverhoging, waarbij het landbouwareaal of de emissies per ha niet of nauwelijks verminderden. Om deze ontwikkelrichting in te zetten voor het milieu, is het belangrijk om efficiënte winst niet te gebruiken voor hogere opbrengsten, maar voor lagere emissies. Om deze omslag te realiseren, is een andere context van beleid en economie nodig, waarin de prikkels voor emissieverlagingen sterker zijn dan die voor opbrengstverhoging.*
- *Anderzijds is er een focus gericht op diversifiëring van gewassen, een meer extensieve bedrijfsvoering en een meer (natuur)inclusieve landbouw, om op die manier de doelen te behalen. Deze focus is vaak meer gericht op het integrale systeem en kijkt daarmee wat breder naar de verschillende doelen.*

Het uitsplitsen van deze twee sporen kan overzicht en inzicht bieden in de mogelijke maatregelen.

Tegelijkertijd is het gevaarlijk, omdat dit doet vermoeden dat bedrijven hierin een keuze moeten maken, wat niet per se nodig is. Het is ook mogelijk om onderdelen van beide oplossingsrichtingen te combineren om op die manier bij te dragen aan het behalen van de doelen. Een voorbeeld is het emissiearm uitrijden van dierlijke mest op een biologisch melkveebedrijf.

Hoe verder?

Zoals gemeld, zijn van veel diverse maatregelen nog lang niet alle effecten op de vier milieudoelen uitputtend onderzocht. Als inzicht in het doelbereik van afzonderlijke maatregelen per milieudoel gewenst is, is aanvullend onderzoek vanzelfsprekend een optie. Daartoe moeten de maatregelen of combinaties van maatregelen onderzocht worden in de context van het natuurlijk systeem. Het is echter de vraag of een dergelijke verdieping naar doelbereik zinvol is. Niet alleen omdat het veelomvattend is, maar het is ook de vraag in hoeverre meer duidelijkheid hierover de transitie van de landbouw vooruithelpt. Stel, een maatregel heeft een grote positieve milieu-impact, dan wil dat niet zeggen dat die maatregel eenvoudig toepasbaar zal zijn. Voor het verruimen van het bouwplan in de akkerbouw bijvoorbeeld toont onderzoek onomstotelijk vast dat er veel positieve milieueffecten zijn, zonder dat precies bekend is wat onder verschillende omstandigheden het doelbereik is voor de afzonderlijke beleidsdoelen. Het treffen van maatregelen voor een minder intensief bouwplan in de akkerbouw betekent onder de huidige marktomstandigheden echter dat het bedrijfsrendement afneemt. Kortom, als boeren daar niet financieel voor worden gecompenseerd, zullen dergelijke maatregelen waarschijnlijk maar slecht van de grond komen. Hetzelfde geldt voor bijvoorbeeld extensiveringsmaatregelen in de melkveehouderij die een afname van het bedrijfseconomische rendement tot gevolg hebben. De crux zit erin zodanige voorwaarden te scheppen dat duurzaamheid en bedrijfsrendement hand in hand gaan in plaats van dat ze elkaar tegenwerken: de ontwikkeling van een aanvullende systematiek, die ervoor zorgt dat de maatschappelijke baten van natuurherstel terecht komen bij duurzame landbouwbedrijven. Uiteraard zijn er ook voorbeelden te noemen waar de samenhang tussen duurzaamheid en rendement wel aanwezig is als door inzet van eenvoudige technische oplossingen verliezen naar het milieu verminderd kunnen worden.

Daarnaast moet ook bedacht worden dat de afgelopen decennia door het treffen van zowel technische als managementmaatregelen de milieubelasting van de landbouw sterk is afgenomen, maar dat er de laatste ca. tien jaar sprake is van een stagnatie. Verder zijn duurzaamheidsmaatregelen in het verleden vooral gefinancierd door schaalvergroting. Bovendien is gebleken dat veel technische innovaties in de praktijk vaak

minder effectief blijken te werken dan aanvankelijk gedacht en dat er een grotere kans is op afwenteling bij het treffen van uitsluitend technische maatregelen.

Dit betekent dat een inventarisatie van effecten van milieumaatregelen in de landbouw een eerste stap is in de gewenste landbouwtransitie; de inpasbaarheid op bedrijven, zowel technisch als economisch, is een vervolgstap die aandacht nodig heeft. Vervolgens kunnen landbouwbedrijven zelf afwegen welke maatregelen zij kiezen om de milieudoelen te halen. In sommige gevallen kan een verdergaande inpassing van milieumaatregelen in de bestaande bedrijfsvoering voldoende zijn, maar voor andere situaties is een structuurverandering of transitie naar een extensieve bedrijfsvoering nodig. Deze maatregelen kunnen deels op landelijk niveau worden genomen, zoals in de onderzoeken van maatregelscenario's zowel wat betreft milieueffecten (Gies et al., 2023) als economisch (Reinhard et al., 2023) naar voren komen, maar uiteindelijk zal het eindbeeld op gebiedsniveau bepaald moeten worden. Dit is nodig omdat niet alleen de omstandigheden van bodem, water, landschap en natuur in de verschillende gebieden in Nederland anders zijn (binnen het NPLG staat het principe water en bodem sturend voorop), maar ook de aanwezige landbouwbedrijven en de structuur daarvan, in samenhang met andere ruimtelijke opgaven, zoals woningbouw, energietransitie, waterbeschikbaarheid en waterberging. In het NPLG is een dergelijke aanpak via gebiedsprogramma's en vervolgens gebiedsplannen ook voorgenomen. Ervaringen van bijvoorbeeld de analyse voor de Achterhoek kan daarbij als inspiratie dienen (zie tekstkader).

Op basis van de analyse voor de Achterhoek stellen wij voor om een methodiek te ontwikkelen voor integrale gebiedsplanung waarbij het natuurlijk systeem het uitgangspunt vormt en waarin per gebied of regio de vraag centraal staat: 'Hoe doe je dat?' (De Rooij en Sluijsmans, 2021).

Een dergelijke aanpak kan bestaan uit de volgende vier elementen:

1. Ontwikkeling en verankering van een gedeelde en gedragen samenbindende visie, op basis van een gedeeld begrip van het natuurlijk systeem.
2. Oorzaak-gevolganalyse: hoe hangen de dingen met elkaar samen en op welk niveau?
3. Integraal aanpakken (waar het moet) en sectoraal (waar het kan, om tempo te maken).
4. Ter ondersteuning daarvan zijn (zichtbare) goede voorbeelden van belang. Het 'wiel zelf uitvinden' kost veel tijd, terwijl anderen het elders misschien al hebben uitgevonden. Hoe meer goede voorbeelden je kunt overnemen, hoe meer tempo je kunt maken. En hoewel nog volop in ontwikkeling, zijn er her en der zeker inspirerende voorbeelden (Platform Kringlooplantbouw, Netwerk Praktijkbedrijven).

De partijen in de Achterhoek worden uitgedaagd om de lessen die getrokken zijn in deze preverkenning op te pakken en gezamenlijk verder te brengen. Hiermee zal de 8RHK (Achterhoek ambassadeurs, een samenwerkingsverband van overheden, ondernemers en maatschappelijke organisaties) ook zeker een van de potentiële goede voorbeelden worden van integrale planvorming en zullen de ontwikkelingen in de regio versterkt en geborgd worden.

Literatuur

- Agricola, H., D. Urdu, E. Gies, T. Selnes, 2021. Duurzame intensivering. Kansen en beperkingen voor de landbouw, Wettelijke onderzoekstaken Natuur en Milieu, interne notitie.
- Anteagroup, 2021. Veiligheid van emissiearme stalvloersystemen in melkveehouderijen, Adviesgroep SAVE, Maastricht. <https://edepot.wur.nl/542963>.
- Arets, E., van Baren, S., Schelhaas, M.-J., & Lesschen, J.P. (2022). Raming van emissies van broeikasgassen en verwijderingen van CO₂ door de LULUCF-sector 2021-2040: achtergrond bij de Klimaat en Energieverkenning 2022. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3203). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/579206>.
- Baca-González, V., Asensio-Calavia, P., González-Acosta, S., Pérez de la Lastra, J.M., Morales de la Nuez, A. Are Vaccines the Solution for Methane Emissions from Ruminants? A Systematic Review. *Vaccines* (Basel). 2020 Aug 20;8(3):460. <https://doi.org/10.3390/vaccines8030460>.
- Bannink, A., Dijkstra, J., Kebreab, E., & France, J. (2006). Advantages of a dynamical approach to rumen function to help to resolve environmental issues. In E. Kebreab, J. Dijkstra, A. Bannink, W. J. J. Gerrits, & J. France (Eds.), *Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals: Modelling Approaches* (pp. 281-298). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845930059.0281>.
- Bannink, A., & Dijkstra, J. (2021). Afwentelingen van methaan-mitigerende maatregelen in melkvee. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1322). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/547899>.
- Bauchemin, Karen & Mcallister, Tim & McGinn, S. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: perspectives in agriculture, veterinary science. Nutr. Natur. Resour.* 4. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035>.
- Benchaar, Chaouki. (2020). Diet supplementation with thyme oil and its main component thymol failed to favorably alter rumen fermentation, improve nutrient utilization, or enhance milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 104. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-18401>.
- Bos, J.F.F.P., De Haan, J.J., & Sukkel, W. (2007). *Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Volledig rapport* (No. 140). Plant Research International. <https://edepot.wur.nl/183415>.
- Breman, B., Nieuwenhuizen, W., Dirkx, J., Pouwels, R., de Knecht, B., de Wit, E., Roelofsen, H., van Hinsberg, A., van Egmond, P., Maas, G., van Aar, M., Veraart, J., Snep, R., van Delft, B., Mensing, V., Hellegering, Y., de Blois, F., Woltjer, I., Heidema, N., ... de Sena, N. (2022). *Natuurverkenning 2050 – Scenario Natuurinclusief*. (WOT-rapport; No. 136). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/558179>.
- Bremmer, B., I. Huisman, F. Toemen, H.H. Ellen, J. van Harn, H.J. van Dooren, I. de Jonge, F. Stouthart, N.W.M. Ogink, 2022. Verbetering van effectiviteit emissiearme stalsystemen in de praktijk: inventarisatie, analyse kritische factoren en advies voor verbetering van toepassing van ammoniak reducerende technieken. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1380. <https://doi.org/10.18174/573878>.
- Bouwma, I., van Riel, M., Nuesink, N., Veraart, J., & Pouwels, R. (2020). Verkenning naar de samenhang van de Vogel- en Habitatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water: een analyse voor het vergroten van de synergie tussen de richtlijnen. (WOT-technical report; No. 198). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/539676>.
- Bruggen, C. van, Bannink, A., Bleeker, A., Bussink, D.W., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Kros, J., Lagerwerf, L.A., Luesink, H.H., Ros, M.B.H., van Schijndel, M.W., Velthof, G.L., & van der Zee, T. (2022). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2020. (WOT-technical report; No. 224). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/570194>.
- Bruggen, C. van, en K. Geertjes, 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. Den Haag, CBS paper. <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/44/stikstofverlies-uit-opgeslagen-mest>.
- CDM, 2014. Advies "Bemesting met zwavelhoudende meststoffen". Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM), 9 oktober 2014. <https://edepot.wur.nl/342461>.

-
- Coalitieakkoord, 2021. Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst. Coalitieakkoord 2021 – 2025 VVD, D66, CDA en ChristenUnie, 15 december 2021
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/01/10/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>.
- Dooren, H.J.C. van & Mosquera, J. (2010). Measurement of ammonia emissions from three ammonia emission reduction systems for dairy cattle using a dynamic flux chamber. Paper presented at XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering.
<https://edepot.wur.nl/169663>.
- Dooren, H.J.C. van, N.W.M. Ogink, J.W. van Riel, J. Mosquera, J.L. Zonderland, 2019. Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding; Onderzoek op Dairy Campus. Wageningen Livestock Research, Rapport 1130. <https://edepot.wur.nl/462994>.
- Dooren, H.J.C. van, Hol, J.M.G., Blanken, K., & Galama, P.J. (2019). Gasvormige emissies uit vrijloopstallen met houtsnipperbodems: ammoniak-, lachgas- en methaanemissie op stalniveau. (Wageningen Livestock Research rapport; No. 1163). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/476122>.
- Dooren, H.J.C. van, K. Blanken, N.W.M. Ogink, 2022. Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; Resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1304. <https://doi.org/10.18174/544640>.
- Doorn, A. van, Reijs, J., Erisman, J.W., Verhoeven, F., Verstand, D., de Jong, W., Andeweg, K., van Eekeren, N., Hoes, A.C., van Kernebeek, H., Koopmans, C., Wagenaar, J.P., & de Wolf, P. (2021). Integraal sturen op doelen voor duurzame landbouw via KPI's. (White paper / Wageningen Environmental Research; No. 2021-3092). Wageningen Environmental Research.
<https://doi.org/10.18174/548327>.
- Erisman, J.W., N. van Eekeren, A. van Doorn, W. Geertsema en N. Polman (2017). Maatregelen natuurinclusieve landbouw. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer 2017-024 LbD, Wageningen Environmental Research rapport 2821, juni 2017.
<https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/3260.pdf>.
- Erisman, J.W. en B. Strootman, 2021. Naar een ontspannen Nederland. Hoe het oplossen van de stikstofproblematiek via een ruimtelijke benadering een hefboom kan zijn voor het aanpakken van andere grote opgaven en zo een nieuw perspectief kan opleveren voor het landelijk gebied.
<https://ontspannennederland.nl/>.
- Evers, A.G., M.H.A. de Haan, G. Migchels, L. Joosten, M. van Leeuwen, 2019. Effecten van ammoniak reducerende maatregelen in bedrijfsverband; Scenariostudie voor proeftuin Natura 2000 in veenweidegebied. Wageningen Livestock Research, Rapport 1161. <https://edepot.wur.nl/474490>.
- Folkert, R., W. Verweij, D.J. van der Hoek, A. Bleeker, W. Marra, G.J. Reinds, A. Schmidt en N. Smits, 2021. Verkenning werkprogramma monitoring en rapportage stikstofstofreductie en natuurverbetering, Resultaten kwartiermakersfase. PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2021.
<https://www.pbl.nl/publicaties/verkenning-werkprogramma-monitoring-en-evaluatie-stikstofstofreductie-en-natuurverbetering>.
- Gastelen, S. van, Bannink, A., & Dijkstra, J. (2019). Effect of silage characteristics on enteric methane emission from ruminants. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14(51), [051]. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914051>.
- Gastelen, S. van, Dijkstra, J., Binnendijk, G., Duval, S.M., Heck, J.M.L., Kindermann, M., Zandstra, T., & Bannink, A. (2020). 3-Nitrooxypropanol decreases methane emissions and increases hydrogen emissions of early lactation dairy cows, with associated changes in nutrient digestibility and energy metabolism. Journal of Dairy Science, 103(9), 8074-8093. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17936>.
- Geest, L. van, 2021. Bestemming Parijs, Wegwijzer voor klimaatkeuzes 2030, 2050. Eindrapportage studiegroep Invulling klimaatopgave Green Deal. Rijksoverheid, januari 2021.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/01/29/bestemming-parijs-wegwijzer-voor-klimaatkeuzes-2030-2050>.
- Gies, E., H. Kros en W. Nieuwenhuizen, 2021. Natuurinclusieve landbouw, opgaven en arealen. Globale verkenning opgaven en arealen waar natuurinclusieve landbouw een bijdrage kan leveren. Wageningen Environmental Research, Interne notitie, juni 2021. <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-Inv/soorten-onderzoek/kennisonline/onderzoek-naar-verwachte-bijdrage-van-natuurinclusieve-landbouw-aan-andere-regionale-opgaven-zoals-klimaatadaptatie-en-miti.htm>.

- Gies, E., Cals, T., Groenendijk, P., Kros, H., Hermans, T., Lesschen, J.P., Renaud, L., Velthof, G., & Voogd, J.-C. (2023). Scenariostudie naar doelen en doelrealisatie in het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied: een integrale verkenning van regionale water-, klimaat- en stikstofdoelen en maatregelen in de landbouw. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3236). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/587289>.
- Gollenbeek, L., van Gastel, J., Casu, F., Huisman, I., & Verdoes, N. (2022). Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest: NL Next Level Mestverwaarden. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1372). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/569408>.
- Groenendijk, P., 2021. Kansen van de stikstofaanpak voor het doelbereik van de KRW voor nutriënten. Memo, 06-10-2021, Team Duurzaam Bodemgebruik, Wageningen Environmental Research. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/11/12/bijlage-9---wur-memo-kansen-stikstofaanpak-voor-krw>.
- Haas, Y. de, Veerkamp, R.F., de Jong, G., & Aldridge, M.N. (2021). Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal*, 15, [100294]. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100294>.
- Haddaway, N.R., K. Hedlund, L.E. Jackson, T. Kätterer, E. Lugato, I.K. Thomsen, H.B. Jørgensen and P.E. Isberg, 2017. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence* (2017) 6:30. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>.
- Hoes, A.-C., & de Lauwere, C. (2021). Bedrijfsoplossingen die bijdragen aan kringlooplandbouw: Beoordeeld door melkvee-, varkens- pluimveehouders, glastuinbouwers en akkerbouwers. (Rapport / Wageningen Economic Research; No. 2021-051). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/547164>.
- Hoving, I., G.J. Holshof, G. Migchels, M.A. van der Gaag, M. Plomp. 2014. Reductie ammoniakemissie bij maximalisatie weidegang op biologische melkveebedrijven. Lelystad, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 792. <https://edepot.wur.nl/314018>.
- Hristov, A.N., J. Oh, J.L. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H.P.S. Makkar, A.T. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P.J. Greber, B. Henderson, J.M. Tricarico, 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science* 91 (2013)11. pp. 5045-5069 <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>.
- Kager, H., M. Meijerink, L. Jansen en T. Broeze, 2021. Oplossingsrichtingen emissiereductie melkvee- en varkenshouderij, Schuttelaar & Partners, Den Haag, december 2021. <https://groenkennisnet.nl/nieuwsitem/oplossingsrichtingen-emissiereductie-melkvee-en-varkenshouderij-in-beeld>.
- Kipling, R.P., Bannink, A., Bellocchi, G., Dalgaard, T., Fox, N.J., Hutchings, N.J., Kjeldsen, C., Lacetera, N., Sinabell, F., Topp, C.F.E., van Oijen, M., Virkajärvi, P., & Scollan, N.D. (2016). Modeling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change. *Agricultural Systems*, 147, 24-37. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.007>.
- Klimaatakkoord 2019, Den Haag, 28 juni 2019. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/documenten/rapporten/2019/06/28/klimatakkoord>.
- Klootwijk, C., Koning, L., Holshof, G., Klop, A., & Zom, R. (2021). Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit: jaarrapport 1: 2020: resultaten eerste jaar (2020) van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij weidegang, zomerstalvoeding en graskuil. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1342). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/556029>.
- Kolk, J. van der, H. Agricola, E. te Pas, T. Slier, B. Smit, S. Staps, 2021. No Regret maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale landbouwbodems - Een verkennende studie. Wageningen Environmental Research, Wageningen, Augustus, 2021. https://www.slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2022-02/2021_vanderkolk_etal_no_regret_maatregelen_voor_het_vastleggen_van_koolstof.pdf.
- Koopmans, C.J., B.G.H. Timmermans, M. Hoogmoed, D. Heupink, J.J.P. Crujisen, J. De Haan, I. Selin Norén, T. Slier en J.P. Wagenaar, 2021. Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023. Voortgangsrapportage juni 2021. Louis Bolk Instituut en Wageningen University & Research, <https://louis-bolk.nl/publicaties/evaluatie-van-maatregelen-voor-het-vastleggen-van-koolstof-minerale-gronden-2019-2023>.

- Kros, J., J. van Os, J.C. Voogd, P. Groenendijk, C. van Bruggen, R. te Molder en G.H. Ros, 2019. *Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie; Beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2939 <https://doi.org/10.18174/474513>.
- 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. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 2984). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/512111>.
- Lesschen, J.P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3130). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/557330>.
- LNV, 2022a. Onontkoombare transitie naar een vitaal landelijk gebied. Nieuwsbericht LNV bij twee Kamerbrieven, 10-06-2022, Kringlooplandbouw als basis voor een duurzame en sterke agrifoodsector. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/aanpak-stikstof/nieuws/2022/06/10/onontkoombare-transitie-naar-een-vitaal-landelijk-gebied>.
- LNV, 2022b. Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied, 10 juni 2022. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties Juni 2022 | Publicatie-nr. 22102620. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/06/10/startnotitie-nplg-10-juni-2022>.
- LNV, 2022c. Perspectieven voor agrarische ondernemers, kamerbrief van ministerie van LNV, 10 juni 2022, kenmerk DGA / 22247429. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/aanpak-stikstof/documenten/kamerstukken/2022/06/10/perspectieven-voor-agrarische-ondernemers>.
- LNV, 2021. 7e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2022 - 2025). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat November 2021. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-31b2d76b-e0a6-455f-9de0-10606eca5eb3/1/pdf/21291858.bijlage%201.pdf>.
- Migchels, G. en C. Van Dijk. 2019. Rapportage Wetenschappelijke factsheets. 1. Verlagen TAN-excretie. 2. Sproeien loopvloeren. 3. Extra weidegang. Wageningen Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/508913>.
- Migchels, G., L. Joosten, M. van Leeuwen, R. Ferwerda, W. Houwers. 2019. Borgen van maatregelen om ammoniakemissie te reduceren. Wageningen Livestock Research, rapport 1196. <https://edepot.wur.nl/500787>.
- Moate, Peter & Williams, S.R.O. & Grainger, C. & Hannah, Murray & Ponnampalam, Eric & Eckard, Richard. (2011). Influence of cold-pressed canola, brewers grains and hominy meal as dietary supplements suitable for reducing enteric methane emissions from lactating dairy cows. Fuel and Energy Abstracts. 166. 254-264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.069>.
- Mostert, P. (2018). The impact of diseases in dairy cows on greenhouse gas emissions and economic performance. [internal PhD, WU, Wageningen University]. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/445487>.
- Natuurpact, 2013. Tweede Kamer der Staten-Generaal, Vergaderjaar 2013–2014, 33 576 Natuurbeleid, Nr. 6 Brief van de staatsecretaris van economische zaken, Den Haag 18 september 2013. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-33576-6.pdf>.
- Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Hol, J.M.G., 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, Rapport 1032. <https://doi.org/10.18174/418425>.
- PBL, 2021. Klimaat- en Energieverkenning 2021. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) Den Haag, 2021 PBL-publicatienummer: 4681 <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-klimaat-en-energieverkenning-2021-4681.pdf>.
- PBL, 2021. Balans van de leefomgeving. Burger in zicht, overheid aan zet. PBL, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2020, PBL-publicatienummer: 4165. <https://pbl.sitearchief.nl/?subsite=balansleefomgeving#archive>.
- Proeftuin Natura 2000. <https://www.proeftuinnatura2000.nl/wp-content/uploads/2015/12/Informatieblad-Extra-weidegang-0315.pdf>.
- Reinhard, S., Jongeneel, R., van Alphen, M., Vissers, L., Selten, M., Michels, R., & de Vries, C. (2022). Doorwerking Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering: Sociaaleconomische analyse van bron- en natuurherstelmaatregelen. (Rapport / Wageningen Economic Research; No. 2022-019). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/566635>.

-
- Remkes, J.W., 2020. Niet alles kan overal. Eindadvies over de structurele aanpak op lange termijn. Adviescollege Stikstofproblematiek, Amersfoort, 8 juni 2020. <https://open.overheid.nl/documenten/ronle1d98609-6f59-4245-8758-ec00da553db5/pdf>.
- Rooij, L.L. de, Sluijsmans, J., 2021. Grenzeloze 8RHK -Werkdocument Preverkenning NPLG. Wageningen, Wageningen Environmental Research <https://edepot.wur.nl/550225>.
- Schans, F. van der, C. Rougoor en W. van der Weijden, 2020. Duurzaamheidseffecten van stikstof- en klimaatmaatregelen voor de landbouw. CLM Onderzoek en Advies, publicatienummer 1038, oktober 2020. https://www.clm.nl/uploads/pdf/1038-CLMrapport-Matrix_stikstof_klimaat_maatregelen.pdf.
- Scholten, M., M. Bakker en R. Jongeneel, 2021. Perspectieven voor landbouw in een gebiedsgerichte benadering. Essay op verzoek van ministerie van LNV, 15 oktober 2021. <https://www.wur.nl/nl/show/Essay-perspectieven-voor-de-landbouw-in-een-gebiedsgerichte-benadering.htm>.
- Smits, M-J., Dawson, A., Dijkshoorn-Dekker, M., Ferwerda-van Zonneveld, R., Michels, R., Migchels, G., Polman, N., Schrijver, R., Sukkel, W., Vogelzang, T., & Kistenkas, F. (2020). Van A naar Biodiversiteit: Op weg naar een natuurinclusieve landbouw. (Rapport / Wageningen Economic Research; No. 2020-043). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/521302>.
- Souza Congio, Guilherme Francklin de, André Bannink, Olga Lucía Mayorga Mogollón, et al, 2021. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis, Journal of Cleaner Production, Volume 312, 2021, 127693, ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693>.
- Slier, T. & Velthof, G.L. (2021). 30 vragen en antwoorden over lachgasemissie uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research. <https://edepot.wur.nl/557920>.
- Slier, T., D. Westerik, J.P. Lesschen, C. Koopmans, J. Schepens en W. Vervuurt, 2022. CO2Bodem. Tussenresultaten Slim Landgebruik, juni 2022. <https://www.slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2022-11/20220919%20CO2Bodem%202022.pdf>.
- Spijkerman, Ine, Carin Rougoor, Frits van der Schans, Erik van Well, 2021. Afrekenbare stoffenbalans – het vrijdenkersspoor. CLM Onderzoek en Advies, publicatienummer 1089, november 2021. https://www.clm.nl/wp-content/uploads/2021/12/1089-CLMrapport-Afrekenbare_stoffenbalans_vrijdenkersspoor.pdf.
- STOWA, 2018. Ecologische sleutelfactoren bufferzone en waterplanten; tussenrapportage. Amersfoort, STOWA 2018-28, ISBN 978.90.5773.796.1 <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-28%20Tussenrapportage%20Bufferzone%20en%20waterplanten.pdf>.
- Tiktak, A.A. Bleeker, D. Boezeman, J. van Dam, M. van Eerdt, R. Franken, S. Kruitwagen en R. den Uyl, 2019. Geïntegreerde gewasbescherming nader beschouwd. Tussenevaluatie van de nota Gezonde Groei, Duurzame Oogst. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2019. PBL-publicatienummer: 3549 https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-geintegreerde-gewasbescherming-nader-beschouwd-3549_0.pdf.
- Tiktak, A., D. Boezeman, G.J. van den Born en A. van Hinsberg, 2021. Quickscan van twee beleidspakketten voor het vervolg van de structurele aanpak stikstof, Planbureau voor de Leefomgeving Den Haag, 2021. PBL-publicatienummer: 4694 <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-quickscan-van-twee-beleids pakketten-als-vervolg-op-de-structurele-aanpak-stikstof-4694-2.pdf>.
- (Vellinga en Hoving, 2011) Zoals hierboven genoemd kan de teelt van extra mais echter nadelige gevolgen hebben, en zelfs de reductie in enterische methaanemissies compenseren als voormalig oud grasland wordt gescheurd voor mais.
- Vellinga, T.V., Blonk, H., Marinussen, M., van Zeist, W.J., & Starmans, D.A.J. (2013). Methodology used in FeedPrint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization. (Report / Wageningen UR Livestock Research; No. 674). Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/254098>.
- Vellinga, T.V., & de Vries, M. (2018). Effectiveness of climate change mitigation options considering the amount of meat produced in dairy systems. Agricultural Systems, 162, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.026>.
- Vellinga, T.V., M.H.A. de Haan, 2022. Onderzoek naar de mogelijkheden van een Afrekenbare Stoffen Balans voor de melkveehouderij. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1349. <https://edepot.wur.nl/558537>.

-
- Velthof, G.L., Kistenkas, F.H., Groenendijk, P., van Boekel, E.M.P.M., & Oenema, O. (2018). Wettelijk instrumentarium voor landbouwmaatregelen om waterkwaliteit te verbeteren: realisatie van nutriëntendoelstellingen uit de Kaderrichtlijn Water. (WOT-rapport; No. 129). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/449400>.
- Velthof, G.L. en P. Groenendijk, 2021. Landbouw en waterkwaliteit. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3070 <https://edepot.wur.nl/543893>.
- Velthof, G., Kros, H., Voogd, J-C., Daatselaar, C., Hermans, T., Groenestein, K., Ogink, N., Lesschen, J.P., Gies, E., Jongeneel, R., Verstand, D., Jongschaap, R., & Huijsmans, J. (2021). Gebiedsgerichte verkenning van de 'verdere aanpak stikstof'. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3111). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/553256>.
- Verloop, K., & Hilhorst, G.J. (2013). Werken met de dunne fractie: bekijk de mestketen. Koeien & Kansen Nieuwsbrief, 2013(39). <https://edepot.wur.nl/297102>.
- Vries, M de, Bokkers EA, van Reenen CG, Engel B, van Schaik G, Dijkstra T, de Boer IJ. 2015. Housing and management factors associated with indicators of dairy cattle welfare. *Prev Vet Med*. 2015 Jan 1;118(1):80-92. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.11.016>.
- Vries, M. de, I.E. Hoving, J.C. van Middelkoop, J. ten Napel, R.Y. van der Weide, J. Verhagen, T.V. Vellinga (2018). Klimaatsslimme melkveehouderij. Een routekaart voor implementatie van mitigatie- en adaptatiemaatregelen. Wageningen Livestock Research rapport 1131. <http://edepot.wur.nl/463803>.
- Warner, D., A. Bannink, B. Hatew, H. van Laar, J. Dijkstra, 2017. Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows, *Journal of Animal Science*, Volume 95, Issue 8, August 2017, Pages 3687–3699. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1459>.
- Warner, D., B. Hatew, S.C. Podesta, G. Klop, S. van Gastelen, H. van Laar, J. Dijkstra, A. Bannink, 2016. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal*, Volume 10, Issue 1, 2016, Pages 34-43, ISSN 1751-7311. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001640>.
- Westerink - Petersen, J., Breman, B.C., Smits, M.J.W., van Alebeek, F.A.N., Migchels, G., Bakker, G., van Amersfoort, M.C., & Schrijver, R.A.M. (2009). Maatschappelijke prestaties. Meer publieke diensten en minder publieke lasten door de landbouw met behulp van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid. Wageningen-UR, Alterra, Alterra-rapport 1961. <https://edepot.wur.nl/133642>.
- Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H., & Heißenhuber, A. (2012). Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal*, 6(1), 154-166. <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1017/S1751731111001467>.
- Zijderveld, S.M. van, Dijkstra, J., Gerrits, W.J.J., Newbold, J.R., & Perdok, H.B. (2010). Dietary nitrate persistently reduces enteric methane production in lactating dairy cows. In *Proceedings of the 4th international conference on greenhouse gases and animal agriculture, Banff, Canada, 3-8 October, 2010* (pp. 127-127). Greenhouse Gases and Animal Agriculture. <https://research.wur.nl/en/publications/dietary-nitrate-persistently-reduces-enteric-methane-production-i>.
- Zom, R.L.G. en L.B. Šebek, 2021. De invloed van voedings-, omgevings- en dierfactoren op het microbiom van herkauwers; aanknopingspunten om de enterische methaanemissie van melkkoeien te verminderen via beïnvloeding van het microbiom. Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1297. <https://doi.org/10.18174/542784>.

Bijlage 1 Rapporten milieumaatregelen

Hieronder staan de rapporten die LNV heeft aangedragen ten behoeve van de inventarisatie van milieumaatregelen op landbouwbedrijven, aangevuld met enkele rapportages vanuit de betrokken onderzoekers.

Rapport	Instituut	Auteurs	Jaar
1. pbl-2021-quickscan-van-twee-beleidspakketten-als-vervolg-op-de-structurele-aanpak-stikstof-4694-2.pdf (Aaldrik et al., 2021)	PBL	Aaldrik Tiktak, Daan Boezeman, Gert Jan van den Born en Arjen van Hinsberg	2021
2. WUR Essay - perspectieven voor landbouw in een gebiedsgerichte benadering.pdf (Scholten et al., 2021)	WUR	Martin Scholten, Martha Bakker & Roel Jongeneel	2021
3. Gebiedsgerichte verkenning van de verdere aanpak - wageningen_university_and_research_553256.pdf (Velthof et al., 2021))	WUR	Velthof e.a. van WENR, WECR, WLR en WPR	2021
4. WUR Memo Kansen stikstofaanpak voor KRW (06102021) (10).pdf (Groenendijk, 2021)	WUR	P. Groenendijk	2021
5. 1038-CLMrapport-Matrix_stikstof_klimaat_maatregelen.pdf (vd Schans, et al, 2020)	CLM	Frits van der Schans, Carin Rougoor en Wouter van der Weijden	2020
6. Oplossingsrichtingen emissiereductie melkvee- en varkenshouderij.pdf (Kager et al., 2021)	Schuttelaar & Partners	Harry Kager, Margo Meijerink, Leon Jansen en Tom Broeze	2021
6b. Infographic emissiereductie melkveehouderij.pdf (Kager et al., 2021)	idem	idem	idem
6c. Infographic emissiereductie varkenshouderij.pdf (Kager et al., 2021)	idem	idem	idem
6d. Matrix technieken, maatregelen en oplossingen.xlsx (Kager et al., 2021)	idem	idem	idem
7. Duurzaamheidsmaatregelen Koeien en Kansen bedrijven.url	WUR	https://www.koeienenkansen.nl/nl/	
8. Scenariostudie perspectief ontwikkelrichtingen landbouw 2050 WUR.pdf (Lesschen et al., 2020)	WUR	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.	
8b. Effecten ontwikkelrichtingen landbouw 2050 WUR.pdf (Lesschen et al., 2020)	WUR, CLM, LB		
9. Slim landgebruik Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023 Voortgangsrapportage juni 2021.pdf (Koopmans et al., 2021)	LB en WUR	C.J. Koopmans, B.G.H. Timmermans, M. Hoogmoed, D. Heupink, J.J.P. Cruijssen, J. De Haan, I. Selin Norén, T. Slier en J.P. Wagenaar.	2021
10. Slim Landgebruik 210715 rapport_no_regret_maatregelen_definitief - A.pdf (Vd Kolk et al., 2021)	LB en WUR	J. van der Kolk, H. Agricola, E. te Pas, T. Slier, B. Smit, S. Staps	2021
11. Slimlandgebruik_CO2bodem_2021.pdf (Slier et al., 2022)	LB en WUR	Thalisa Slier, Dorien Westerik, Jan Peter Lesschen, Chris Koopmans, Jonas Schepens & Wieke Vervuurt	2022
12. de_potentie_voor_koolstofvastlegging_in_de_nederl-wageningen_university_and_research_557330.pdf (Lesschen et al., 2021)	idem	Lesschen, J.P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R.	2021
13.verkenning_naar_de_samenhang_van_de_vogel_en_habi-wageningen_university_and_research_539676.pdf (Bouwma et al., 2020)	WUR	I.M. Bouwma, M.C. van Riel, J.G. Nuesink, J.A. Veraart & R. Pouwels	2020

Rapport	Instituut	Auteurs	Jaar
14. Natuurinclusieve landbouw maatregelen en arealen interne notitie 28 juni 2021 (1).docx (Gies et al., 2021)	WUR	Gies, Nieuwenhuizen, Kros	2021
15. maatregelen_natuurinclusieve_landbouw-wageningen_university_and_research_419124.pdf (Erisman et al., 2017)	LB, WUR	Jan Willem Erisman, Nick van Eekeren, Anne van Doorn, Willemien Geertsema, Nico Polman	2017
16. naar-eeen-ontspannen-nederland.pdf (Erisman et al, 2021)		Erisman en Strootman	2021
17. integraal_sturen_op_doelen_voor_duurzame_landbouw-via KPI's (Van Doorn et al., 2021)	Wageningen Environmental Research	Anne van Doorn, Joan Reijs, Jan Willem Erisman, Frank Verhoeven, Daan Verstand, Wouter de Jong, Karin Andeweg, Nick van Eekeren, Anne Charlotte Hoes, Heleen van Kernebeek, Chris Koopmans, Jan Paul Wagenaar en Pieter de Wolf	
18. Dit zouden duurzaamheidsmaatregelen economisch kunnen opleveren – Melkvee art – vergelijkbaar met 7		https://www.koeiemenkansen.nl/nl/	
19. Bestemming-parijs-wegwijzer-voor-klimaatkeuzes.pdf (Van Geest et al., 2021)			2021
20. Haddaway - How does tillage intensity affect soil organic carbon.pdf		Haddaway N.R., K. Hedlund, L.E. Jackson, T. Kätterer, E. Lugato, I.K. Thomsen, H.B. Jørgensen and P.E. Isberg,	2017
21. Natuurverkenning_scenario_natuurinclusief-wageningen_university_and_research_558179.pdf (Breman et al., 2021)	WuR	Breman, B., Nieuwenhuizen, W., Dirkx, J., Pouwels, R., de Knecht, B., de Wit, E., Roelofsens, H., van Hinsberg, A., van Egmond, P., Maas, G., van Aar, M., Veraart, J., Snep, R., van Delft, B., Mensing, V., Hellegering, Y., de Blois, F., Woltjer, I., Heidema, N., ... de Sena, N	2021
22. Maatschappelijke prestaties. Meer publieke diensten en minder publieke lasten m.b.v. het GLB (Westerink et al., 2009)	Wur	Westerink – Petersen, J., Breman, B.C., Smits, M.J.W., van Alebeek, F.A.N., Migchels, G., Bakker, G., van Amersfoort, M.C., & Schrijver, R.A.M.	2009
23. Wettelijk instrumentarium voor landbouwmaatregelen om waterkwaliteit te verbeteren (Velthof, 2018)	Wur	G.L. Velthof, F.H. Kistenkas, P. Groenendijk, E.M.P.M. van Boekel & O. Oenema	2018
E1. Duurzaam intensivering landbouw technical report-tussenproduct.pdf (Agricola et al., 2021)	Wur	Herman Agricola, Daoud Urdu, Edo Gies en Trond Selnes	2021
E2. Bedrijfsopties die bijdragen aan kringlooplandbouw.pdf (Hoes en De Lauwere, 2021)	Wur	Hoes en de Lauwere	2021
E3. Verkenning werkprogramma monitoring en evaluatie stikstofreductie en natuurverbetering.pdf (Folkert et al., 2022)	PBL, RIVM, WUR	Rob Folkert, Wilko Verweij, Dirk-Jan van der Hoek (PBL), Albert Bleeker, Wouter Marra (RIVM), Gert-Jan Reinds, Anne Schmidt en Nina Smits (WUR)	2022
E4. Van_A_naar_Biodiversiteit_op_weg_naar_eeen_natuuri-wageningen_university_and_research_521302.pdf (Smits et al., 2020)	WUR	Smits, M-J., Dawson, A., Dijkshoorn-Dekker, M., Ferwerda-van Zonneveld, R., Michels, R., Migchels, G., Polman, N., Schrijver, R., Sukkel, W., Vogelzang, T., & Kistenkas, F.	2020
E5. Naar regionale doelen en aanpak voor (landelijke) opgaven van de landbouw (Gies et al., 2023)	WUR	Gies, Kros, Velthof, van Boekel, Groenendijk, Lesschen, Hermans	2023

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3241
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3241
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

