

Annex Indicatieve berekeningen bij de beleidsfiches van de verkenning Normeren en beprijzing

Wageningen Economic Research 12 maart 2021

Roel Jongeneel en Co Daatselaar (redactie, coördinatie, rapportage)

bevat bijdragen van:

Roel Jongeneel (redactie), Co Daatselaar, Ana Gonzalez Martinez, Harry Luesink, Nico Ogink, Izak Vermeij, Jan Dijkstra, Jan Huijsmans, Gerard Velthof, Marion Bogers en leden van de WUR N-Taskforce¹

¹ De bijdragen betreffen vaak specifieke onderdelen en komen vanuit de WUR: Roel Jongeneel (redactie, rapportage, modellering, productierechten, ammoniakrechten), Co Daatselaar (algemene analyse, modellering, review), Ana Gonzalez Martinez (modellering), Joan Reijs (baseline), Harry Luesink (mestmaatregelen), Nico Ogink (stalmaatregelen), Izak Vermeij (stalmaatregelen), Jan Dijkstra (voer, beweiding), Jan Huijsmans (mestmaatregelen), Gerard Velthof (kunstmest), Karin Groenestijn (review), Olaf Hietbrink (directiereview Wageningen Economic Research), Marion Bogers (organisatorische ondersteuning, rapportage).

Inhoudsopgave

1 Inleiding	4
Als..., dan... analyse van de individuele maatregelen zoals aangeleverd in de fiches	4
Het gaat om indicatieve berekeningen	4
2 Optimalisatietool	6
Naast ammoniak is er ook oog voor andere aspecten	6
De focus lag op de dierlijke sectoren	6
Er zijn aanpassingen gemaakt in de rekentool zoals gebruikt voor deze studie	6
3 Referentiescenario	8
Uitgangspunt voor referentiescenario is KEV en referentieraming 2020	8
Samenvatting van belangrijkste aannames	8
Mest- en ammoniakbeleid	9
Autonome opbrengst ontwikkelingen	9
Financieel-economische indicatoren: het equivalente 'saldi' 2018-begrip	9
Vermeden milieukosten zijn monetair gewaardeerd	10
Presentatie van resultaten volgens het <i>with</i> en <i>without</i> -principe	11
Selectie van belangrijkste resultaten van de berekeningen voor het referentiescenario	12
Resultaten van de doorrekening van de fiches	15
L-1 Fiche Krimp veestapel via innemen productierechten	15
L-2 Fiche ammoniakrechten	15
L-3 Fiche voer	16
L-4 Fiche weidegang	16
L-5 Fiche Mest	17
L-6 Fiche Kunstmest	19
L-7 Fiche Stalmaatregelen	20
Slotopmerkingen	22
Referenties	23

Lijst Tabellen

Tabel 1 Gehanteerde schaduwrijzen voor de berekening van vermeden milieukosten.....	11
Tabel 2 Resultaten van het referentiescenario: inschatting van met maatregelen te realiseren emissie en excretiereducties in de landbouw.....	12
Tabel 3 Informatie over de economische indicatoren met betrekking tot de ontwikkelingen in het referentiescenario	13
Tabel 4 L-1 Schatting van het effect van productierechtenscenario's op ammoniakemissie	15
Tabel 5 L-2 Schatting van het effect van ammoniakrechtenscenario's op ammoniakemissie.....	16
Tabel 6 L-4 Schatting van het effect van weidegangscenario's op ammoniakemissie.....	17
Tabel 7 L-5 Schatting van het effect van mestmaatregelscenario's op ammoniakemissie.....	19
Tabel 8 L-6 Schatting van het effect van normering-kunstmestsscenario's op ammoniakemissie.....	20
Tabel 9 L-7 Schatting van het effect van stalmaatregelscenario's op ammoniakemissie	21

Lijst Figuren

Figuur 1 Weergave van resultaten en rol van referentiescenario.....	12
Figuur 2 Ammoniakemissies uit stallen en mestopslagen per sector zoals opgenomen in de referentieraming	13
Figuur 3 Vermeden milieukosten die worden gerealiseerd in het referentiescenario over de periode 2018-2030 (in miljoenen euro's)	14

1 Inleiding

Deze annex geeft achtergrondinformatie en toelichting bij indicatieve berekeningen die zijn gedaan op verzoek van het Directoraat Generaal Stikstof met als doel een schatting te geven van de effecten van verschillende individuele normerings- en beprijzingsmaatregelen (zoals weergegeven in fiches)² gericht op het reduceren van de ammoniakemissie door de landbouw. De primaire focus bij de effecten is de bijdrage aan ammoniakreductie. Op verzoek van het secretariaat van de verkenning Normeren en Beprijzen (secretariaat NenB) is waar dit mogelijk was ook gekeken naar neveneffecten met betrekking tot andere emittenten (fosfaat, broeikasgassen). Niettemin lag de focus van het secretariaat NenB op ammoniak en is met de insteek niet een integrale aanpak beoogd (dat blijkt bijvoorbeeld uit de stallenfiche), waardoor afwentelingseffecten, elkaar versterkende of elkaar reducerende effecten niet in beeld komen. Ook de regionale afhankelijkheid daarvan en de ruimtelijke aspecten van de doorgerekende maatregelen konden niet worden uitgewerkt (zie hiervoor bijvoorbeeld WUR Stikstofkompas-NL; Hermans et al., 2020). Verder was er bij het secretariaat NenB behoefte aan enig inzicht in economisch-financiële effecten en in een monetaire waardering van de vermeden milieukosten.

Als..., dan... analyse van de individuele maatregelen zoals aangeleverd in de fiches

Medewerking van WUR aan dit rekenverzoek betekent niet dat er vanuit WUR enige medeverantwoordelijkheid is voor de door te rekenen scenario's (maatregelen): zowel de inhoud als de vormgeving daarvan zijn de verantwoordelijkheid van het secretariaat NenB. Wel zijn soms kanttekeningen gemaakt of suggesties gedaan met als belangrijkste focus om zaken te verhelderen en daardoor beter analyseerbaar te maken. Aan deze doorrekening kunnen dus geen gevolgtrekkingen worden verbonden in hoeverre WUR de doorgerekende maatregelen haalbaar, realistisch, doelmatig of nuttig vindt. Bovendien is door de WUR gerekend aan de in de fiches omschreven individuele maatregelen. In het beleid zal het uiteindelijk gaan om de gecombineerde inzet van maatregelen. Aan dergelijke beleidspakketten is in deze studie niet gerekend. Individuele maatregelen, zoals door het secretariaat NenB beschreven in de fiches, zijn steeds vergeleken ten opzichte van een referentiescenario, waarin al een pakket aan voorgenomen beleidsmaatregelen zit verwerkt (staand beleid).

Het gaat om indicatieve berekeningen

De doorlooptijd van het project liet niet toe dat er uitvoerige modelberekeningen werden gemaakt. De gepresenteerde resultaten van de doorrekening moeten daarom als indicaties worden gezien, met een focus op eerste-orde-effecten. Het indicatieve karakter heeft verschillende redenen:

- Er is een relatief eenvoudige rekentool gebruikt omdat uitvoerige modelanalyses gezien het tijdsbestek voor de opdracht niet mogelijk waren. Ook is er gebruikgemaakt van expert-judgement om de effectiviteit van maatregelen in te schatten. Uitvoeriger modelanalyses zijn zeker noodzakelijk voor een meer gedetailleerde, completere en nauwkeurige inschatting van maatregelconsequenties.³
- Een tweede reden is dat er onzekerheden in de fiches zelf zitten, waardoor er al bij voorbaat 'een marge' aanwezig is in hoe men verwacht dat maatregelen kunnen worden geïmplementeerd. In de fiches wordt dit ook vaak al aangegeven. De fiches zoals die aangeleverd werden als basis voor de berekeningen zijn daarna soms nog aangepast door het secretariaat NenB en mogelijk leidde dit tot toevoegingen die niet meer meegenomen konden worden in de berekeningen. Soms zijn er door WUR aannamen gemaakt omdat er (nog) geen onderbouwing is, hetzij in het fiche, of vanwege gebrek aan empirische onderbouwing met betrekking tot de emissiereductie die is te behalen met specifieke maatregelen. Indien dit het geval is, wordt dat zo goed mogelijk aangegeven.⁴

² Zie voor de beschrijving van de fiches het hoofdrapport.

³ Normaal worden door de WUR uitvoeriger berekeningen gemaakt en modellen als NEMA ingezet (<https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Projecten/Commissie-van-Deskundigen-Meststoffenwet-CDM/Documenten/Gasvormige-emissies-NEMA.htm>). Vanwege de tijd en capaciteitsbeperking is dat nu niet gedaan, maar het zou goed zijn dit in de toekomst wel te doen.

⁴ Voor verdere details daarover wordt ook verwezen naar een separate publicatie die WUR over de achtergrondberekeningen uit zal brengen.

- Een derde bron van onzekerheid is dat bij maatregelen, ook al wordt er gesproken over beleidssupport, het vaak open is in welke mate er ondersteunend en faciliterend beleid zal zijn en het effect daarvan op daadwerkelijke implementatie. Bij verschillende maatregelen is er afhankelijkheid van het gedrag van boeren en kan ondersteunend beleid een verschil maken bij implementatie en naleving en daarmee dus ook op de effectiviteit van maatregelen. Daarnaast is er het aspect dat er in sommige scenario's een forse krimp van de veestapel is, iets dat ondenkbaar lijkt zonder flankerend beleid (bijvoorbeeld uitkoop). De maatregelbeschrijvingen vanuit het secretariaat NenB gingen daar niet op in en het was daarom onmogelijk de financiële gevolgen daarvan in kaart te brengen. Wel zijn enkele illustratieve berekeningen bijgevoegd om de lezer een idee van de orde van grootte te geven van bedragen die hiermee gemoeid zouden kunnen zijn.
- Een vierde reden van onzekerheid is dat bij het gedrag van boeren ook bedrijfseconomische overwegingen (bijvoorbeeld investeringsritme en mogelijkheden en de kosten van maatregelen) en marktomstandigheden een rol spelen. Om deze onzekerheden op te vangen, was het voor doorrekening nodig om een aantal extra veronderstellingen te maken. Onder deze veronderstellingen werd doorrekening mogelijk, maar de resultaten blijven dan natuurlijk wel afhankelijk van de gemaakte veronderstellingen.

2 Optimalisatietool

Voor de doorrekening is gebruikgemaakt van de Optimalisatietool, zoals die eerder is ontwikkeld als een ondersteunende rekentool voor de Scenariostudie perspectief voor ontwikkelrichtingen Nederlandse landbouw in 2050 (Lesschen et al., 2020, 48-52).

Naast ammoniak is er ook oog voor andere aspecten

De optimalisatietool is in de context van het doorrekenen van klimaatscenario's ontwikkeld, maar bevat naast informatie over broeikasgassen ook informatie over andere zaken zoals fosfaatexcretie, stikstofexcretie, ammoniakemissie en afspoeling naar grondwater (maar geen informatie met betrekking tot fijnstof). Omdat ook ammoniak is meegenomen (de focus van deze analyses) is de tool in principe geschikt voor de analyses (doorrekening van individuele maatregelen zoals beschreven in de fiches) die hier worden gevraagd, zij het dat er wel een aantal aanpassingen nodig is (zie verder vervolg). Omdat de tool relatief eenvoudig is (en daardoor snel in te zetten) en het in de analyse gaat om effecten op hoofdlijnen, terwijl de tool gelijktijdig ook inzicht in eventuele 'meekoppel-effecten' van ammoniakmaatregelen kan geven, is besloten om die voor deze analyse te gebruiken.

De focus lag op de dierlijke sectoren

In de optimalisatietool worden de volgende economische activiteiten onderscheiden: (i) akkerbouw, (ii) melkveehouderij; (iii) vleesvarkens; (iv) zeugenhouderij; (v) vleeskuikens; (vi) het houden van legkippen; en (xvii) overige dierhouderij.⁵ De activiteiten doen een beroep op het landgebruik en gaan gepaard met emissies die belastend zijn voor milieu en klimaat. De activiteiten dragen bij aan de economie en de inkomensvorming van agrariërs.

De optimalisatietool bevat informatie over de activiteiten (economisch belang, emissiewaarden) en de milieubeperkingen voortvloeiend vanuit het beleid. Het model is in staat de optimale omvang van activiteiten (bijvoorbeeld de omvang van de veestapel) te berekenen, die gegeven de beperkingen maximaal bijdraagt aan het realiseren van een doelfunctiewaarde (bijvoorbeeld een reductie van de ammoniakemissie). Het model kan ook worden gebruikt om bepaalde normeringsmaatregelen (bijvoorbeeld een reductie in het aantal dierrechten) door te rekenen, waarbij de reductie in emissies van ammoniak, broeikasgassen dan als uitkomst volgt. De tool laat diverse doelfuncties toe, maar in de scenario's is steeds gewerkt aan de maximalisatie van de omvang van de economische activiteiten gegeven de beperkingen.

De beperkingen die in beschouwing worden genomen variëren per doorgerekend fiche en de daarin aangegeven scenario's (beperkingen bevatten vaak ook doelwaarden vanuit het beleid). **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** in Lesschen et al. (2020) geeft een overzicht van de randvoorwaarden die in de optimalisatietool zijn opgenomen en, waar relevant, scenariospecifiek kunnen worden aangepast. Meer details kunnen worden afgeleid uit de beschrijving van het referentiescenario (zie hieronder) en bij de toelichting per fiche over hoe maatregelen zijn doorgerekend (zie het vervolg van deze annex).

Er zijn aanpassingen gemaakt in de rekentool zoals gebruikt voor deze studie

Om de optimalisatietool goed te kunnen inzetten voor de hier gevraagde analyses is er een aantal aanpassingen gemaakt, waardoor de hier gebruikte versie verschilt van die die in Lesschen et al. (2020) is ingezet. De belangrijkste aanpassingen zijn:

- Het basisjaar is aangepast naar 2018 (was 2017) op basis van Vonk et al. (2020);
- De tijdschikhorizon is aangepast naar 2030 (was 2050);
- Het referentiescenario is aangepast (zie details in Hoofdstuk 3);

⁵ Hier zitten zowel graasdieren (bijvoorbeeld schapen, geiten) als staldieren (bijvoorbeeld eenden, konijnen, pelsdieren) in.

- Er zijn extra 'instrumenten' toegevoegd die nodig waren om de fiches te kunnen doorrekenen, zoals het ammoniakrechten instrument (zie Fiche L-2);
- Er is een uitbreiding gemaakt aan de financieel-economische calculaties, waar nu ook de vermeden milieukosten worden berekend.
- In verband met de bijgestelde baseline is het model opnieuw gekalibreerd (zie ook vervolg over de referentieraming (Vonk et al., 2020) en hoe die als uitgangspunt is genomen als referentiescenario).

3 Referentiescenario

Voor de analyse en beoordeling van langetermijnsenario's is het van belang om onderscheid te kunnen maken tussen effecten als gevolg van autonome veranderingen (bijvoorbeeld veranderingen in bevolkingsgroei of gewasopbrengsten) en effecten door de scenariospecifieke ontwikkelingen, maatregelen of beleid. De doorgerkende scenario's worden afgezet tegen een zogenaamd referentiescenario, waarin wel effecten van toekomstige veranderingen door al geldende maatregelen en beperkingen ('staand beleid') worden meegenomen, maar niet additionele maatregelen of het beleid zoals aangegeven in de fiches.

Uitgangspunt voor referentiescenario is KEV en referentieraming 2020

Voor deze studie is een referentiescenario opgesteld voor 2030, waarbij de meest recente Klimaat- en Energieverkenning (KEV, zie PBL, 2020) en de referentieraming (Vonk et al., 2020) zoveel mogelijk als uitgangspunt zijn genomen.⁶ Als basisjaar is daarbij 2018 gekozen. Er is uitgegaan van het vastgestelde beleidsscenario dat in de KEV wordt gehanteerd, waarbij één uitzondering is gemaakt: voor de varkenshouderij is ervan uitgegaan dat de opkoopregeling die de facto ook dit jaar (2021) al loopt al wordt uitgevoerd (eigenlijk is dit voorgenomen beleid, maar wordt het al geeffectueerd).

De ontwikkelingen in dieraantallen, maatregelen en daarbij horende mitigatie-pakketten, zijn consistent gemaakt met het KEV-referentiescenario. Nog niet uitgewerkte bestaande beleidsvoornemens, bijvoorbeeld de bronmaatregel met betrekking tot veevoer, waar dit jaar (2021) nog overleg over wordt gevoerd, zijn dus niet meegenomen in het referentiescenario.

Samenvatting van belangrijkste aannames

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

- Afname van het landbouwareaal met 6.000 ha per jaar (conform historische trend)
- Uitgaan van het huidig en al vaststaand mest- en ammoniakbeleid
 - Fosfaatrechten melkveehouderij en fosfaatplafond per sector
 - Totaal stikstofexcretieplafond
 - Behoud derogatie dierlijke mesttoediening
 - Dierrechten voor varkens en pluimvee
 - Warme sanering van de varkenshouderij (afname van 6% via staand beleid plus 4% vanuit de huidige opkoopregeling)
 - Gebruiksnormen voor N- en P-toediening op gras- en bouwland zoals geldend voor 2019-2021
 - Besluit emissiearme huisvesting
 - Emissiearme toediening
- Autonome opbrengstontwikkelingen in 2030 ten opzichte van 2018
 - Melkopbrengst per koe stijgt jaarlijks met 115 kg (conform historische trend) naar 10200 kg melk per koe
 - Aantal biggen neemt toe tot 32 per zeug
 - Legperiode van leghennen neemt toe tot 90 weken
 - Graslandopbrengst neemt toe met 3% en snijmais met 6%
 - In de akkerbouw neemt de gewasopbrengst gemiddeld met 10% toe
- Rantsoen melkveehouderij:
 - Al het ruwvoer komt uit Nederland
 - Rantsoensamenstelling (verhouding gras/snijmais/krachtvoer) gelijk aan 2017/18
 - N- en P-benuttingen volgen de referentieraming (zie Vonk et al., 2020)
- Verdeling gewasarealen akkerbouw
 - Areaal volleggronds- en akkerbouwmatige groenten stijgt
 - Boomteelt (inclusief fruit) en bloembollen blijven stabiel

⁶ Er is hierbij gebruikgemaakt van de achtergrondanalyse van Reijs (2021).

- Rest van de gewassen daalt evenredig met daling totaal areaal

Mest- en ammoniakbeleid

Uitgangspunt voor het referentiescenario is voortzetting van het huidige mestbeleid (is hetzelfde als in Lesschen et al., 2020). Dit gaat uit van het stelsel van fosfaatrechten voor de melkveehouderij en fosfaatplafond per sector (84,9 miljoen kg P₂O₅ voor melkvee, 39,7 miljoen kg P₂O₅ voor varkens en 27,4 miljoen kg P₂O₅ voor pluimvee en 172,9 miljoen kg P₂O₅ voor alle sectoren samen) en voor stikstofexcretie een totaal plafond van 504,4 miljoen kg N (zie ook Lesschen et al., 2020). In het referentiescenario blijven de aantallen dierrechten voor 2030 gelijk aan de huidige situatie voor pluimvee (67,2 miljoen). Voor varkens wordt het effect van de warme sanering meegenomen. Hoewel het nog onzeker is hoeveel varkens er precies zullen verdwijnen door deze warme sanering, is op basis van de huidige beleidsvoornemens (inclusief de opkoop van piekbelasters waar boeren vanaf november 2020 op in kunnen schrijven) aangenomen dat dit leidt tot een daling van het aantal varkens met 10%; deze afname is ook toegepast op het aantal dierrechten voor varkens (gaat naar 7,8 miljoen).

De voortzetting van het ammoniakbeleid betekent volledige invoering van het Besluit emissiearme huisvesting waarin de maximale emissiewaarden per staltype zijn vastgesteld⁷. Voor het referentiescenario is aangenomen dat dit besluit in 2030 geïmplementeerd is met uitzondering van de aanpassingen in de melkveehouderij, waarbij we conform de Referentieraming voor het jaar 2030 (Vonk et al., 2020) een implementatiegraad van 90% aanhouden. Verder geldt dat het per 2019 verplicht is om voor grasland een mesttoedieningstechniek te gebruiken waarbij de ammoniakemissie niet hoger is dan die van een zodenbemester. Conform de KEV is in de berekeningen voor het referentiescenario is aangenomen dat deze verplichting volledig is geïmplementeerd (en gehandhaafd) in 2030.

Autonome opbrengst ontwikkelingen

Als gevolg van ontwikkelingen in de fokkerij en veredeling en verbeteringen in het beheer nemen de melkopbrengst en gewasopbrengst al jaren toe. Voor de referentie zijn deze historische trends grotendeels doorgetrokken. De productiviteitsontwikkeling beïnvloedt de emissies (toename in melkproductie per koe betekent bijvoorbeeld ook een toename in N-excretie en methaanemissie per dier). Deze toenames zijn in de berekende emissies verrekend (zie ook Lesschen et al. 2020). Voor de berekeningen wordt uitgegaan van een 'aangeklede' melkkoe, dat betekent dat het jongvee hierin verrekend is. De verhouding vrouwelijk jongvee/melkkoeien is voor de referentie vastgesteld op 0,56; dat is lager dan het huidige niveau (0,71 in 2017), maar in lijn met de historische trend van een afname van het aantal stuks jongvee per koe.

Voor grasland is in de referentie voor 2030 een beperkte opbrengststijging van 3% (gemiddeld 9.786 kg DS/ha) opgenomen en voor snijmais een stijging van 6% (gemiddeld 18.145 kg DS/ha). Voor akkerbouwgewassen is er verschil in verwachte opbrengsttoenames. Gebaseerd op historische trends en literatuur (onder andere Market Outlook studies van de EU en Nederland) is aangenomen dat voor granen de opbrengst stijgt met 0,65% per jaar en voor aardappels, suikerbieten en overige gewassen met 1% per in het referentiescenario.

In het referentiescenario wordt uitgegaan van de huidige verhouding in voersamenstelling voor melkkoeien (50% gras, 20% snijmais en 30% krachtvoer en bijproducten).

Financieel-economische indicatoren: het equivalente 'saldi' 2018-begrip

Vanwege de behoefte om toch enig inzicht te geven in de economische aspecten worden per sector equivalente 'saldo' 2018 uitgerekend. Het concept equivalente 'saldi' 2018 is een *as if*-indicator waarbij de impact van een maatregel wordt uitgerekend bij de bestaande markt- en prijsverhoudingen (ofwel de

⁷ NEMA heeft onlangs aanpassingen gemaakt, waarbij de emissiereductie in emissiearme stallen met vloeraanpassing is bijgesteld. Dit heeft grote consequenties voor de ramingen van melkveestallen die volgens de huidige versie van NEMA veel minder effectief zijn. De vraag is waar de mindere werking precies aan ligt en of dit snel verbeterd of gerepareerd kan worden. Dit effect is niet verwerkt in de referentieraming van Vonk et al. (2020) en ook in onze analyse niet meegenomen. Maar het onderstreept wel de onzekerheid rond dit punt.

impact van een maatregel die deze zou hebben indien deze 'vandaag' genomen zou worden en tot volledig effect zou komen). De reden om een dergelijke indicator te gebruiken is, net als dat bij Lesschen et al. (2020) het geval was, dat er onzekerheden zijn over prijzen en vooral de kosten, terwijl er toch de behoefte was om enig inzicht in de economische impact te krijgen. De prijzen kunnen worden ingeschat op basis van Market Outlook studies maar dit geldt maar beperkt voor de kosten.⁸

De equivalente 'saldi' bestaan uit de opbrengsten minus 'reguliere' kosten, zoals bijvoorbeeld de kosten voor veevoer en enkele standaard toegerekende kosten. Hierin zijn zoals hierboven aangegeven dus de maatregel gerelateerde milieukosten niet meegenomen⁹. Deze laatste kunnen een divers karakter hebben, zoals bijvoorbeeld een lagere productiviteitsontwikkeling door beperkende milieumaatregelen, maar emissie-efficiënties kunnen ook leiden tot nieuwe vormen van productiviteitsontwikkeling (zie bijvoorbeeld bij de introductie van de fosfaatquotering). Verder kunnen maatregelen specifieke kosten met zich mee brengen (investeringen in stallen, noodzaak om ammoniakrechten aan te kopen, aangepaste voerkosten door speciaal bewerkt voer).¹⁰ Naast de directe kosten kunnen er ook indirecte kosten zijn. Als door de milieumaatregelen het perspectief op de sectorontwikkeling verandert, zit daar behalve directe 'milieukosten' in principe ook een vermogensverliescomponent aan. Deze kan omvangrijk zijn, maar wordt meestal niet meegenomen en is voor dit onderzoek onmogelijk goed in te schatten. De uitgangspunten van de saldi-berekeningen zijn hetzelfde als in Lesschen et al. (2020). Zoals ook in Lesschen et al. (2020) wordt benadrukt, geven dergelijke getallen dus een eerste en zeer ruwe en partiële indicatie met betrekking tot mogelijke inkomenseffecten. De saldi-indicatoren geven een onderschatting van de inkomenseffecten, omdat een deel van de (milieu)kosten niet is meegenomen en moeten daarom met grote voorzichtigheid worden gebruikt.

Een belangrijke kanttekening bij de equivalente 'saldi' 2018 is dat ze alleen op de primaire sector slaan. Veranderingen in de primaire sector, bijvoorbeeld in de omvang ervan, zullen ook implicaties hebben voor toeleverende en verwerkende sectoren. De financiële bedragen die daarmee gepaard gaan, zijn in totaal vaak groter dan die voor de primaire sector zelf. In het tijdsbestek dat voor deze studie beschikbaar was kon geen uitvoerige doorrekening van de effecten voor 'de rest van de economie' worden gemaakt. Dit aspect wordt in deze studie dus niet expliciet meegenomen, maar hier wel vermeld als een belangrijk neveneffect.

Vermeden milieukosten zijn monetair gewaardeerd

Een nieuw toegevoegde indicator is de vermeden milieukosten. Hiervoor worden de reducties in emissies en excreties financieel gewaardeerd tegen bepaalde schaduw prijzen (zie tTabel 1 voor een overzicht). Op die manier kan een ruwe schatting worden gemaakt van de financiële waarde (op nationale schaal) van de door de geanalyseerde maatregelen gereduceerde emissies, waarbij niet alleen ammoniak, maar ook de bijdrage van andere emissie- of excretiereducties (broeikasgassen, N₂O, fosfaat, en stikstof) wordt meegenomen. Voor de schaduw prijzen is gebruikgemaakt van de door het secretariaat NenB aangeleverde prijzen (die zij op hun beurt weer hebben ontleend aan berekeningen van CE Delft (2017) en aan Van der Sleen en Van Benthem (2020)). In deze getallen zit vermeden schade aan natuur, gezondheid en klimaat verrekend. Het is goed er rekening mee te houden dat er forse onzekerheden op deze getallen zitten. Van Grinsven et al. (2013) die in hun analyse de regels van de EU Nitrogen Assessment volgen, werken met

⁸ De veronderstelling om met 'equivalente saldi 2018' te werken is een rigide assumptie, waarbij de saldi per activiteit in feite constant worden gehouden over de tijd. Tot op zekere hoogte wordt iets soortgelijks gedaan met de standaardopbrengsten (SO)-indicator bij de bedrijfsclassificatie en typologie in de landbouw en ook in input-/outputanalyses. Naarmate de tijdshorizon langer wordt, krijgt deze assumptie een meer heroïsch karakter. De saldi hebben de neiging in de tijd toe te nemen door voortgaande productiviteitsontwikkeling. In de melkveehouderij bijvoorbeeld nam het saldo per melkkoe gedurende de afgelopen 20 jaar met circa 17 euro per dier per jaar toe. Dat is een toename van nog geen 1% per jaar. Tegelijkertijd zien we de laatste jaren een zekere afzwakking van de netto of economische productiviteitsontwikkeling. Vanuit die optiek werd het verantwoord geacht om voor het type indicatieve berekeningen waar hier de focus op ligt deze veronderstelling hier te maken; dit temeer daar de tijdshorizon hier een veel kortere is dan in Lesschen et al. (2020).

⁹ Het verlies aan equivalente saldi 2018 (een ruwe indicator voor het verlies van toegevoegde waarde op sector niveau), zoals dit bijvoorbeeld optreedt bij krimp van de veestapel, wordt wel meegenomen.

¹⁰ Voor de economische impact van diverse ammoniakreductiemaatregelen op bedrijfsniveau wordt verder verwezen naar Groenestein et al. (2017).

een bedrag voor ammoniak dat varieert tussen de 4 en 30 duizend euro per ton (inclusief gezondheids- en biodiversiteitseffecten) en voor N₂O dat varieert tussen 5 en 20 duizend euro per ton (omvat gezondheids- en klimaateffecten). De gekozen middenwaarden in Van Grinsven et al. (2013) voor ammoniak en N₂O zijn daarmee nog niet de helft van de waarden zoals die in tabel 1 staan.¹¹ Berekeningen van vermeden milieukosten zoals die in het vervolg worden gepresenteerd zullen dus waarschijnlijk eerder tot een overdan een onderschatting van de vermeden kosten leiden. Anderzijds zijn er ook bepaalde milieukosten die in Tabel 1 niet worden meegenomen, zoals bijvoorbeeld fijnstof, stikstofbelasting van water en NO_x, maar die er wel toe doen (zie Giannakis et al., 2019).

Tabel 1 Gehanteerde schaduw prijzen voor de berekening van vermeden milieukosten

Luchtvervuilende stof	Prijs per ton in €
NH ₃	30.500
CH ₄	3.025
N ₂ O	26.361
Fijnstof	PM a)
Vervuiling naar water en bodem	
Fosfaat	629
Stikstof totaal (naar water)	PM a)

a) Aanvankelijk werd er gevraagd om ook de kosten van stikstof naar water (3.110,00 euro/ton) en van fijnstof in de vermeden milieukosten mee te nemen, maar dit is uiteindelijk niet gedaan omdat met het gebruikte modelinstrumentarium hier geen nauwkeurige schattingen van konden worden gemaakt.

Bron: Fiche L1-Krimpveestapel door inname productierechten (gebaseerd op CE Delft Handboek Milieuprijzen 2017).¹²

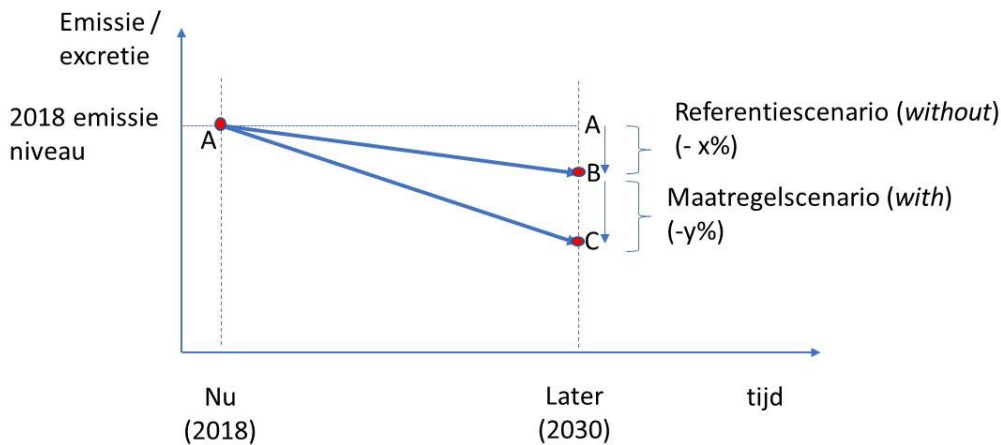
Presentatie van resultaten volgens het *with* en *without*-principe

Wat betreft de presentatie van de resultaten is de algemene conventie aangehouden om het verschil met (*with*) en zonder (*without*) de interventie weer te geven. Merk op dat in de situatie zonder de (extra) interventie er ook al een autonome ontwikkeling kan zijn. In het geval van de figuur 1 is die autonome ontwikkeling, weergegeven als het referentiescenario, al een reductie van de emissie (zeg x% daling ten opzichte van het niveau van 2018), ofwel van niveau A naar niveau B. Die 'autonome daling' is deels een gevolg van al bestaand beleid dat in het referentiescenario is meegenomen. Zo is er bijvoorbeeld het Besluit emissiearme stallen dat tot gevolg heeft dat nieuwe stallen die in de periode 2018-2030 in gebruik worden genomen en die aan strengere milieueisen moeten voldoen dan de bestaande stallen, lagere emissies per dier zullen hebben. Een ander voorbeeld is de uitkoopregeling in de varkenshouderij die, omdat die al loopt, in het referentiescenario is meegenomen en leidt tot een daling in het aantal dierrechten (-10%) en dieraantallen in 2030 ten opzichte van 2018.

Met een nieuwe interventie, zoals die in het vervolg zullen worden geanalyseerd, treedt er een verdere daling op, in de figuur aangegeven als de daling van B naar C, ofwel een verandering van -y%. Het werkelijke effect van de interventie is de daling B-C. Bij de presentatie van de effecten van de scenario's worden steeds de werkelijke effecten van een maatregel weergegeven ten opzichte van de baseline (dus de verandering ten opzichte van de waarde van het referentiescenario in 2030). Eventueel kan dit als een procentuele verandering ten opzichte van het basisjaar 2018 (of van zichtjaar 2030) worden weergegeven, maar in het vervolg zal dit afhankelijk van wat het meest relevant is vooral in fysieke en/of financiële eenheden worden weergegeven.

¹¹ Het is niet precies duidelijk of de schaduw prijzen die Van Grinsven et al. (2013) gebruiken precies dezelfde externaliteiten meenemen als die uit tabel 1 die gebaseerd zijn op CE Delft (2017). Een verschil zou kunnen zijn dat de kosten van schade aan de natuur door Van Grinsven et al. (2013) op een andere manier of niet direct worden meegenomen.

¹² Volgens tabel 1 van het CE Delft Handboek 2017 is de prijs voor methaan 1750 euro per ton (50% van de hier gehanteerde prijs). In het Handboek wordt aangegeven dat deze schaduw prijzen zijn omgeven door onzekerheden (naast de centrale waarde worden ook onder- en bovenwaarden gepresenteerd). De waarden die door het secretariaat NenB worden gehanteerd lijken te zijn gekozen op basis van de centrale (of gemiddelde) waarde. Zie voor de onzekerheden ook Van Grinsven et al. (2013) en Giannakis et al. (2019).



Figuur 1 Weergave van resultaten en rol van referentiescenario

Selectie van belangrijkste resultaten van de berekeningen voor het referentiescenario

In Tabel 2 worden de emissieveranderingen in 2030 ten opzichte van 2018 gegeven (zie de reductie A-B of -x% uit Figuur 1). Eventueel kan de informatie uit deze tabel worden gebruikt om de totale reductie ten opzichte van 2018 aan te geven (=AB + BC) = AC. In de resultaat tabellen in de volgende hoofdstukken worden per maatregel/scenario steeds veranderingen zoals BC gegeven (het *with* effect) omdat dat de echte bijdrage van een bepaalde maatregel weergeeft. Het is belangrijk hier rekening mee te houden bij de interpretatie van de resultaten. De resultaten volgen de KEV 2020 zo goed als mogelijk¹³.

Tabel 2 Resultaten van het referentiescenario: inschatting van met maatregelen te realiseren emissie en excretiereducties in de landbouw a)

Baseline-info	Emissie NH ₃ (kt)	Excretie N (kt)	Excretie P (kt)	Emissie CO ₂ -eq. (Mt) b)
Basisjaar 2018	112,0	516,0	164,5	12,5
Referentiescenario 2030	102,0	489,5	159,0	12,0
Vershil 2018 - 2030	-10,0	-26,5	-6,0	-0,5
Idem als %	-9,0	-5,0	-3,5	-5,0

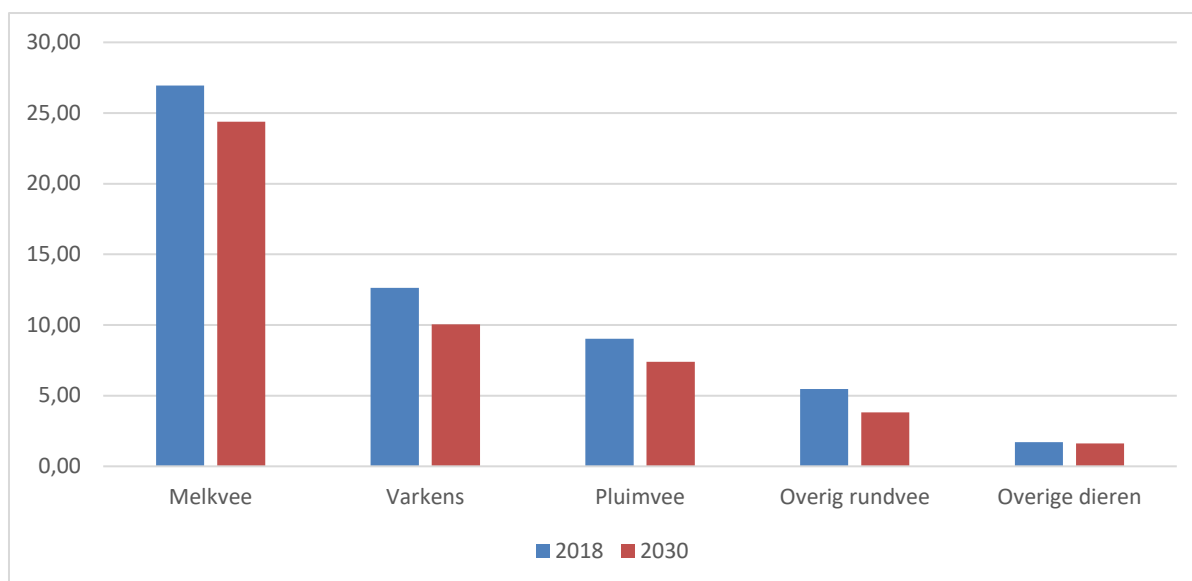
Bron: berekend met simulatiemodel.

a) zie effect A-B uit Figuur 1. De getallen zijn afgerond op halve of hele kilotonnen, het gaat om indicatieve berekeningen; b) Betreft methaan (CH₄) en lachgas (N₂O)

In de referentieraming (Vonk et al., 2020) vindt er een verwachte reductie van de ammoniakemissie plaats van ongeveer 9,2 miljoen kg in 2030 ten opzichte van 2018 (7.8%); in de modelberekening (referentiescenario) is deze door afrondingen iets hoger (-10 kton). De daling vindt vooral plaats bij stallen en mestopslagen en nauwelijks op het land (bijvoorbeeld bij aanwending van mest op grasland).

Figuur 2 geeft een overzicht van de bijdragen van de diverse sectoren aan de ammoniakemissie, zowel voor het basisjaar 2018 als voor het zichtjaar 2030 (gebaseerd op Vonk et al., 2020 en ook zoals dit is verwerkt in het referentiescenario van de simulatietool). Zoals figuur 2 laat zien, is de melkveehouderij de belangrijkste bron van ammoniakemissie uit stallen en mestopslagen.

¹³ De afwijkingen zijn verwaarloosbaar.



Figuur 2 Ammoniakemissies uit stallen en mestopslagen per sector zoals opgenomen in de referentieraming

Bron: Gebaseerd op Vonk et al. (2020)

Tabel 3 geeft informatie over de economische indicatoren voor het referentiescenario. Zoals de tabel laat zien is er een daling van de equivalente 'saldi' 2018-bedragen. De dalingen treden vooral op bij de melkveehouderij en varkenshouderij. De verklaring daarvoor zit in de dalingen in de dieraantallen, die bij de melkveehouderij veroorzaakt worden door het fosfaatquoteringssysteem (in combinatie met in de tijd stijgende melkopbrengsten per koe) en bij de varkenshouderij door de uitkoopregelingen. Het totaal van de equivalente 'saldi' 2018 bedraagt in 2018 4,21 miljard euro en dit daalt in het referentiescenario naar 3,90 miljard euro in 2030. De gemiddelde aandelen van de sectoren in dit totaal zijn respectievelijk 65, 15, 11 en 9%.

Tabel 3 Informatie over de economische indicatoren met betrekking tot de ontwikkelingen in het referentiescenario

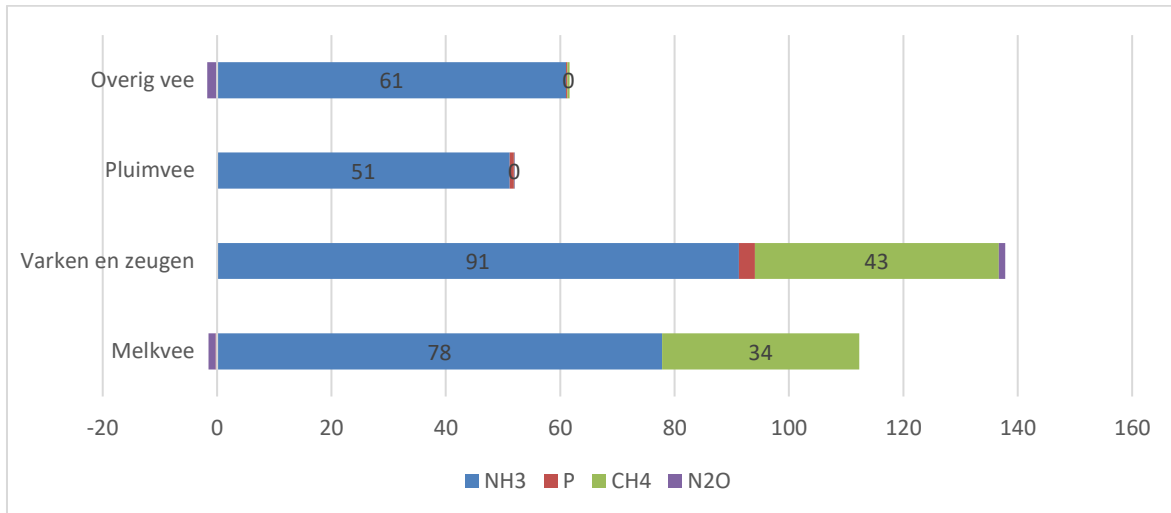
	Melkvee	Varken en zeugen	Pluim-vee	Overig vee
Equivalente 'saldi' 2018, Referentie 2018 (€ miljoen)	2.743	643	442	383
Equivalente 'saldi' 2018, Referentie 2030 (€ miljoen)	2521	569	436	375
Referentie 2030 - Referentie 2018 (€ miljoen)	-221	-75	-5	-8
Verschil 2030-2018, (%)	-8	-12	-1	-2

Bron: eigen berekeningen (getallen zijn afgerond)

Figuur 3 Vermeden milieukosten die worden gerealiseerd in het referentiescenario over de periode 2018-2030 (in miljoenen euro's)

Bron: eigen berekening met Optimalisatie-tool
 geeft de vermeden milieukosten zoals die in het referentiescenario worden gerealiseerd als gevolg van de in dit scenario al genomen maatregelen. Hiervoor is er al gewezen op de onzekerheden en beperkingen die er aan die schatting zitten en het is goed die in gedachten te houden bij de interpretatie van de gepresenteerde bedragen. In totaal is er in het referentiescenario door de gerealiseerde emissiereducties een vermeden milieuschade van 361 miljoen euro. De vermeden emissies zijn daarbij monetair gewaardeerd met de schaduwrijzen zoals vermeld in tabel 1. Procentueel gezien is de emissiereductie (in kilogrammen) het sterkst bij ammoniak (-10%), terwijl de overige reducties gemiddeld maar 5% zijn. De uitzondering is N₂O, waar een stijging van 4% optreedt. Circa 38% van de totaal vermeden milieukosten wordt gerealiseerd door de varkenshouderij (veestapelreductie door

uitkoopregelingen), terwijl het aandeel van de melkveehouderij 31% is (emissiereductie door fosfaatquoteringssysteem en verlaging van emissie per kg melk). Van de totaal berekende vermeden kosten in het referentiescenario is bijna 78% te danken aan de verwachte reductie in ammoniakemissie en ruim 21% gerelateerd aan de reductie van methaanemissie.



Figuur 3 Vermeden milieukosten die worden gerealiseerd in het referentiescenario over de periode 2018-2030 (in miljoenen euro's)

Bron: eigen berekening met Optimalisatie-tool

Resultaten van de doorrekening van de fiches

De resultaten van de doorrekeningen van de fiches van het secretariaat NenB worden hieronder samengevat en beknopt toegelicht. De focus ligt daarbij op de geschatte te behalen reductie in ammoniakemissie. Het gaat hierbij om de effecten op hoofdlijnen en met inachtneming van de onzekerheden zoals die hiervoor al genoemd zijn.

L-1 Fiche Krimp veestapel via innemen productierechten

Voor alle scenario's zoals die zijn gedefinieerd in het door het secretariaat NenB aangereikte fiche over productierechten geldt dat voor de gemaakte berekeningen de genoemde kortingspercentages worden toegepast uitgaande van de veestapel of productierechtensituatie in 2018. In scenario 1 is er rekening mee gehouden dat er in de melkveehouderij al een afrotingsysteem is. Echter, ondanks dat er in de huidige fosfaatregeling 20% afroting is, is de vormgeving ervan anders dan wat in scenario 1 wordt voorgesteld omdat bij de huidige regeling slechts een deel van de afgeroomde rechten aan de sector wordt onttrokken. Voor de doorrekening is ervan uitgegaan dat de generieke korting in scenario 2 in 2023 in een keer wordt geïmplementeerd en dat daarna gelijktijdig het afrotingsmechanisme van kracht wordt. De kortingen vinden plaats op de productierechten (dierrechten in varkenshouderij en pluimveehouderij en fosfaatrechten in de melkveehouderij). De manier waarop deze zullen worden geïmplementeerd is overigens niet nader toegelicht in het fiche van het secretariaat NenB. De generieke kortingen (zie scenario's 2, 3 en 4) zijn doorgerekend door het aantal productierechten met de relevante percentages te reduceren. In scenario's met een forse afname in het aantal productierechten was het nodig om aanvullende veronderstellingen te maken. Omdat bemesting nodig is en er in de bestaande situatie een aanzienlijke hoeveelheid mest wordt geëxporteerd (waarvoor ook nog afzetkosten moeten worden gemaakt) ligt het voor de hand dat de aanwending op land in eerste instantie nagenoeg ongewijzigd blijft en er vooral aanpassing (reductie) zal plaatsvinden van de hoeveelheid mest die wordt geëxporteerd. Echter, wanneer er een reductie in productierechten is van 25 à 35% of meer, dan is er onvoldoende organische mest beschikbaar voor een bemesting volgens de huidige praktijken en/of wettelijke ruimte. Er is aangenomen dat wanneer de beschikbaarheid van organische mest zover terugloopt deze (deels) vervangen zal worden door alternatieven zoals kunstmest. In scenario 4 is verondersteld dat er in Nederland een tekort is aan organische mest om te voldoen aan de huidige bemestingspraktijken dat wordt aangevuld met kunstmest (dit is conform normale landbouwpraktijk).

Tabel 4 L-1 Schatting van het effect van productierechten scenario's op ammoniakemissie

Maatregel in % van productierechten	Emissie NH₃ (kton)
1. Afroting van 20% bij verhandeling in alle drie de sectoren	-2,0
2. Generieke korting van 10% plus afroting van 20% bij verhandeling in alle drie de sectoren	-6,0
3. Generieke korting van 30%	-11,5
4. Generieke korting van 50%	-26,0

Bron: eigen berekeningen (getallen afgerond op halve of hele kiloton)

L-2 Fiche ammoniakrechten

Het ammoniakrechtensysteem, zoals beschreven in het fiche van Secretariaat NenB, beperkt de totale toegestane ammoniakemissieruimte door de omvang ervan te bepalen en door vervolgens ammoniakrechten uit te geven die zijn gekoppeld aan de emissie per dier. Er wordt van uitgegaan dat in 2021 een NH₃-rechtensysteem opgezet ('ammoniakrechtensysteem') kan worden. Het totaal aantal rechten is bij de start afgestemd op de totale uitstoot van de deelsectoren in 2018 (het jaar waarin de uitstoot voor het laatst berekend is). Er is aangenomen dat de rechten alleen binnen specifieke sectoren verhandelbaar zijn en dat er geen externe saldering van toepassing is.

Anders dan bij het scenario 'vermindering productierechten' is de reductie in ammoniakrechten niet alleen toegepast op de sectoren melkveehouderij, varkenshouderij en pluimvee, maar is deze ook toegepast op de categorie overige (productie)dieren. Bij scenario 1) is ervan uitgegaan dat direct bij de invoering van het systeem in 2021 de generieke reductie van 10% wordt toegepast en gelijk daarmee het afrotingsmechanisme in werking treedt en voor een periode van 10 jaar doorwerkt (2021-2030).

Het effect van het afromingspercentage is op eenzelfde manier bepaald als in het geval van 'L-1 Krimp veestapel' (zie hierboven). Bij de scenario's 2, 3 en 4 zijn er zodanige dalingen van de veestapel dat er rekening moet worden gehouden met een 'tekort' aan organische mest, en er vervanging door kunstmest nodig is.¹⁴ Hiervoor zijn op dezelfde wijze als bij de inkrimping van productierechten aanvullende berekeningen gemaakt om de daarmee verbonden emissiereductie aan ammoniak in te schatten.

Tabel 5 L-2 Schatting van het effect van ammoniakrechten scenario's op ammoniakemissie

Maatregel reductie ammoniakrechten	Emissie NH₃ (kton)
1. Eenmalige generieke korting van 10% plus afroming bij verhandeling van 20% in alle sectoren	-6,0
2. Jaarlijkse generieke korting van aantal rechten met 4% tot 40% totaal	-21,5
3. Jaarlijkse generieke korting van aantal rechten met 5% per jaar tot 50% totaal	-30,5
4. Jaarlijkse generieke korting van aantal rechten met 7% per jaar tot 70% totaal	-48,0

Bron: eigen berekeningen (getallen zijn afgerond op halve of hele kilotonnen)

L-3 Fiche voer

Voor het L-3 Voer-fiche zijn door WR geen nieuwe berekeningen gemaakt, maar is alleen expertcommentaar gegeven op het fiche van Secretariaat NenB en de door hen daarover gestelde vragen. Zie voor kwantitatieve analyse de PBL-analyse van de bronmaatregelen. Er is een update van deze doorrekening voor de toekomst voorzien.

L-4 Fiche weidegang

Het fiche 'meer weidegang voor melkvee' benoemt Secretariaat NenB opties om het aantal uren weiden te doen toenemen (van gemiddeld 1.000 uur per dier per jaar nu). Er is de laatste jaren een opwaartse trend in uren weidegang. Dit lijkt het gevolg te zijn van succesvolle (bovenwettelijke) private initiatieven, zoals de weidegangpremie. Het secretariaat NenB noemt het een omissie binnen de huidige private initiatieven dat er geen prikkel is om te weiden boven het minimum aantal uren. Samen met de private sector zou kunnen worden gekeken naar het opzetten van een bonus-malussysteem, waarin de beloning oploopt naarmate meer wordt geweid, en waarin de heffing oploopt naarmate minder wordt geweid. Indien dit privaat niet werkt kan de overheid overgaan tot het op eigen initiatief opzetten van dit systeem. Door ons is niet nader naar het opzetten en de werking van zo'n bonus-malussysteem gekeken. Omdat onze rekentool een sectorale focus heeft (en dus niet rekent met individuele bedrijven en de interacties daar tussen) is deze niet geschikt om de impact van heffingen en betalingen op bedrijfsniveau te analyseren. Er wordt daarom alleen informatie gegeven over de sectorale/nationale impact.

Meer weiden (van 1.000 naar 1.900 uur is bijna een verdubbeling) betekent ook dat bedrijven vaker op ongunstige dagen (warm, te nat land, najaar) moeten weiden. Bij beperkt weiden (8-9 uur per dag) betekent dat bij 1.900 uur meer dan 200 weidedagen per jaar. Dat vraagt om voldoende huiskavel en het kan tot grotere loopafstanden voor de koeien leiden. Dit lijkt zeker zo te zijn bij robotmelken in combinatie met weiden (dan moeten de koeien vaker heen en weer tussen wei en stal). In dat verband lijkt een verhoging naar 1.500 uur realistischer dan 1.900 uur en daarom is ook een verhoging tot 1.500 uur als een extra scenario toegevoegd en doorgerekend.

¹⁴ Bedoeld is hier een tekort ten opzichte van de huidige bemestingspraktijk. Volgens het Bedrijven-informatienet/LMM wordt er bijvoorbeeld in de akkerbouw op dit moment al minder mest toegediend dan zou passen binnen de gebruiksnormen.

Tabel 6 L-4 Schatting van het effect van weidegangscenario's op ammoniakemissie

Maatregel Meer beweiding a)	Emissie NH ₃ (kton)
1. Verhoging van het aantal uren beweiden (van gemiddeld 1000 uur per dier/jaar nu) naar 1.900 uur in 2030 b)	-4,5
2. Verhoging van het aantal uren beweiden (van gemiddeld 1000 uur per dier/jaar nu) naar 1.500 uur in 2030 b)	-2,5

Bron: eigen berekeningen (getallen zijn afgerond op halve of hele kilotonnen)

a) Meer beweiding verlaagt de beschikbaarheid van drijfmest en kan er mogelijk toe leiden dat boeren extra kunstmest gaan inzetten. Dat effect, dat tot een wat lagere ammoniakreductie zou kunnen leiden, is niet in de berekening meegenomen; b) Dit effect kan in werkelijkheid anders zijn als de 1.000 uur beweiden waar het fiche van uitgaat in werkelijkheid anders is.

L-5 Fiche Mestaanwending

Dit fiche gaat over 'Vermindering van NH₃-emissies via voorschriften met betrekking tot de mestaanwending'. De emissies uit mestaanwending vormen een groot deel van de totale NH₃-emissie uit de landbouw in 2018. In 2018 was 40,4 kton (36%) van de totale emissie uit de landbouw (111 kton) afkomstig uit toediening van mest (Vonk et al., 2020).

Aan de WUR is gevraagd om drie scenario's nader door te rekenen:

- 1) Verdunnen van mest 1:1 in de zomeropslag en in alle mestkelders met voldoende capaciteit;

Toegevoegd scenario: het verdunnen van alle mest met water bij aanwending bij twee water/mest-verhoudingen: 0.5 : 1 en 1 : 1;

- 2) Toevoegen van anorganische zuren binnen de milieugrenzen (maximaal 33% van de totale mestgift);
- 3) Verbod op drijfmest door voor nieuwe stallen primaire scheiding en frequente afvoer van mest en urine te eisen vanaf het moment van beschikbaarheid techniek.

Omdat het met betrekking tot het aanzuren van mest niet duidelijk was of dit al in de stal (mestkelder) moet gebeuren of alleen bij de aanwending, wordt aan beide opties aandacht besteed. Verder is er, omdat met betrekking tot het verbod op drijfmest (zie ad 3) er onzekerheid is over de inschatting van het moment van de beschikbaarheid van techniek, voor gekozen om allereerst te focussen op de potentie van de maatregel bij volledige doorvoering. Daarnaast is een ruwe inschatting gemaakt van de termijn en aard van de beschikbare techniek. De focus van de analyse ligt op de emissiereductie bij de aanwending. Maar een neveneffect hiervan kan zijn dat er, in absolute hoeveelheden, hogere emissies zijn bij het mestuitrijden.¹⁵

¹⁵ Een reductie van de ammoniakemissie in stallen betekent dat er meer ammoniakale stikstof (NTAN) in de uit te rijden (ofwel toe te dienen) mest aanwezig zal zijn. De reductie van ammoniakemissie in de stallen kan dan voor een groter of kleiner deel teniet gedaan worden door meer ammoniakemissie bij het toedienen van de mest. Bij primaire scheiding van mest in urine en feces kan dit sterk spelen, met name bij toediening op grasland. Er zijn bij primaire scheiding twee producten, urine waar per kg de meeste NTAN in zit (met doorgaans een lagere emissiefactor (EF) dan drijfmest) en feces (met een lager percentage NTAN dan in drijfmest maar met een duidelijk hogere EF bij toediening op grasland omdat de feces op grasland niet kunnen worden ingewerkt). Omdat tabellen met gehalten aan meststoffen geen urine en feces vermelden maar wel gier en vaste mest, wordt in deze voetnoot aangenomen dat gier gelijk staat aan urine en vaste mest aan feces.

Als illustratief voorbeeld wordt uitgegaan van de meest voorkomende situatie op grasland qua toedienen van mest, het toedienen van mest van melkvee. In veel situaties is dan bij toedienen van vaste mest op grasland de EF 68% en bij toedienen van drijfmest op grasland met een zodenbemester is de EF 17%. Voor toediening van urine/gier op grasland is een eerste inschatting dat de EF 10% is. Vervolgens wordt aangenomen dat er in de vaste mest 4,3 kg fosfaat per ton zit, in drijfmest 1,5 kg fosfaat per ton en in gier 0,2 kg fosfaat per ton (gehalten aan fosfaat uit Handboek melkveehouderij (WLR, 2016); fosfaat is niet onderhevig aan emissies naar de lucht en daardoor een betere maatstaf voor verdeling gier/vaste mest dan NTAN). Er kan dan berekend worden dat 68% van de totale massa van gier en vaste mest gier

Het verdunnen van mest beïnvloedt vooral de aanwending en mogelijk de stalemissie.¹⁶ Verdunnen in de stal zou volgens het secretariaat NenB (persoonlijke mededeling; zij baseren zich hiervoor op een studie van ILVO, 2016) 41-46% reductie (bij aanwenden) kunnen betekenen. Dat vraagt dan wel een aanzienlijke verdunning van 1:1 met water. Verdunning in de stal vraagt dus om de beschikbaarheid van voldoende water en van opslagruimte (in de mestkelders). Daarom is er in de maatregel gekozen voor verdunning in de zomeropslag en in kelders met voldoende ruimte. Er wordt door WUR-experts overigens getwijfeld of het reductiepercentage van ILVO niet te hoog is; er zijn geen proeven bekend die deze claim onderbouwen.

Het merendeel van op grasland aangewende mest is rundveedrijfmest waarvoor de 46% geldt: over alle mest op grasland zal worden uitgegaan van een percentage van circa 45%. Het verdunnen is maar voor ongeveer de helft van de toe te dienen mest bruikbaar (om geen extra opslagcapaciteit nodig te hebben). De maatregel is op zandgrond moeilijk toepasbaar vanwege de beperkingen met de beschikbaarheid van oppervlaktewater.

Naast het in het fiche gevraagde scenario in verband met het verdunnen van mest in de stal is als een extra scenario gerekend aan het verdunnen van alle drijfmest bij aanwending. Dit gaat dus veel verder dan het alleen verdunnen in de zomeropslag. Naast klei- en veengronden worden dan ook de zandgronden meegenomen en moet de aanname worden gemaakt dat het mogelijk is om voor bedrijven op zandgronden een voorziening te realiseren zodat voldoende water beschikbaar is. Een optie om generiek aanlengen van mest met water inhoud te geven zou kunnen door de huidige regeling voor uitrijden op klei- en veengrond generiek van toepassing te verklaren (eventueel met flankerend beleid om voldoende mogelijkheden voor wateropvang op zandgronden af te dekken)¹⁷. In dat geval kan een hogere ammoniakreductie (4,8 kton) worden behaald dan in geval van bijmengen in de stal of zomeropslag (zie vervolg).

Met aanzuren van mest met anorganische zuren (in Denemarken wordt veelal zwavelzuur gebruikt) kan technisch gezien een reductie van de ammoniakemissie in zowel stal (50%) als bij aanwenden (20-30%)¹⁸ worden verkregen (Jacobson et al., 2017; In Luesink et al., 2018). Er zijn volgens experts op dit moment vrijwel geen stal- en opslagsystemen onder de stallen waarin het aanzuren zonder ingrijpende stalaanpassingen of nieuwbouw mogelijk is. Stallen waarbij de kelders al goed gemixt kunnen worden kunnen mogelijk nog aangepast worden door de kelders te coaten. Zo niet dan dienen bestaande stallen omgebouwd te worden tot dagontmesting en dient er buiten de stal een opslag te worden gebouwd waarin de mest wordt aangezuurd en goed wordt gemixt. Dit laatste is wat in Denemarken veelal wordt gedaan. Door de combinatie van dagontmesting en aanzuren krijg je dan reductie. Aanzuren heeft veiligheidsrisico's en om te voorkomen dat de grond te zuur wordt dient er bekalkt te worden.¹⁹

Aanzuren van de mest alleen ten behoeve van het uitrijden (zie ook Proeftuin Natura 2000 en Huijsmans et al., 2015) is mogelijk zonder ingrijpende aanpassingen. Daarbij kan een mixinstallatie op het erf worden geplaatst, gekoppeld aan de vulslang van de aanwendapparatuur. Om niet meer zwavel toe te

is en 32% vaste mest omdat gier + vaste mest = drijfmest. Toediening van 1 ton drijfmest van melkvee op grasland betekent dan dat de emissie van ammoniak 323 g (1 ton x 1,9 kg NTAN/ton x EF 17%; gehalten aan NTAN ook uit WLR (2016)) is. Toediening van 320 kg vaste mest geeft een ammoniakemissie van 237 g (0,317 ton x 1,1 kg NTAN/ton x EF 68%) en toediening van 680 kg gier een ammoniakemissie van 260 g (0,683 ton x 3,8 kg NTAN/ton x EF 10%). In dit voorbeeld is de ammoniakemissie bij toediening van gier plus vaste mest op grasland 54% hoger (237+260=497) als bij toediening van dezelfde massa in de vorm van drijfmest (323). Zie verder Goedhart et al. (2020) voor een recente update rond de emissiefactoren.

¹⁶ Er kan ook een potentieel effect in de stal zijn, maar daarover was geen informatie en dat aspect is dan ook weggelaten in de berekening.

¹⁷ In de bronmaatregelen van 24 april 2020 is hiervoor al ondersteuning voorzien, maar dit loopt nog net mee in de KEV.

¹⁸ <http://www.proeftuinnatura2000.nl/nieuws/effect-van-aanzuren-van-mest-bij-uitrijden-minder-dan-verwacht>

¹⁹ Zie ook het advies van het CDM (2014).

dienen dan nodig, is aangenomen dat per bedrijf aanzuring maar voor 33% van de mest worden toegepast. Er is vanuit gegaan dat de benodigde hoeveelheid zwavelzuur ook beschikbaar zal zijn²⁰.

Eerste resultaten laten zien dat primair scheiden van de mest in urine en drijfmest emissiereducties in de stal oplevert in de orde van grootte van 30-65% (onder andere Systemen Hanskamp en Lely). Bij deze systemen wordt een deel van de urine van de drijfmest gescheiden; van de gescheiden producten is de ammoniakemissie bij aanwenden ook nog eens 10% lager omdat urine makkelijker in de grond dringt dan drijfmest. Als de urine met minimaal een factor 5 wordt ingedikt en vervolgens met een spaakwielbemester wordt uitgereden kan een emissiereductie worden verkregen bij het aanwenden van de urine als de resterende drijfmest van ongeveer 20%.

Geprobeerd is om een inschatting te maken van de potentiële reductie aan ammoniakemissies die kan worden behaald als de besproken technieken in alle stallen zouden worden toegepast. Naar schatting van WUR-experts kan dan een ammoniakreductie worden behaald van²¹:

- 2,5 kton NH₃ als de urine met een zodenbemester wordt aangewend en 5,0 kton NH₃ wanneer de urine wordt ingedikt en met een spaakwielbemester wordt aangewend;
- 8 kton NH₃ uit stallen en 2,5 kton NH₃ bij aanwenden van urine met een zodenbemester in het geval CowToilet zouden worden toegepast (totaal 10,5 kton NH₃). Wordt de urine ingedikt en aangewend met een spaakwielbemester dan is de reductie 13 kton NH₃;
- 13,5 kton NH₃ als CowToilet wordt gecombineerd met een emissiearme vloer en dan ook nog 2,5 kton NH₃ bij aanwenden van de urine met een zodenbemester (totaal 16 kton NH₃). Wordt de urine ingedikt en aangewend met een spaakwielbemester dan is de reductie 18,5 kt NH₃.

De door de WUR ingeschatte emissiereducties van het CowToilet zijn circa 30% lager dan die door de fabrikant zelf worden opgegeven.

Tabel 7 L-5 Schatting van het effect van mestmaatregel scenario's op ammoniakemissie

Maatregel Vermindering van NH₃-emissies via voorschriften met betrekking tot de mestaanwending	Emissie NH₃ (kt)
Verdunnen van mest 1:1 in de zomeropslag en in alle mestkelders met voldoende capaciteit ²²	-1,0
<i>Toegevoegd scenario: het verdunnen van alle mest bij aanwending 0.5: 1 of 1 : 1</i>	-5,0
Toevoegen van anorganische zuren bij aanwending binnen de milieugrenzen (maximaal 33% van de totale mestgift)	-1,5
Verbod op drijfmest door voor nieuwe stallen primaire scheiding en frequente afvoer van mest en urine te eisen vanaf moment van beschikbaarheid techniek (potentieel in stal) en in combinatie met aanwending)	Potentieel in de stal -8,0 – -13,5 ²³ Potentieel bij aanwending -2,5 -5

Bron: eigen berekeningen (getallen zijn afgerond op halve of hele kilotonnen)

L-6 Fiche Kunstmest

Het gebruik van meststoffen, dus ook minerale meststoffen, bevordert gewasgroei, maar tegelijk heeft gebruik van meststoffen een negatieve impact op het milieu door uitspoeling van voedingsstoffen naar grond- en oppervlaktewater en vervluchtiging van ammoniak naar de lucht. Ook komt bij de productie

²⁰ Wat dit in de stal betekent is dus niet meegenomen.

²¹ Het gaat hier om technische maatregelen die deels nog in een experimenteel stadium zijn en dat betekent dat de onzekerheidsmarge over emissiereductie en bedrijfsimplementatie daarbij nog groot is.

²² Er is alleen gerekend met het emissiereductie-effect bij de mestaanwending. Er kan een emissiereducerend effect in de stal zijn, maar dit hangt sterk af van de manier waarop de verdunning plaatsvindt. Omdat de fiche daarover geen specifieke informatie gaf en er onzekerheid is over de effecten in de stal is besloten deze niet mee te nemen.

²³ In combinatie met emissiereducerende mest/urine aanwendingstechnieken zijn grotere emissiereducties mogelijk (zie de hoofdstuk van Hoofdstuk 8, Tabel 13).

van kunstmest CO₂ vrij en wordt er een grote hoeveelheid aardgas geconsumeerd. Daarnaast draagt, volgens het secretariaat NenB, kunstmest niet bij aan het bodemleven en aan organische stofopbouw. Maar deze claim kan worden betwist omdat kunstmest tot meer gewasgroei (inclusief beworteling) leidt, dat op zichzelf weer goed is voor bodemleven.

In eerste instantie is door het secretariaat NenB ingezet op een norm van 60% van het huidige gebruik.²⁴ De norm kan in de tijd strenger worden als ook hoogwaardige vervangers uit organische mest beschikbaar en toegelaten zijn. De norm kan volgens het secretariaat NenB tot 40% van het huidige gebruik dalen.

Tabel 8 L-6 Schatting van het effect van normering kunstmest scenario's op ammoniakemissie

Maatregel Normering gebruik minerale meststoffen	Emissie NH3 (kt)
Normering gebruiksnorm N-kunstmest tot 60% huidige gebruik	vervangen door vlinderbloemigen -3,5 kton. Of, minder stikstof gebruiken (precisiebemesting) -3,5 kton Of, vervangen door kunstmestvervangers uit mest Geen emissieverlaging
Normering gebruiksnorm kunstmest tot 40% huidige gebruik (incl. inzet kunstmestvervangers)	Bij vlinderbloemigen en precisiebemesting -3,5 kton ²⁵ Bij vervanging: geen effect of toename

Bron: eigen berekeningen (getallen zijn afgerond op halve of hele kilotonnen)

L-7 Fiche Stalmaatregelen

Dit fiche gaat over aanscherpen van emissie-eisen bij stallen op niveau BBT (best beschikbare technieken) zoals die gelden in Noord-Brabant. Het secretariaat NenB gaat er vanuit dat er flankerend beleid zal zijn waardoor het volledig realiseren van de voorgestelde maatregel (dus inclusief bestaande stallen) in 2030 haalbaar moet worden geacht. Men wijst erop dat een subsidie van de overheid op deze maatregelen mogelijk is (dat mag binnen de EU-kaders tot circa 40% van de kosten van maatregelen).

Bij de berekeningen is de volgende procedure gevolgd:

- Eerst zijn de Rav-codes bepaald van stallen waarvoor geldt dat ze ten minste voldoen aan de genoemde aangescherpte eisen.
- Vervolgens is een berekening gemaakt van welk aandeel van de stallen voor melkvee, varkens en pluimvee in de uitgangssituatie (2018) al aan de strenge Brabantse eisen voldoet. Daarbij is onderscheid gemaakt naar de provincies Noord-Brabant, Limburg en de rest van Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van de GIAB-database.
- Ook is een inschatting gemaakt van de ammoniakemissie van de stallen die in 2030 nog niet aan de verscherpte eis zoals in Noord-Brabant voldoen (benchmark/reconstructie op basis van referentieraming). Het bepalen hiervan is nodig omdat het anders onmogelijk is om de winst van

²⁴ Het secretariaat NenB geeft aan de 40% norm te baseren op CLM (2020) (circa 35%) en de 60% norm op een optelling van het door CLM (2020) genoemde (afgeronde) getal bij de gebruiksreductiemogelijkheid uit De Koeijer et al. (2019) (circa 26%).

²⁵ In theorie zou 5,4 kt ammoniak reductie kunnen worden gerealiseerd, maar dan wordt geen rekening gehouden met de haalbaarheid die zeker bij reductie tot 40% van huidig gebruik grote vragen oproept. Vandaar dat hier als conservatieve schatting met 3.5 kton reductie gerekend.

de nieuwe maatregel vast te stellen. Er gelden immers ook nu al nationale eisen voor nieuwe stallen, die geleidelijk een reductie opleveren.

- Gegeven de hierboven bepaalde uitgangssituatie is vervolgens berekend welke potentiële winst in termen van ammoniakreductie valt te behalen als volledige implementatie van de maatregel (in geheel Nederland) per 2030 zou worden gerealiseerd.

In de nog te publiceren WUR-publicatie wordt een meer gedetailleerd overzicht gegeven van de rekenwijze en aannames die zijn gemaakt. Bij de in tabel 9 gepresenteerde getallen moet rekening worden gehouden met de grote onzekerheden in emissiereductie uit emissiearme stallen met vloeraanpassingen (zie CDM, 2020). Bij de berekende emissiereductie moet worden opgemerkt dat het steeds gaat om de doorrekening van individuele maatregelen. Er heeft dus geen verdiscontering plaatsgevonden met eventuele mesttoedieningsemissies.

Tabel 9 L-7 Schatting van het effect van stalmaatregel scenario's op ammoniakemissie

Maatregel Stalaanpassingen	Emissie NH₃ (kt)
Aanscherpen emissie-eisen stallen op niveau BBT voor ammoniak in lijn met de aangescherpte eisen zoals die gelden in Noord-Brabant	
Melkvee	-8,0
Varkens	-5,0
Pluimvee	-3,0
Vleeskalveren	-0,5
Jongvee voor melkveehouderij	-1,5
Overig	PM
Totaal	18,0

Bron: eigen berekeningen (getallen zijn afgerond op halve of hele kilotonnen)

Slotopmerkingen

Nogmaals zij benadrukt dat de hier gepresenteerde resultaten indicatieve berekeningen zijn (focus op eerste-orde-effecten in de primaire sector), waarbij gebruik is gemaakt van expertinschattingen en relatief eenvoudige modelberekeningen²⁶. De focus lag hierbij op individuele maatregelen, zoals die door het secretariaat NenB via een aantal fiches waren aangeleverd. Afwentelingseffecten, elkaar versterkende of elkaar reducerende effecten en de regionale afhankelijkheid daarvan zijn niet in beeld gebracht (zie WUR Stikstofkompas-NL; Hermans et al., 2020²⁷). Wat betreft de analyse was het belangrijkste aspect te kijken naar de ammoniakemissiereductie die met de maatregelen kon worden gerealiseerd. Daarnaast waren er ook andere aandachtspunten, waaronder vermeden milieukosten en een indicatie van financieel-economische aspecten.

Het recente verleden heeft laten zien dat het voor de uiteindelijke effectiviteit van maatregelen niet alleen van belang is hoe ze het 'op de tekentafel' doen (milieutechnische analyse), en hoe de bovengenoemde samenhang van effecten uitpakt, maar ook de beschikbaarheid van een goede (empirische) onderbouwing en waarbij ook van zaken als gedrag, (financiële) prikkels, naleving en handhaving een belangrijke rol spelen. Aan die laatste aspecten is in deze studie geen aandacht besteed. Dat kon ook niet omdat, ook al werden er in sommige fiches verwijzingen naar overheidssteuning genoemd, het veelal niet duidelijk was hoe dit er meer concreet uit zou zien. Niettemin is dit een punt dat bij toekomstige beleidsvorming volgens de experts meer aandacht verdient en een randvoorwaarde vormt voor een effectieve realisatie van de in deze studie indicatieve eerste-orde-effecten.

In de beleidsdiscussie is ook de vraag of juist met middel- of doelvoorschriften moet worden gewerkt van belang. Grosso modo hebben de hier geanalyseerde maatregelen sterk een middelvoorschrift of reguleringskarakter, terwijl met het oog op het winnen van draagvlak en het benutten van de in de sector aanwezige innovativiteit en het ondernemerschap doelvoorschriften belangrijke voordelen hebben (zie ook aanbeveling van de Commissie Remkes). Bij de ammoniakrechtenreductie scenario's is er wel een gedachtewisseling geweest hoe je een dergelijke maatregel een doelkarakter zou kunnen geven, maar dat is in de analyse niet uitgewerkt. Een belangrijke voorwaarde voor het invoeren en monitoren van het doelbereik van doelvoorschriften is dat er goed gemeten kan worden.

De focus lag op de analyse van zeven individuele maatregelen en op hun bijdrage aan het reduceren van ammoniakemissies. Soms is erop gewezen dat het slim combineren van maatregelen (bijvoorbeeld van stal- en aanwendingsmaatregelen) extra effectief kan zijn in het reduceren van de ammoniakemissies, maar dit is niet systematisch gedaan. Een pakketanalyse was binnen het gegeven tijdsbestek ook niet mogelijk, maar het is wel noodzakelijk om daar in een vervolg meer aandacht aan te geven. Over het algemeen maakt het effect van de ene maatregel het effect van een andere maatregel kleiner (het totaaleffect is kleiner dan de som van de reducties van de geaggregeerde maatregelen). De resultaten uit de analyses van de individuele maatregelen mogen dus niet zomaar bij elkaar worden opgeteld om tot geaggregeerde effecten te komen.

Hoewel de focus van de maatregelen en de aan ons gestelde vragen op het reduceren van ammoniakemissie lag, is voor zover dat in het korte tijdsbestek mogelijk was, aandacht besteed aan meekoppel-effecten van ammoniakmaatregelen op andere emissies en excreties, maar kon dat vaak niet goed worden uitgewerkt. Gegeven de uitdagingen die er liggen op het klimaatdossier, de biodiversiteit en andere duurzaamheidsissues en de inspanningen die nodig zijn (kosten, investeringen) is het van belang en kosteneffectief om, meer dan in deze studie is gedaan, een integrale aanpak te kiezen (zie ook de aanbevelingen van de Commissie Remkes).

²⁶ Dit indicatieve karakter geldt ook voor de in het kader van deze studie berekende financiële indicatoren, waaronder de vermeden milieukosten.

²⁷ Het WUR Stikstofkompas heeft een sterk ruimtelijke focus en houdt maar zeer beperkt rekening met afwentelingseffecten.

Referenties

- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof en J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 178. 224 p.
- CE Delft (2017) Handboek Milieuprijzen 2017 Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts. Delft, Publicatienummer: 17.7A76.64, <https://www.ce.nl/publicaties/1963/handboek-milieuprijzen-2016>
- CDM (2014) Advies 'Bemesting met zwavelhoudende meststoffen'. Wageningen, Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 9 oktober 2014
- CDM (2020) Advies 'Stikstofverliezen uit mest in stallen en mestopslagen'. Wageningen, Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 18 juni 2020.
- CLM (2020) Duurzaamheidseffecten van stikstof- en klimaatmaatregelen voor de landbouw. Culemborg, CLM, Publicatienummer. 1038.
- Giannakis, E., J. Kushta, A. Bruggeman en J. Lelieveld (2019). Costs and benefits of agricultural ammonia emission abatement options for compliance with European air quality regulations. *Environmental Sciences Europe* 31 (1), 93.
- Groenestein, K., N. Ogink, H. Ellen, L. Šebek, C. van Bruggen, J. Huijsmans en I. Vermeij (2019). PAS Update aanvullende reservemaatregelen Landbouw. Wageningen Livestock Research, Rapport 1214.
- ILVO (2016) Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig van landbouw. Merelbeke, Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek.
- WLR (2016) Handboek melkveehouderij 2016/17 (2016). Wageningen, Wageningen Livestock Research. <https://www.wur.nl/nl/show/Nieuwe-editie-Handboek-Melkveehouderij-2016-2017.htm#:~:text=Het%20digitale%20Handboek%20Melkveehouderij%202016,publicaties%20en%20tools%20op%20internet>.
- Hermans, T. (ed.), N.A.C. Smits. (ed.), J. Dijkstra, P. Geerdink, K. Groenestein, J. Huijsmans, R.E.E. Jongschaap, R. Jongeneel, H. Kros, S. Munniks, N. Ogink, M. Ravesloot, G. Velthof en C.J. Voogd (2020). Ruimtelijke aanpak van het stikstofprobleem : inzicht in oplossingsrichtingen vanuit landbouw en natuur. Wageningen: Wageningen University & Research. 39 p. (Rapport / Wageningen Environmental Research; no. 3011). <https://www.wur.nl/nl/show/Ruimtelijke-aanpak-van-het-stikstofprobleem-Inzicht-in-oplossingsrichtingen-vanuit-landbouw-en-natuur.htm>
- Goedhart, P.W., J. Mosquera en J.F.M. Huijsmans (2020). Estimating ammonia emission after field application of manure by the integrated horizontal flux method: a comparison of concentration and wind speed profiles. *Soil Use and Management*, 36, 338– 350. <https://doi.org/10.1111/sum.12564>
- Groenestijn, K., P. Bikker, C. van Bruggen, H. Ellen, J. van Harn, J. Huijsmans, N. Ogink, L. Šebek en I. Vermeij (2017) PAS Aanvullende reservemaatregelen Landbouw: uitwerking van een Quick scan. Wageningen, Wageningen Livestock Research, Rapport 1145.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Mol, H.A. van Schooten (2015). Toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland : ammoniakemissie en gewasopbrengst. Wageningen: Plant Research International (Rapport PRI; no. 629).
- Huijsmans, J.F.M. en J.M.G. Hol. (2011) Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. *Plant Research International* 398, Wageningen, 26 p.

<https://research.wur.nl/en/publications/ammoniakemissie-bij-toediening-van-mineralenconcentraat-op-beteel>

Jacobson, B.H. en L. Stahl (2017). Economic analysis of the ammonia regulation in Denmark in relation to the Habitat directive. Copenhagen, Department of food and Resource Economics (IFRO) University of Copenhagen, Draft version 17th October.

Koeijer, T. de, H. Luesink, en J. Helming (2019) Vervanging kunstmest door dierlijke mest; Verkenning van opties voor de inzet van financiële instrumenten. Wageningen, Wageningen Economic Research, projectnr BO-43-014.01-048.

Lesschen, J.P., J. Reijs, T. Vellinga, J. Verhagen, H. Kros, M. de Vries, R. Jongeneel, T. Slier, A. Gonzalez Martinez, I. Vermeij en C. Daatselaar (2020). Scenariostudie perspectief voor ontwikkelrichtingen Nederlandse landbouw in 2050. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2984.

Luesink, H. en R. Michels, 2018. *Ammonia regulations near nature areas in Denmark and the Netherlands compared*. Wageningen, Wageningen Economic Research, Report 2018-009. 68 pp.; 12 fig.; 28 tab.; 26 ref.

PBL (2020) Klimaat- en Energieverkenning 2020. Den Haag. <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2020>

Reijs, J. (2021). Opzet breakdown referentieraming 2030. Wageningen, interne analyse Wageningen Economic Research (als input voor de WUR Stikstof Taskforce).

Sleen, M. van der en M. van Benthem (2020). Verduurzaming betaalt zich maatschappelijk uit. Economisch Statistische Berichten 105(4791S), Dossier Duurzame Landbouw, pp. 40-47.

Van Grinsven, H.J.M., M. Holland, B.H. Jacobsen, Z. Klimont, M.a. Sutton en W. Jaap Willems (2013). Costs and Benefits of Nitrogen for Europe and Implications for Mitigation. Environmental Science & Technology 47 (8), 3571-3579.

Vonk, J., E.J.M.M. Arets, A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, M.J. Schelhaas, T. van der Zee en G.L. Velthof (2020). Referentieraming van emissies naar de lucht uit landbouw en landgebruik tot 2030, met doorkijk naar 2035. Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2020. Wageningen Livestock Research, Rapport 1278. 533503 (wur.nl)