Rapport

Impact verlagen ruw eiwit in melkveehouderij op stikstofdepositie

2 September 2026

wing emc
partner
in exploring perspectives
for our environment

wing emc
partner
in exploring perspectives
for our environment

Bennekomseweg 43
6717 LL Ede
Netherlands

KvK nr. 88832805
BTW nr. NL864793972B01
IBAN: NL03INGB0100272649
SWIFT/BIC: INGBNL2A

Kenmerken en contactgegevens

Project	Koe en Eiwit
Opdrachtgever	Paul Galama en Michel de Haan
Uw referentie	WUR1594662
Referentie Wing EMC	MW2203
Datum	2 september 2026

Auteurs	Mark Wilmot	Wing Environmental Modelling Consultancy
	Michel de Haan	Wageningen Livestock Research
	Paul Galama	Wageningen Livestock Research
	Bregje van Erve	Wing Environmental Modelling Consultancy

Inhoudsopgave

Samenvatting		4
Inleiding		1
	Leeswijzer	1
1.	Onderzoeksvraag	2
2.	De praktijk als basis: impact van minder ruw eiwit op ammoniakemissies	3
3.	Berekenen van de stikstofdepositiebijdrage van de pilotbedrijven	18
4.	Opschalen voor inschatting landelijke impact	26
5.	Wisselwerking tussen impact op emissie en depositie	41
6.	Vergelijk met andere studies naar maatregelen voor ammoniakreductie	46
7.	Conclusie en discussie	49
Referenties		53
Bijlage Ordinary Kriging		55

Samenvatting

Impact van het verlagen van ruw eiwit in de melkveehouderij op stikstofdepositie

Nederland staat voor de opgave om de stikstofbelasting op Natura 2000-gebieden te verminderen, terwijl tegelijkertijd perspectief voor de landbouw behouden moet blijven. Dit onderzoek verkent het potentieel van een managementmaatregel: het structureel verlagen van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen van melkvee.
Met bedrijfsspecifieke gegevens van 81 melkveebedrijven uit de praktijkpilot Koe en Eiwit is berekend welk effect een verlaging van het ruw eiwitgehalte heeft op de ammoniakemissie. Vervolgens is met het OPS-model berekend hoe deze emissiereductie doorwerkt in de stikstofdepositie op stikstofgevoelige natuur. De resultaten van de pilotbedrijven zijn daarna met geostatistische methoden vertaald naar een inschatting van het potentiële effect bij toepassing in de Nederlandse melkveehouderij.
De modelberekeningen laten zien dat:

- het verlagen van ruw eiwit op vrijwel alle onderzochte bedrijven leidt tot een lagere ammoniakemissie;
- een lagere ammoniakemissie leidt tot een lagere bijdrage aan de stikstofdepositie;
- de absolute depositiereductie sterk afhankelijk is van de ligging van het bedrijf ten opzichte van stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden;
- emissiereductie dicht bij stikstofgevoelige natuur relatief sterk bijdraagt aan lokale depositiereductie, terwijl emissiereductie op grotere afstand gezamenlijk bijdraagt aan het verlagen van de achtergronddepositie;
- de berekende landelijke effecten qua orde van grootte vergelijkbaar zijn met de in andere studies berekende effecten van enkele beëindigingsregelingen.

De resultaten geven daarmee aan dat het verlagen van ruw eiwit een relevante bijdrage kan leveren binnen een bredere combinatie van maatregelen voor het verminderen van ammoniakemissie en stikstofdepositie. Wanneer deze verlaging structureel in de bedrijfsvoering wordt toegepast, kan het effect qua orde van grootte vergelijkbaar zijn met dat van beëindigingsregelingen, terwijl de maatregel doorgaans minder ingrijpend is voor de agrarische bedrijven en de samenleving.

Doel van het onderzoek

De Nederlandse melkveehouderij staat voor een complexe opgave. Enerzijds moet ze bijdragen aan het verlagen van de stikstofbelasting op Natura 2000-gebieden. Anderzijds is er behoefte aan maatregelen die ruimte laten voor een toekomstbestendige landbouw.

Binnen de praktijkpilot **Koe & Eiwit** werken melkveehouders aan efficiënter stikstofgebruik door het ruw eiwitgehalte in het rantsoen te verlagen tot maximaal 155 gram per kilogram droge stof. Minder eiwit betekent minder stikstof in de mest en daarmee minder ammoniakemissie.

De centrale vraag van dit onderzoek is daarom:

In welke mate draagt het verlagen van ruw eiwit in het rantsoen bij aan het verminderen van stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden?

Onderzoeksvragen daarbij zijn:

1) Hoe vertaalt de behaalde emissiereductie zich naar stikstofdepositie?
2) Zijn er omgevingsfactoren rondom het bedrijf die de impact op de depositie beïnvloeden?
3) Hoe verhoudt het resultaat van de pilotbedrijven, opgeschaald tot een landelijk reductiepotentieel, zich tot andere landbouw bronmaatregelen zoals bijvoorbeeld de landelijke beëindigingsregeling veehouderij locaties (Lbv)?

In dit rapport vertalen we het effect van het verlagen van het ruw eiwit in het rantsoen op ammoniakemissies naar de depositie van stikstof op natuurgebieden. Dit doen we voor de deelnemende pilotbedrijven en we bezien wat het effect zou zijn als de hele melkveesector deze maatregel zou nemen.

Aanpak

Om het effect van het verlagen van het ruw eiwit in het rantsoen op ammoniakemissies te berekenen wordt de KringloopWijzer gebruikt. Met de KringloopWijzer worden de bedrijfsspecifieke ammoniakemissies van de 81 deelnemende melkveebedrijven berekend. Hiervoor zijn de bedrijfsgegevens van 2020 gebruikt als basissituatie. Deze bedrijfsgegevens zijn gecombineerd met ruimtelijke informatie over stallen en percelen. Hierdoor kon niet alleen de ammoniakemissie van het bedrijf worden berekend, maar ook de ruimtelijke verspreiding van de emissies over de stallen en percelen. Door deze ruimtelijke verdeling kon de ammoniakdepositie van stikstof op Natura 2000-gebieden worden bepaald.

Voor elk van de 81 pilotbedrijven zijn, met de KringloopWijzer, vier situaties doorgerekend:

0) De basissituatie (de feitelijke bedrijfssituatie in 2020);
A) Verlaging ruw eiwit in het rantsoen naar maximaal 155 gram ruw eiwit per kg droge stof;
B) Vervallen van derogatie;
C) De combinatie van A en B: verlaging van ruw eiwit in het rantsoen in combinatie met het verlies van derogatie.

Met de doorrekening van variant A kan het effect van deze voermanagementmaatregel op ammoniakemissie en -depositie berekend worden. Varianten B en C zijn toegevoegd omdat de basissituatie bedrijfsgegevens van 2020 gebruikt, en in dat jaar melkveehouders nog gebruik konden maken van derogatie. Omdat het vervallen van derogatie leidt tot lagere mestaanwending en daarmee tot lagere veldemissies, is ook het effect van het voermanagement zonder derogatie doorgerekend.

Voor het berekenen van het depositie-effect van de 3 varianten op de stikstofdepositie, is gebruik gemaakt van het Operationeel Prioritair Stoffen Model (OPS) van het RIVM.

Deze aanpak levert voor de pilotbedrijven een specifieker beeld op dan berekeningen die uitsluitend gebruikmaken van gemiddelde emissiefactoren, omdat verschillen in bedrijfsvoering expliciet worden meegenomen.

Met behulp van (geo-)statistiek zijn de effecten van de 3 varianten op de 81 deelnemende melkveebedrijven toegepast op de gehele melkveehouderij, zodat een inschatting gemaakt kan worden wat het potentiële effect is van minder eiwit in het rantsoen, wanneer deze maatregel landelijk zou worden toegepast.

Resultaten

In vergelijking met de landelijke database met bedrijfsgegevens van melkveehouderijen, kunnen we concluderen dat de 81 praktijkpilotbedrijven een goede vertegenwoordiging vormen.

Minder ruw eiwit leidt tot minder ammoniakemissie

Op vrijwel alle pilotbedrijven leidt het verlagen van het ruw eiwit (RE) tot een lagere ammoniakemissie. Minder RE heeft effect op de bedrijfsemissies van ammoniak van de pilotbedrijven en leidt tot een reductie tussen de 0-11% in scenario A en 0-23% in variant C ten opzichte van de basissituatie. Wanneer ook het vervallen van derogatie wordt meegenomen, neemt de emissiereductie verder toe.
Er wordt geen direct verband gevonden tussen de bedrijfsomvang (in GVE) en ammoniakreductie. Ten aanzien van ammoniakreductie en grondsoort, wordt alleen een indirecte relatie gevonden.

Minder emissie leidt tot minder stikstofdepositie

De lagere ammoniakemissie vertaalt zich direct in een verlaging van de bijdrage aan stikstofdepositie. Op bedrijfsniveau leidt de verlaging van de ammoniakemissie tot eenzelfde orde grootte verlaging van de depositiebijdrage van het bedrijf.
De grootte van dat effect op de depositie op natuurgebieden in absolute zin, verschilt echter sterk tussen bedrijven. De impact op kwetsbare natuur is sterk afhankelijk van de afstand en ligging ten opzichte van voor stikstof gevoelige natuur.

Landelijke toepassing

De landelijke inschatting houdt rekening met verschillen tussen melkveebedrijven in uitgangssituatie en mogelijke emissiereductie. Voor de 81 pilotbedrijven is aangesloten bij hun uitgangssituatie in 2020. Bedrijven met 155 gram ruw eiwit per kg droge stof of minder zijn niet aangepast. Bij bedrijven tussen 155 en 165 gram is gerekend met een verlaging richting 155 gram en bij bedrijven boven 165 gram met een verlaging van maximaal 10 gram per kg droge stof.
De emissiereducties die hierdoor voor de pilotbedrijven zijn berekend verschillen dus per bedrijf. Met Ordinary Kriging is vervolgens op basis van deze resultaten een ruimtelijke inschatting gemaakt van de potentiële emissiereductie voor de Nederlandse melkveehouderij. De landelijke uitkomsten moeten daarom worden gelezen als een inschatting van het effect wanneer in de

sector een met de pilot vergelijkbare reductie-inspanning wordt gerealiseerd, en niet als het effect van één uniform ruw eiwitgehalte voor alle bedrijven.
Dit beeld maakt vooral duidelijk dat de impact op de depositiereductie een sterk regionaal karakter heeft:

- Emissiereductie in de drie noordelijke provincies, Noord-Holland en het Groene Hart draagt vooral bij aan het dalen van de landelijke achtergronddepositie.
- Emissiereductie rondom de Veluwe, in kop van Overijssel en in zuidelijk Limburg draagt voornamelijk lokaal bij aan depositiereductie door de ligging van melkveebedrijven nabij stikstofgevoelige natuur.

Vergelijking met andere maatregelen

Het effect van voermanagement (minder ruw eiwit in het rantsoen) is vergeleken met andere stikstofmaatregelen, waaronder de Landelijke beëindigingsregeling veehouderijlocaties (Lbv). Een landelijke en permanente toepassing van een lager ruw eiwitgehalte in het rantsoen lijkt eenzelfde orde grootte effect te kunnen sorteren als het berekende effect van de diverse beëindigingsregelingen.

Conclusies en reikwijdte

Het onderzoek laat zien dat het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen een relevante bijdrage kan leveren aan de reductie van ammoniakemissies uit de melkveehouderij en daarmee aan het verlagen van de stikstofdepositie op stikstofgevoelige natuur.
Dezelfde emissiereductie kan afhankelijk van de locatie verschillend uitwerken. Dicht bij stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden is het lokale depositie-effect relatief groot. Op grotere afstand is de bijdrage van één bedrijf kleiner, maar dragen reducties van veel bedrijven gezamenlijk bij aan het verlagen van de achtergronddepositie.
De landelijke opschaling geeft een inschatting van het potentiële effect. Zij is gebaseerd op waarnemingen bij 81 pilotbedrijven en vervolgens opgeschaald met behulp van geostatistiek. De uitkomsten zijn daarom vooral geschikt voor het beoordelen van landelijke en regionale patronen en niet voor het voorspellen van het exacte effect op individuele bedrijven of locaties.
De berekende landelijke emissie- en depositiereductie ligt in dezelfde orde van grootte als de in andere studies berekende effecten van enkele beëindigingsregelingen. Deze vergelijking is indicatief: de onderzoeken gebruiken niet volledig dezelfde uitgangspunten, modelversies en emissiegegevens.
Voor daadwerkelijk beleid is bovendien van belang dat de verlaging van het ruw eiwit structureel in de bedrijfsvoering wordt gerealiseerd en behouden. Het onderzoek doet geen uitspraak over de kosten van verschillende beleidsmaatregelen. Het verlagen van ruw eiwit kan daarmee één van de maatregelen zijn binnen een bredere aanpak om de stikstofbelasting van Natura 2000-gebieden te verminderen.

Inleiding

De melkveehouderij is een belangrijke sector in Nederland met ruim 13.000 melkveebedrijven (landbouwtelling 2025) en veel indirecte werkgelegenheid bij dienstverleners en in de toeleverende en verwerkende industrie. Als onderdeel van de doelstellingen van de Vogel- en Habitatrichtlijnen, Kaderrichtlijn Water, Nitraatrichtlijn en het Nationaal Klimaatakkoord, wordt er gewerkt aan maatregelen voor een geïntegreerde voer- en diergerichte aanpak gericht op reductie van emissies naar lucht, water en bodem. Dit borgt het handelingsperspectief voor melkveehouders in Nederland, met maatregelen die inpasbaar zijn in de bedrijfsvoering.
In de praktijkpilot Koe en Eiwit zijn 150 bedrijven geselecteerd verspreid over Nederland, die de uitdaging zijn aangegaan om in hun bedrijfsvoering de balans te zoeken tussen melkproductie, diergezondheid en stikstofefficiëntie door eiwit in het rantsoen te verlagen of te behouden op 155 gram ruw eiwit per kg droge stof. Het resultaat is een verlaging van de ammoniakemissie.
Ruwvoermanagement is een belangrijk onderdeel voor de melkveehouder om in de vingers te hebben. Kunnen sturen op dit onderdeel van de stikstofkringloop geeft meer mogelijkheden om de bedrijfsvoering efficiënter te laten verlopen, mogelijk meer kosteneffectief en met minder impact op het milieu.
Dit rapport gaat in op wat het (potentiële) effect is van deze verlaging van het ruw eiwit in het rantsoen op ammoniakemissie en op de stikstofdepositie op stikstofgevoelige natuurgebieden.

We willen de deelnemers aan de praktijkpilot bedanken voor het beschikbaar stellen van hun gegevens.

Leeswijzer

Dit rapport is ingedeeld in thematische hoofdstukken, waarbij per thema op zowel de methode als de resultaten wordt ingegaan.
Na het benoemen van de onderzoeksvraag in hoofdstuk 1, wordt in hoofdstuk 2 beschreven op welke wijze de ammoniakemissies op bedrijfsniveau zijn bepaald. Ook wordt weergegeven wat het effect van het verlagen van ruw eiwit is op de ammoniakemissies.
Hoofdstuk 3 bevat een analyse van de bedrijfsbijdrage aan de stikstofdepositie. Ook worden in dit hoofdstuk de bepalende factoren daarvan uitgewerkt.
Hoofdstuk 4 beschrijft de opschaling van de resultaten van de pilotbedrijven naar emissie en depositie op een landelijk niveau.
Hoofdstuk 5 verdiept het inzicht in de wisselwerking tussen reductie van emissies en deposities bij een landelijke toepassing voor de melkveehouderij.
Een vergelijk met andere stikstofmaatregelen is beschreven in hoofdstuk 6; de discussie en conclusies staan in hoofdstuk 7.

1. Onderzoeksvraag

Binnen de praktijkpilot Koe en Eiwit werken melkveehouders aan efficiënter stikstofgebruik door het ruw eiwitgehalte in het rantsoen te verlagen tot maximaal 155 gram per kilogram droge stof. Minder eiwit betekent minder stikstof in de mest en daarmee minder ammoniakemissie.

Als onderdeel van het bredere onderzoek naar de kosten en baten van het verlagen van ruw eiwit[1], beperkt de scope van dit rapport zich tot de impact op de stikstofdepositie in Nederland. De centrale vraag in dit rapport is in welke mate het verlagen van ruw eiwit in het rantsoen bijdraagt aan het verminderen van stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden. Op basis van de gegevens van de KringloopWijzers van pilotbedrijven worden de ammoniakemissies bepaald.

Onderzoeksvragen daarbij zijn:

1) Hoe vertaalt de behaalde emissiereductie zich naar stikstofdepositie?
2) Zijn er omgevingsfactoren rondom het bedrijf die de impact op de depositie beïnvloeden?
3) Hoe verhoudt het resultaat van de pilotbedrijven, opgeschaald tot een landelijk reductiepotentieel, zich tot andere landbouw bronmaatregelen zoals bijvoorbeeld de landelijke beëindigingsregeling veehouderij locaties (Lbv)?

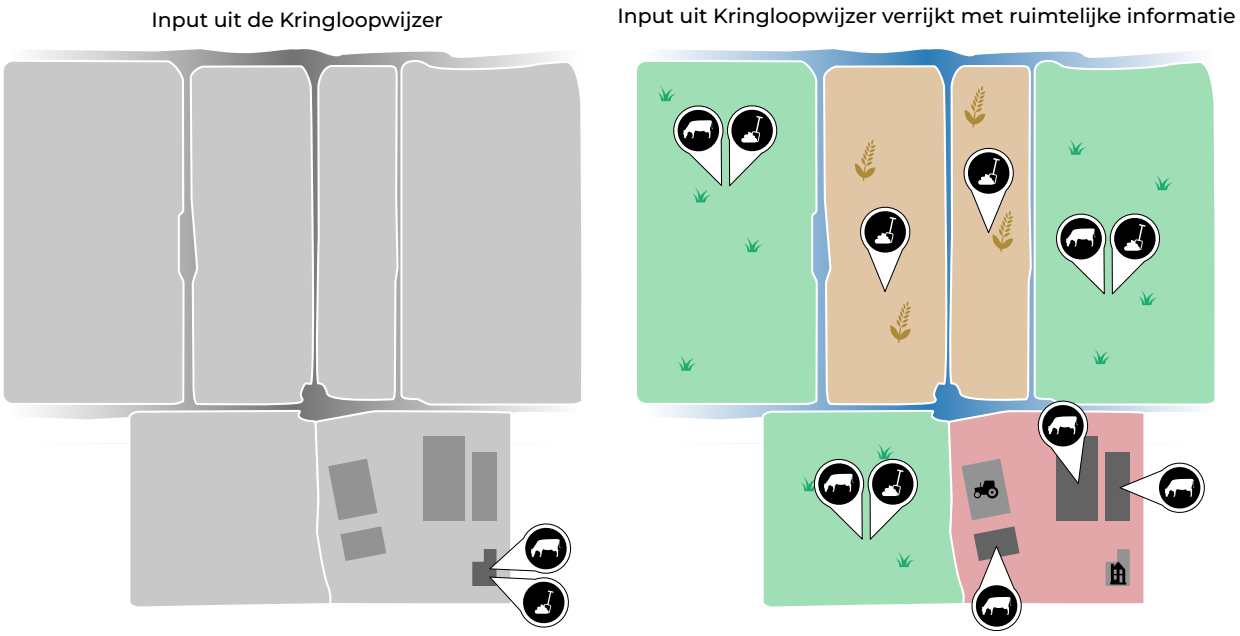
[1] Voor meer informatie raadpleeg de website koeeneiwit.nl

2. De praktijk als basis: impact van minder ruw eiwit op ammoniakemissies

Het uitwerken van de ammoniakemissies van de pilotbedrijven met de KringloopWijzer en het berekenen van de emissiereductie door het verlagen van ruw eiwit in het rantsoen. Onderzoeken van de correlatie met bedrijfsgrootte en bodemtype.

2.1. Basis op orde, ruimtelijk maken van bedrijfsemissies

De deelnemers aan de praktijkpilot Koe en Eiwit hebben hun KringloopWijzer over 2020 ingevuld en gedeeld. Dit betrof 147 KringloopWijzers. De KringloopWijzer bevat gedetailleerde informatie over de mineralenkringloop van een melkveebedrijf, zodat een melkveehouder kan sturen op een efficiënte mineralenbenutting. De KringloopWijzer bevat informatie als dieraantallen en de hoeveelheid ammoniakemissie vanuit de stal, vanuit opslag, van beweiding en van het aanwenden van (dierlijke) mest. De KringloopWijzer bevat echter geen ruimtelijke informatie over de locatie van stallen en percelen. Bedrijfsemissies kunnen daarmee alleen gekoppeld worden aan het (woon) adres van de ondernemer die de KringloopWijzer beschikbaar heeft gesteld.
Om het effect van lagere ammoniakemissies te kunnen vertalen naar depositie op natuurgebieden moeten de stal-, opslag en veldemissies ruimtelijk verdeeld worden. Hiervoor is een koppeling van emissies aan het huisadres onvoldoende. Als eerste stap in dit onderzoek zijn daarom de gegevens uit de KringloopWijzer, met toestemming van de deelnemers, gekoppeld aan de beschikbare informatie vanuit de Gecombineerde opgave. Hiermee kunnen de emissies per activiteit uit de KringloopWijzer gekoppeld worden aan stallen en percelen uit de Gecombineerde opgave (Figuur 1). De verdeling van aanwendings- en begrazingsemissies uit de KringloopWijzer over gras- en bouwland is gebaseerd op de verdeling volgens het model Initiator. Vervolgens zijn stal- en opslagemissies gekoppeld aan de 3D versie van de Basisregistratie gebouwen om, indien relevant, de hoogte en oppervlakte van gebouwen als parameter mee te kunnen nemen. Dit kan invloed hebben op de verspreiding van ammoniakemissie en daarmee op de depositie op natuurgebieden. Op deze manier is er een zo compleet mogelijk beeld gecreëerd van de emissiebronnen van de deelnemende melkveebedrijven, waarbij dieren zijn toebedeeld aan de stallocaties en onderscheid is gemaakt tussen percelen gras- of bouwland, zodat bedrijfsemissies ruimtelijk kunnen worden verdeeld.



Figuur 1: Theoretisch voorbeeld van gegevens uit de Kringloopwijzer (links), waarbij de informatie wordt geprojecteerd op de adreslocatie. Rechts de uitwerking voor dit onderzoek na koppeling met de aanvullende ruimtelijke informatie met stallocaties, percelen gras- en bouwland. De uitwerking rechts is daarna nog voorgelegd ter controle aan de individuele ondernemer.

Deze gekoppelde bedrijfsgegevens zijn via de adviseur van de praktijkpilot aan elke ondernemer voorgelegd ter controle en voor feedback. Na het verwerken van de feedback zijn 81 deelnemers akkoord gegaan met het gebruik van hun bedrijfsgegevens voor deze studie.
De deelnemers ontvangen persoonlijk de resultaten van het onderzoek. In dit rapport wordt informatie niet herleidbaar op bedrijfsniveau gepresenteerd om de privacy van de deelnemers te waarborgen.

2.2. Berekenen ammoniakemissie bij verlagen ruw eiwit, met en zonder derogatie

Van de deelnemende bedrijven aan de praktijkpilot is met behulp van de modellen in de KringloopWijzer (van Dijk et al., 2025) de ammoniakemissie bepaald. Met de KringloopWijzer zijn de ammoniakemissies van de 81 deelnemende bedrijven berekend: eenmaal op basis van de werkelijke rantsoenen in 2020 en vervolgens met een aangepast rantsoen met minder ruw eiwit (RE).

Als basissituatie is de situatie van 2020 genomen. Dit was de situatie van de deelnemende melkveebedrijven voordat ze deelnamen aan het project Koe en Eiwit en dus voordat vanuit het project enige stimulans was om minder eiwit voeren. Deze situatie was ten tijde van de analyse breed beschikbaar.

Om het effect van minder ruw eiwit in het rantsoen op de ammoniakemissie te kunnen bepalen, is vervolgens met de KringloopWijzer een nieuwe berekening van de ammoniakemissie gemaakt, waarbij het rantsoen is aangepast, maar andere bedrijfsfactoren gelijk zijn gebleven. Hierbij zijn drie varianten doorgerekend:

A. Effect van minder eiwit voeren op ammoniakemissie, deze rekenwijze wordt toegelicht in paragraaf 2.2.1;
B. Effect van verlies van derogatie op de ammoniakemissie, deze rekenwijze wordt toegelicht in paragraaf 2.2.2;
C. Effect minder eiwit voeren in combinatie met het verlies van derogatie op de ammoniakemissie, deze rekenwijze wordt toegelicht in paragraaf 2.2.3.

Met deze modelmatige berekeningen kan een zuivere vergelijking plaatsvinden tussen het effect van de het rantsoen in de uitgangssituatie en van het rantsoen na verlaging van RE op de ammoniakemissie, met en zonder derogatie. Deze aanpak is gekozen omdat bij het werken met de gerealiseerde resultaten van verschillende jaren ook andere bedrijfsfactoren veranderen, zoals aantal dieren, bedrijfsoppervlakte en gewasareaal, waardoor het niet goed mogelijk is om zuiver het effect van de rantsoenaanpassing te berekenen. Wel is het effect van de rantsoenaanpassing doorgeredeneerd naar het effect op stal- opslag- beweiding en aanwendingsemissies. Dit is toegelicht in de volgende paragrafen.

2.2.1. Effect van minder eiwit voeren op ammoniakemissie (variant A)

Om het effect van minder eiwit voeren op de ammoniakemissie in beeld te brengen is allereerst voor elk deelnemend melkveebedrijf de voeding (in de invoerset van de KringloopWijzer) zodanig aangepast dat gericht naar 155 gram ruw eiwit per kg droge stof in het totale rantsoen wordt bewogen. Daarna is de bemesting zodanig aangepast dat de stikstofbemesting (N-totaal) met dierlijke mest op hetzelfde niveau ligt als voor de aanpassing van de eiwitvoeding. Want door minder eiwit te voeren daalt het N-gehalte in de mest en kan er meer drijfmest aangewend worden zodat minder mestafzet nodig is. Hierdoor kan de toegediende TAN licht veranderen, ondanks dat de stikstofgift met dierlijke mest gelijk blijft. Want door verandering van het rantsoen, zal het eiwit in het rantsoen iets meer of iets minder goed verteren. (Dit volgt via de berekening met de VC RE van de verschillende rantsoenbestanddelen). Deze variant noemen we ‘A’.

De eiwitvoeding is als volgt aangepast:

- Gewerkt is met de 81 KringloopWijzers van de veehouders in het project Koe en Eiwit, die aangaven mee te willen doen met het onderzoek naar depositie van stikstof op omliggende natuurgebieden.
- De invoersets van deze bedrijven zijn ingelezen in de KringloopWijzer en vervolgens is het re-gehalte van het rantsoen verlaagd, via de volgende criteria:
    - Is het RE-gehalte van het totale rantsoen 165 g/ kg ds of hoger, dan wordt het RE-gehalte met 10 punten verminderd: 60% via verlaging van het RE-gehalte van graskuil en 40% via verlaging van het RE-gehalte van krachtvoer. Dit betekent dat voor bedrijven die initieel boven de 165 RE zaten, niet is gerekend met 155 RE, maar met een hoger gehalte. Deze keuze is gemaakt omdat we een daling van meer dan 10 gram RE in 1 jaar een te grote stap achten om ineens door te voeren. In het project Koe en Eiwit bleek dat het verlagen van RE meestal gebeurt via graskuil en krachtvoer, zonder de rantsoenaandelen aan te passen.
    - Is het RE-gehalte van het totale rantsoen tussen de 155 en 165 g/kg ds, dan wordt het RE-gehalte verlaagd tot 155 g/kg ds. 60% via verlaging van het RE-gehalte van graskuil en 40% via verlaging van het RE-gehalte van krachtvoer.

    - Is het RE-gehalte van het rantsoen 155 g/kg ds. (of lager), dan zal geen wijziging doorgevoerd worden bij de berekening.
- De stikstofbemesting uit dierlijke mest is als volgt aangepast:
- Via lager RE in het rantsoen daalt de stikstofexcretie. De daling van de stikstofexcretie (ten opzichte van de situatie zonder verlaging van het RE) is geïdentificeerd.
- In de situatie van mestafzet is bekend hoeveel stikstof afgevoerd moet worden in de uitgangssituatie zonder verlaging van het RE in het rantsoen. Is er geen mestafzet, dan is er ook geen afzet van stikstof met mest.
- De afzet van stikstof met mest is verminderd met de daling van de stikstofexcretie door minder RE te voeren. Als de mestafzet daardoor negatief zou worden (als er bijvoorbeeld geen mestafzet is), dan is de mestafzet op '0' gezet. Omdat bij mestaanwending ook fosfaat een rol speelt, is per situatie getoetst of de mestafzet uiteindelijk bepaald werd door stikstof of fosfaat. Als dat fosfaat was (of wordt, bij verlaging van de stikstofexcretie), dan kan niet de volledige daling van de stikstofexcretie als mestafzet verminderd worden. Per situatie is berekend of en hoeveel de mestafzet met stikstof verminderd kan worden, afhankelijk van de benodigde fosfaatafvoer.
- Als een negatieve mestafzet wordt berekend als gevolg van de verlaging van het RE wordt kunstmeststikstof toegevoegd om op hetzelfde niveau van stikstofbemesting als in de basissituatie te komen. Omdat kunstmest een hogere werkingscoëfficiënt heeft, wordt 50% van de berekende negatieve mestafvoer van stikstof omgezet in aanvoer van stikstofkunstmest (KAS) op grasland.

Het effect hiervan is dat bedrijven met mestafzet in de nieuwe situatie minder mestafzet hebben en dat bedrijven die geen mestafzet hadden (of niet de volledige daling van de N-excretie in mindering kunnen brengen op mestafzet) op deze manier een lagere stikstofbemesting met dierlijke mest hebben. Dit is gecompenseerd met extra stikstof uit kunstmest om dezelfde gewasopbrengst te realiseren als in de basissituatie.

Doorrekenen van alle situaties geeft per situatie een lagere ammoniakemissie (tenzij het bedrijf al op of onder de 155 g RE per kg ds zat). Dit betreft vooral een lagere ammoniakemissie vanuit de stal. Vaak vindt er ook een kleine verlaging van de ammoniakemissie op het veld plaats ondanks dat de totale stikstofgift uit dierlijke vaak niet verandert. De lagere veldemissie is vooral te verklaren doordat er minder ammoniakale stikstof in de mest zit bij verlaagde stikstofvoeding (van Ruitenbeek et al., 2026, in voorbereiding). Dus het gehalte aan ammoniakale stikstof in de mest is vaak lager, waardoor de veldemissie daalt.

2.2.2. Effect van verlies van derogatie op de ammoniakemissie (variant B)

Vanaf 2026 bestaat in Nederland niet meer de mogelijkheid tot derogatie voor een hoger gebruik van dierlijke mest dan 170 kg stikstof uit dierlijke mest per hectare. Om het effect daarvan op de ammoniakemissie te verkennen zijn ook de 81 deelnemende bedrijven (uit 2020) doorgerekend alsof de bedrijven geen derogatie hadden[2]. Deze variant noemen we 'B'. De werkwijze bestaat globaal uit de volgende stappen:

- Bepaling hoe de mestgift op bouwland verandert
- Bepaling hoe de mestgift op grasland verandert
- Bepaling van de totale extra mestafvoer
- Bepaling van de extra kunstmest aanvoer voor eenzelfde gewasopbrengst.

Daarvoor zijn de volgende keuzes gemaakt om deze berekening mogelijk te maken:

- Uitgangspunt is dat een maximale hoeveelheid van 170 kg N uit dierlijke mest per ha gemiddeld geplaatst mag worden.
- De mest die op bouwland geplaatst wordt in de basissituatie, wordt afgetopt op maximaal 170 kg stikstof uit dierlijke mest. Het verschil wordt ingerekend als extra afvoer van stikstof met mest (Q_A).

$$Q_{bouwland} = A_{bouwland} \times Q_A$$

$Q_{bouwland}$: extra mestafvoer (N) totaal bouwland
$A_{bouwland}$: oppervlakte bouwland
Q_A : extra afvoer van stikstof met mest

- Als de gift in 2020 lager is dan 170 kg dierlijke stikstof per ha, dan wordt de latente ruimte *niet* opgevuld maar gebruikt bij grasland (Q_B).
- Vervolgens is de volledige plaatsingsruimte van stikstof met dierlijke mest geïdentificeerd. In principe is dat 170 kg stikstof per ha. De niet benutte ruimte op bouwland, kan extra toegediend worden op grasland

$$Q_{grasland*} = \frac{A_{bouwland} \times Q_B}{A_{grasland}}$$

$Q_{grasland*}$: extra stikstofgift met mest op grasland
$A_{grasland}$: oppervlakte grasland

- De N-gift met weidemest per ha van de situatie van 2020 is in beeld gebracht. Deze verandert niet in de situatie zonder derogatie (Q_{weide}).
- Daarna is de stikstofgift met drijfmest per ha grasland zonder derogatie berekend ($Q_{drijfmest}$). Dat is 170 kg N minus de weidemest, vermeerderd met de latente drijfmestgift op bouwland.

$$Q_{drijfmest} = 170 - Q_{weide} + Q_{grasland*}$$

[2] De melkveehouderij heeft ook te maken met bufferstroken. Dat is het geval met en zonder derogatie. Dus hier is geen extra effect aan toegekend. Vervolgens is er ook sprake van NV-gebieden in Nederland. Dit heeft effect op het kunstmestgebruik. Een eventueel verschil in kunstmestgebruik door, naast verlies aan derogatie, ook rekening te houden met NV-gebieden is niet meegenomen in de berekeningen

- Als volgende stap is de totale mestafvoer in beeld gebracht en daarna is de compensatie met kunstmest bepaald. Daarvoor is bepaald hoeveel extra stikstof met mest uiteindelijk wordt afgevoerd. Dit is gebeurd door eerst te identificeren wat de 'drijfmestgift (N) per ha grasland is in de basissituatie (2020)'. Drijfmestgift met N per ha grasland in 2020 ($Q_{grasland,drijfmest}$).
- Vervolgens is bepaald hoeveel extra stikstof via mest per ha grasland wordt afgevoerd ($Q_{grasland,extra}$)

$$Q_{grasland,extra} = Q_{grasland,drijfmest} - Q_{drijfmest}$$

$Q_{grasland,extra}$: extra stikstofafvoer met mest via grasland (per ha)

- De extra stikstofafvoer met mest per ha wordt vertaald naar bedrijfsniveau, door de hoeveelheden stikstofafvoer met mest per ha bouwland te vermenigvuldigen met de oppervlakte bouwland en de berekende extra stikstofafvoer met mest per ha grasland te vermenigvuldigen met de hectares grasland ($Q_{bedrijf}$).

$$Q_{bedrijf} = Q_{bouwland} \times A_{bouwland} + Q_{grasland,extra} \times A_{grasland}$$

- Deze extra stikstofafvoer is de extra afzet van mest door verlies aan derogatie, aangenomen dat de mestafvoer wordt bepaald door stikstof. Dat zal in verreweg de meeste situaties het geval zijn. In theorie kan extra mestafzet nodig zijn, alsnog extra fosfaat afgevoerd moet worden. Dan zal de fosfaatnorm en de fosfaatexcretie leidend zijn.
- Vervolgens leidt afvoer van extra mest tot verlies aan meststoffen. De veehouder mag deze compenseren met extra stikstofkunstmest. Omdat kunstmest een hogere werkingscoëfficiënt heeft, wordt 50% van de berekende negatieve mestafvoer van stikstof omgezet in aanvoer van stikstofkunstmest (KAS)

$$KAS = 0.5 \times Q_{bedrijf}$$

De invoersets (uit 2020) van alle 81 deelnemende melkveebedrijven zijn aangepast volgens bovenbeschreven werkwijze, en vervolgens doorgerekend met de KringloopWijzer. Op deze manier is voor die 81 deelnemende bedrijven de bedrijfssituatie gesimuleerd zonder derogatie, met de bijbehorende ammoniakemissie. Deze ammoniakemissie op bedrijfsniveau is altijd lager[3], tenzij het bedrijf al geen derogatie had en niet meer dan 170 kg dierlijke stikstof per hectare toediende. Hierbij daalt de veldemissie en niet de stalemissie. Deze variant is alleen uitgewerkt om in variant C te kunnen bepalen in welke mate het verliezen van derogatie invloed heeft op de reductie van het verlagen van ruw eiwit.

2.2.3. Effect minder eiwit voeren en verlies van derogatie op de ammoniakemissie (variant C)

Naast minder RE in het melkveerantsoen en geen derogatie meer bij de mestplaatsing als afzonderlijke 'maatregelen' is voor de 81 deelnemende bedrijven ook in beeld gebracht wat het

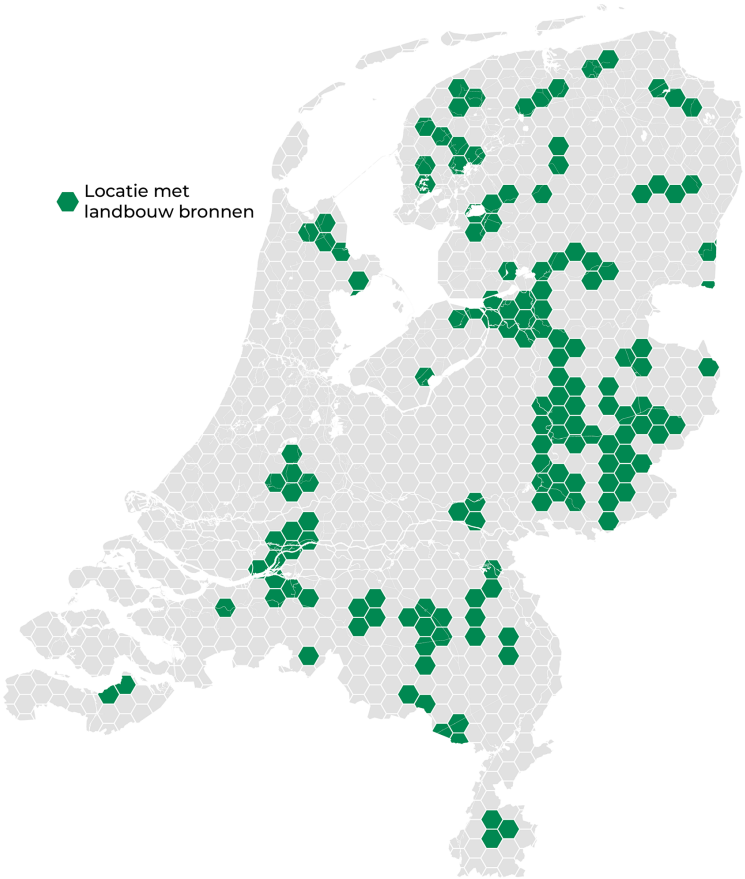
[3] Door het vervallen van derogatie voeren bedrijven meer mest af. Dat gaat naar andere bedrijven, waar de ammoniakemissie mogelijk toeneemt. Bij injectie van mest op bouwland zal de extra emissie beperkt zijn. De effecten op landelijke ammoniakemissie door plaatsing van dierlijke mest elders zijn niet meegenomen in dit rapport.

effect op de ammoniakemissie is waarbij zowel het RE-gehalte van het rantsoen verlaagd is, als de derogatie vervallen is. Dit noemen we variant ‘C’.
Dit betekent dat naast de basissituatie van 2020 (Basis), de variant met minder Re in het rantsoen (A) en de variant zonder derogatie (B), een vierde situatie is doorgerekend. Namelijk de variant waarbij de situatie met minder RE in het rantsoen ook doorgerekend is zonder derogatie (C). Beide maatregelen beïnvloeden elkaar niet en zijn daardoor zogenaamd ‘additief’. De criteria van variant B zijn toegepast op variant A, waarna variant C is ontstaan. De situatie waarin minder Re wordt gevoerd en zonder derogatie.

In totaal levert dit 4 situaties op. Drie varianten die met de basissituatie van 2020 vergeleken kunnen worden en met elkaar. Dit geeft zicht op de verandering van de ammoniakemissie door minder RE in het rantsoen te voeren, verlies aan derogatie en het gecombineerde effect van minder RE in het rantsoen en verlies aan derogatie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verminderen stal- en veldemissie door minder eiwit voeren en minder veldemissie door verlies aan derogatie.

2.3. De representativiteit van de praktijkpilotbedrijven als steekproef

Van 81 pilotbedrijven zijn de gegevens beschikbaar gesteld. De stallen en percelen van deze bedrijven liggen redelijk verspreid over Nederland (Figuur 2).
De jonge poldergronden in west Nederland zijn wat ondervertegenwoordigd.

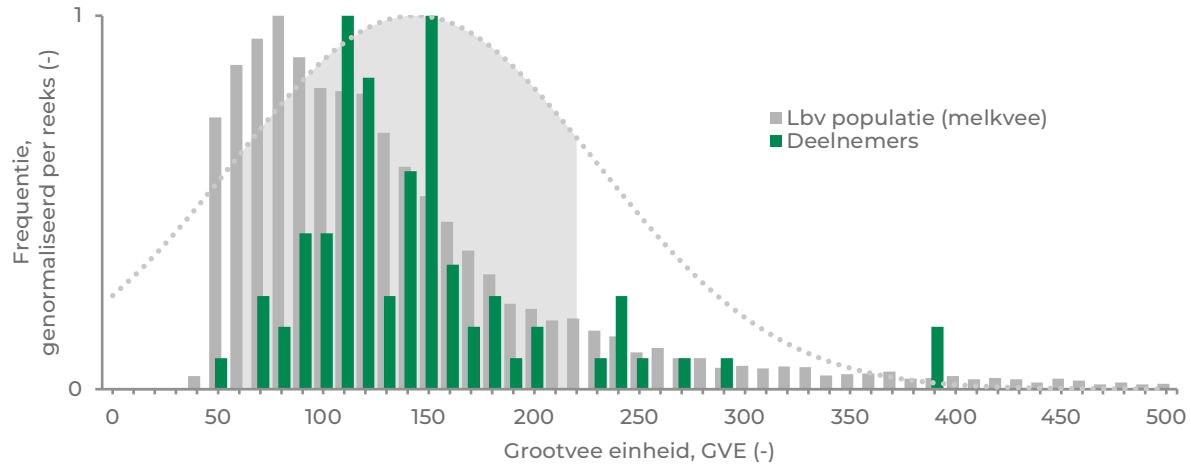


Figuur 2: Indicatieve weergave van landbouw bronnen (stallen en percelen) van de pilotbedrijven verspreid over Nederland.

Bedrijven op veen of poldervaaggronden hebben een grotere uitdaging om ruw eiwit te verlagen dan bedrijven op (hoger gelegen) zandgronden, waar door bijmenging met maïs de inname van ruw eiwit makkelijker te reguleren is. Dit verschil in inspanning speelt in de analyse van het emissie- en depositie effect van het verlagen van ruw eiwit in deze studie verder geen rol.

Om inzicht te krijgen in de representativiteit van de pilotbedrijven in relatie tot alle beroepsmatige melkveebedrijven in Nederland zijn de pilotbedrijven vergeleken met het landelijk beeld aan de hand van de

bedrijfsgrootte, uitgedrukt in grootvee eenheden (GVE). Voor het landelijk beeld is gebruik gemaakt van de studie die is uitgevoerd voor de Landelijke Beëindigingsregeling Veehouderijlocaties (Lbv) (Bleeker 2020). Deze studie gebruikt hetzelfde basisjaar (2020) voor de ammoniakemissie. Figuur 3 geeft met grijze balken op de achtergrond de landelijke populatie van melkveebedrijven weer, gecategoriseerd naar GVE (Een zeer klein aantal bedrijven (107 of 0.7%) die in de Lbv-populatie boven de 500 GVE uitkomt, is in Figuur 3 visueel buiten beschouwing gelaten). De groene balken geven het aantal pilotbedrijven weer. Het grijze vlak op de achtergrond geeft een inschatting van de (normaal)verdeling wanneer we de pilotbedrijven in deze studie als steekproef zien van de totale Lbv-populatie. De Koe en Eiwit steekproef heeft een mooie verdeling rond de gemiddelde bedrijfsomvang in Nederland, met ook een aantal wat grotere bedrijven in de steekproef die corresponderen met grotere bedrijven uit de populatie.



Figuur 3: Vergelijking bedrijfsgrootte van deelnemers met Lbv-melkvee-populatie (Bleker, 2020)

2.4. Impact op emissies van de praktijkpilotbedrijven

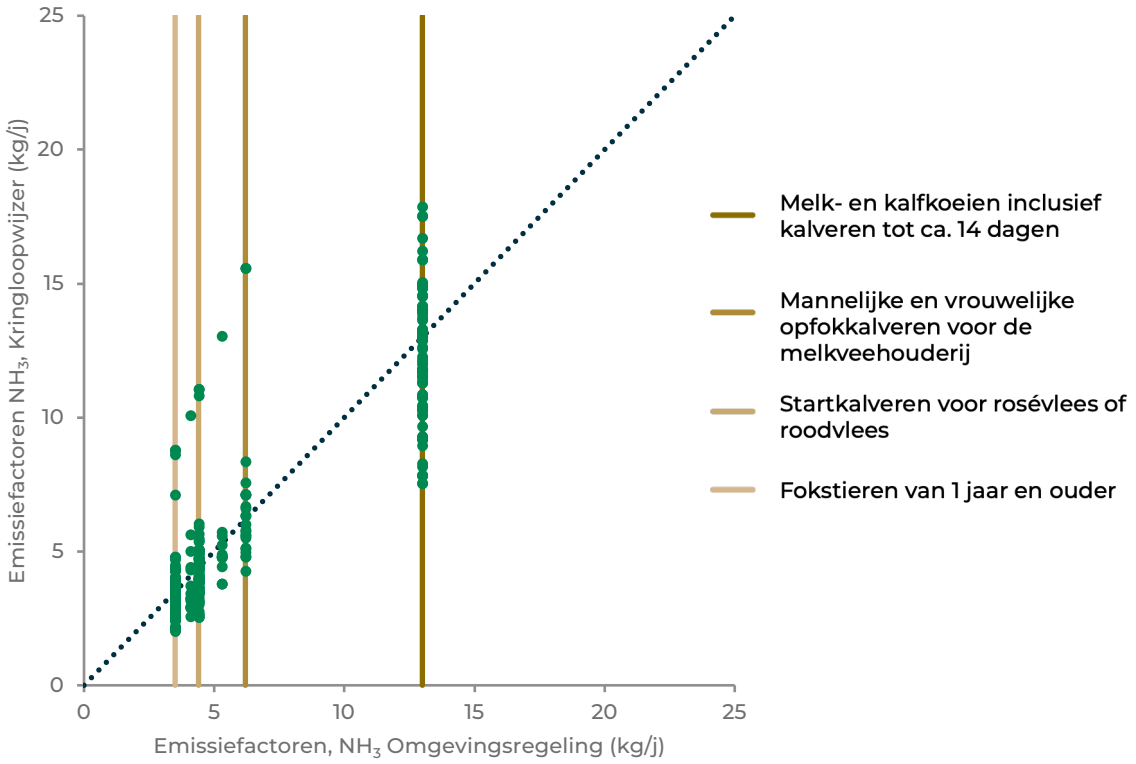
2.4.1. Variatie in ammoniakemissies ten opzichte van de Omgevingsregeling

Door gebruik te maken van de KringloopWijzer voor het bepalen van de ammoniakemissies van de pilotbedrijven, ontstaat er een meer bedrijfsspecifieke benadering van de te verwachten emissiereductie. De KringloopWijzer gebruikt gedetailleerde informatie over het nutriëntmanagement van het pilotbedrijf om stal- en veldemissies te berekenen. Figuur 4 geeft inzicht in deze variatie op bedrijfsniveau bij gebruik van de KringloopWijzer (y-as) in relatie tot de gestandaardiseerde emissiefactoren uit de Omgevingsregeling[4] (x-as), voorheen RAV (Regeling Ammoniak en Veehouderij).

Als voorbeeld zijn vier veelvoorkomende emissiefactoren uit de Omgevingsregeling voor melkvee stallen weergegeven als lijn met verschillende bruintinten. De groene bolletjes op die lijnen geven de met de KringloopWijzer berekende emissiefactoren weer van de verschillende pilotbedrijven. Wanneer de met de KringloopWijzer berekende emissiefactoren van de pilotbedrijven zouden overeenkomen met die van de Omgevingsregeling, dan hadden deze

[4] Omgevingsregeling: https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2025-10-07#BijlageVI

allemaal op het snijpunt met de de zwarte stippellijn (1:1) gelegen. Er zit een behoorlijke variatie tussen de met de KringloopWijzer berekende emissiefactoren van de pilotbedrijven, en in vergelijking met de emissiefactoren uit de Omgevingsregeling. De spreiding heeft een orde grootte van 50% om de waarde van de Omgevingsregeling. Het gebruik van de KringloopWijzer gegevens heeft daarmee een impact op de ruimtelijke verdeling van de berekende emissies- en emissiereductie en de daarmee samenhangede depositiereductie. Dit kan zowel tot een hogere of lagere inschatting van effecten leiden in specifieke gebieden. Dit komt regelmatig terug in discussies met ondernemers, waar het gebruik van landelijke gemiddelden niet altijd bijdragen aan begrip en acceptatie van stikstofanalyses. Op een landelijk gemiddeld niveau is de impact minder groot van het gebruik van de KringloopWijzer omdat de gemiddelde emissiefactor van alle KringloopWijzers goed overeenkomt met de emissiefactor uit de Omgevingsregeling.



Figuur 4: Verschillen tussen de emissiefactoren zoals vastgesteld in de omgevingsregeling (bruine lijnen) en de bedrijfsspecifieke op basis van de KringloopWijzer (groen)

2.4.2. Emissieberekeningen in drie reductiecategorieën

De deelnemende bedrijven zijn ingedeeld in drie categorieën op basis van de toegepaste verlaging van het ruw eiwit ten opzichte van de basissituatie (Tabel 1)(zie ook paragraaf 2.2.1).

- 11 Bedrijven met een aandeel ruw eiwit in het rantsoen op of onder de 155 gr, hebben geen verdere reductie toebedeeld gekregen.
- 31 bedrijven met een aandeel boven de 155 gram, maar niet hoger dan 165 gram, is het ruw eiwit in het rantsoen verlaagd naar 155 gram per kg droge stof.
- 39 bedrijven met een aandeel boven de 165 gram, is het ruw eiwit in het rantsoen verlaagd met 10 gram per kg droge stof.

Tabel 1: De verlaging van ruw eiwit (RE) is afhankelijk van de hoeveelheid RE in de referentie situatie

Ruw eiwit per kg droge stof.	< 155 (gram)	155 – 165 (gram)	>165 (gram)
5 percentiel	-	0,5	10
Mediaan	-	6	10
95 percentiel	-	10	10

Tabel 2 geeft per categorie de emissiereductie (%) als gevolg van het verlagen van het ruw eiwit aan (variant A), ten opzichte van de basissituatie.

Tabel 2: Verlaging bedrijfsemissies, NH_3 bij afname RE (Variant A)

	< 155	155 - 165	>165
5 percentiel	-	1%	6%
Mediaan	-	6%	9%
95 percentiel	-	10%	11%

De emissiereductie (%) als gevolg van de combinatie van verlagen ruw eiwit en het vervallen van derogatie (variant C) ten opzichte van de basissituatie staat in Tabel 3.

Tabel 3: Verlaging bedrijfsemissies bij verlagen RE en vervallen derogatie (Variant C), voor alle 79 bedrijven waar een emissieafname plaatsvindt

	< 155	155 – 165	>165
5 percentiel	4%	4%	13%
Mediaan	8%	12%	18%
95 percentiel	11%	21%	23%

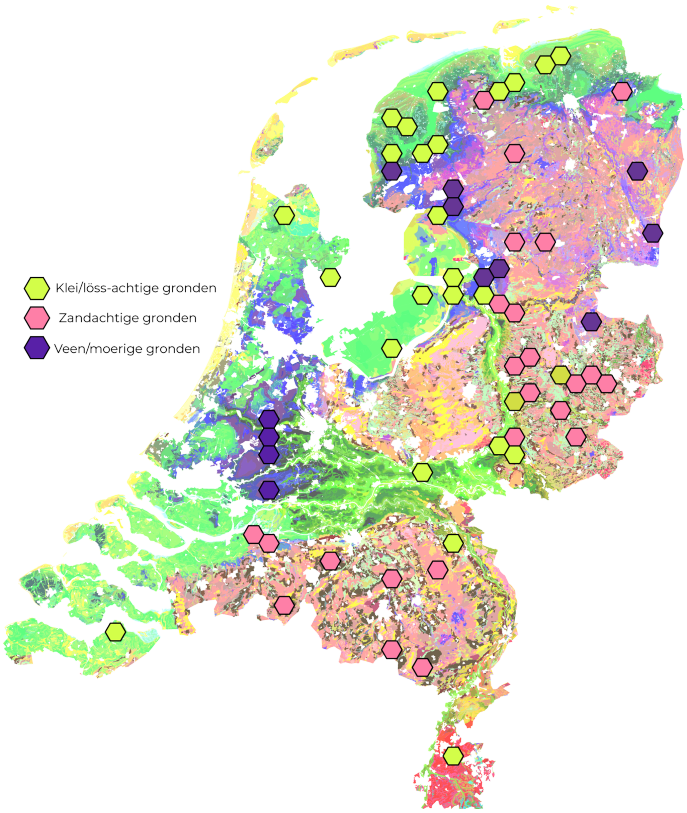
Voor 2 van de 81 pilotbedrijven heeft het vervallen van derogatie geen effect op de ammoniakemissie. Voor alle andere pilotbedrijven leidt het vervallen van derogatie tot een lagere ammoniakemissie. Het vervallen van derogatie heeft in deze studie alleen impact op de aanwendingsemissies van dierlijke mest. In praktijk zou het kunnen dat het vervallen van derogatie op termijn een impact heeft of de omvang van de veestapel, maar dat is geen onderdeel van dit onderzoek.

2.4.3. Relatie emissiereductie met grondsoort op de pilotbedrijven

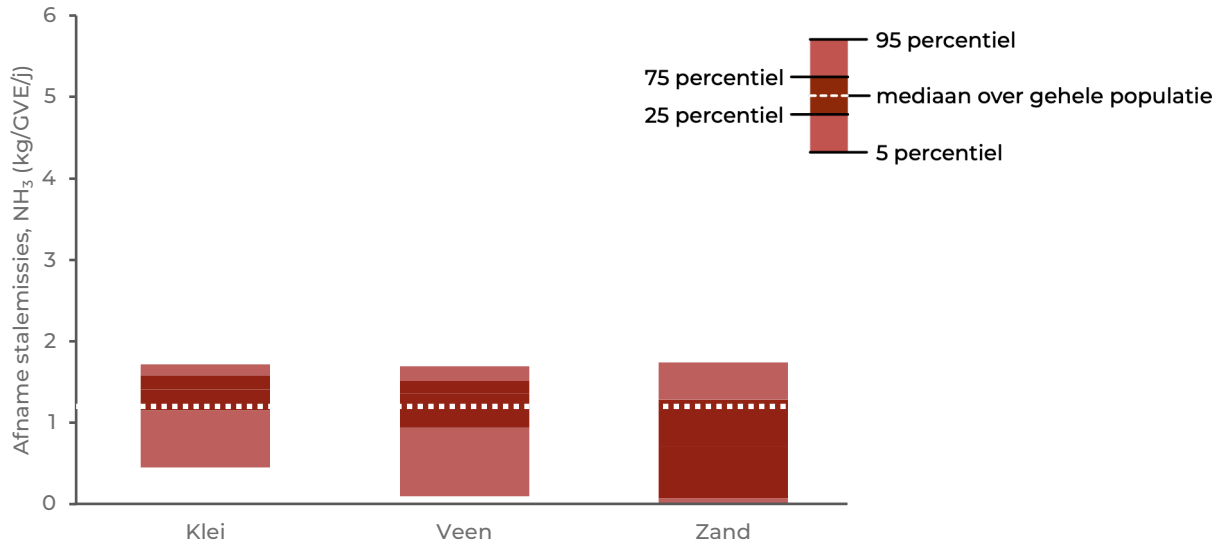
Grondsoort is voor veel aspecten van belang in de agrarische bedrijfsvoering. In Figuur 5 is de koppeling tussen de drie grondsoorttypen en de ruimtelijke ligging van de pilotbedrijven weergegeven. De hypothese is dat het effect van het verlagen van ruw eiwit een correlatie laat zien met de (dominante) grondsoort van het bedrijf. Om later het effect van verlagen van ruw eiwit op te schalen naar landelijk niveau op basis van de resultaten van de pilotbedrijven wordt deze correlatie onderzocht. De emissiereductie van ammoniak is uitgedrukt per GVE zodat de resultaten per bedrijf beter vergelijkbaar zijn. In Figuur 6 is dit voor stal- en opslagemissies uitwerkt en in Figuur 7 t/m Figuur 10 voor veldemissies.

Tabel 4: Aantal bedrijven per grondsoort en verdeling (aantal) over de RE reductieklassen.

	Aantal	<155	155 - 165	>165
Klei	28	1	7	20
Veen	19	1	6	12
Zand	32	7	18	7

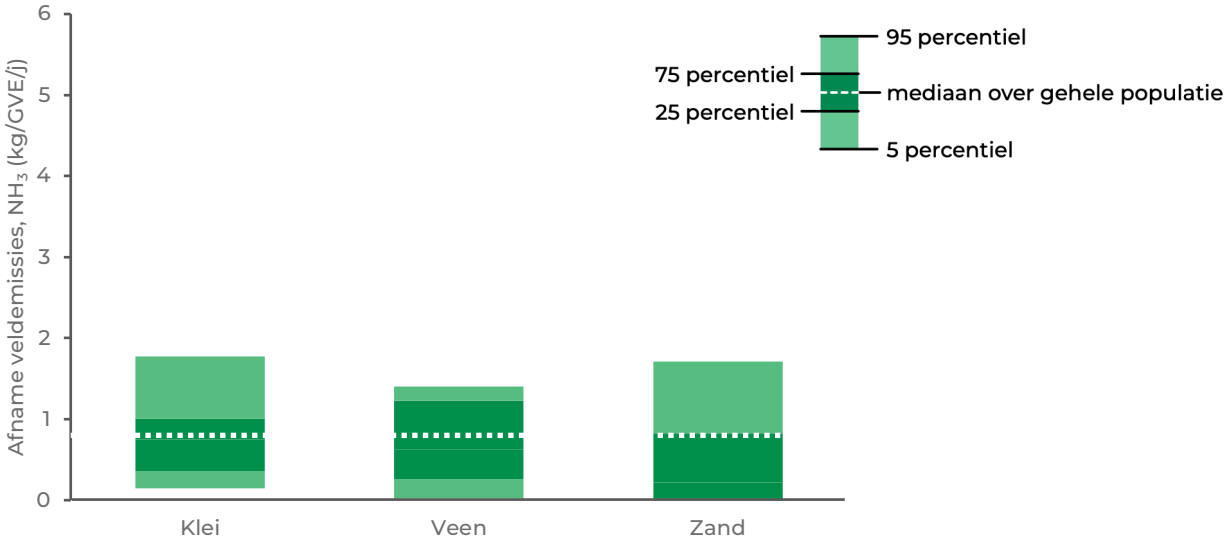


Figuur 5: Koppeling van bedrijven aan 'dominante' grondsoort, waarbij de klassen vanuit de basisregistratie ondergrond (BRO, 2024) zijn vereenvoudigd tot drie categorieën. NB. In een hexagoon kunnen meerdere bedrijven liggen, mocht het gebeuren dat de bedrijven niet dezelfde grondsoort hebben, dan is de grondsoort van het eerste bedrijf gekozen voor weergave op de kaart, maar is in de analyse de werkelijke grondsoort gebruikt.



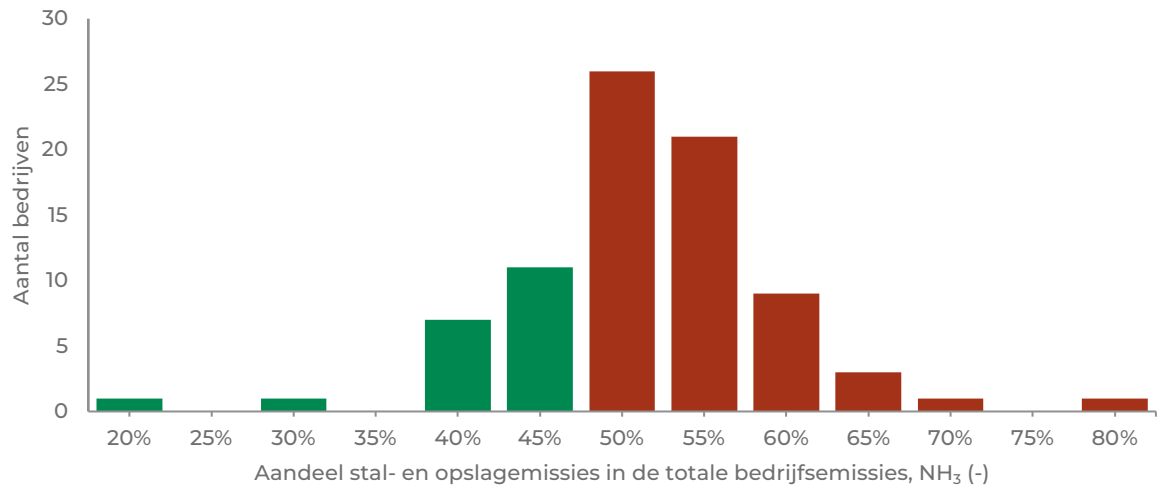
Figuur 6: Afnames stalemissies bij verlagen ruw eiwit uitgesplitst naar dominante grondsoort voor het bedrijf (Variant A)

De emissiereducties in Figuur 6 van stal- en opslagemissies zijn het gevolg van het verlagen van het ruw eiwit (variant A). De horizontale stippellijn geeft het gemiddelde over alle bedrijven weer, waardoor de verschillen die er zijn tussen de bedrijven op de verschillende grondsoorten wat beter zichtbaar zijn. Voor klei geldt dat de ingerekende ruw eiwitverlaging bij zo'n driekwart van de pilotbedrijven tot een bovengemiddelde emissiereductie leidt, op veen ligt dat rond het gemiddelde. Op zand leidt de verlaging op driekwart van de bedrijven duidelijk tot emissiereductie onder het gemiddelde. Dit wordt met name veroorzaakt door de verdeling van de bedrijven over de reductieklassen (tabel 4). Op zandbedrijven is een kleinere ruw eiwit verlaging doorgerekend, omdat het ruw eiwitgehalte daar al lager was in de basissituatie.



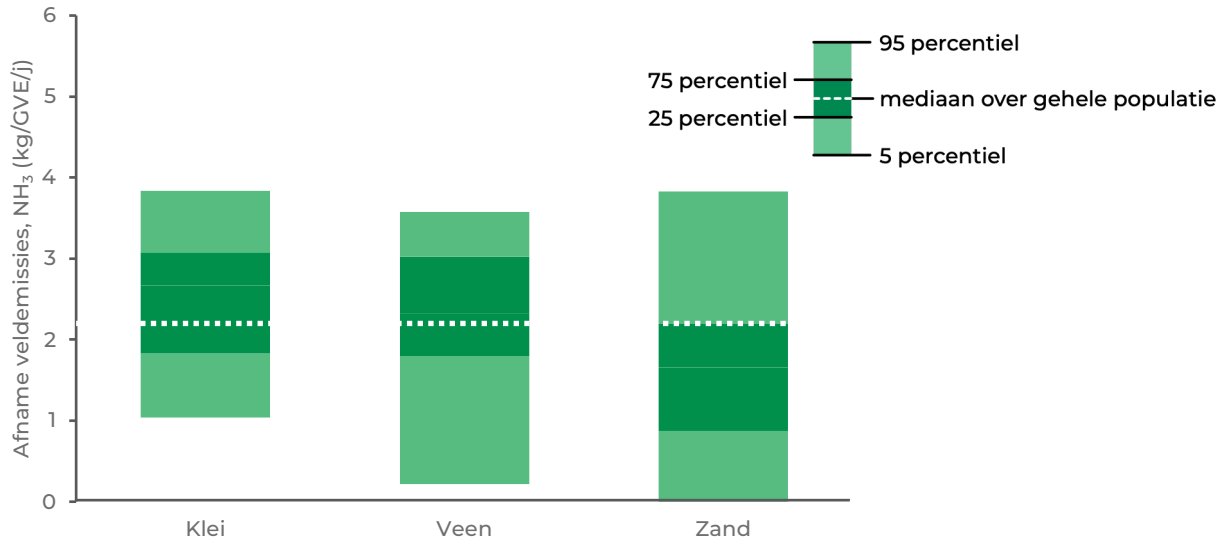
Figuur 7: Afnames veldemissies bij verlagen ruw eiwit uitgesplitst naar dominante grondsoort voor het bedrijf (Variant A)

In absolute zin is de ammoniakemissiereductie in variant A voor veldemissies (Figuur 9) kleiner bij het verlagen van ruw eiwit dan het effect op de stalemissies (Figuur 7). Dit is niet alleen het gevolg van de wijze waarop deze emissies ontstaan, maar ook omdat bij de pilotbedrijven de stal- en opslagemissies overwegend dominant zijn (Figuur 8). Voor veen en zand is de spreiding tussen de bedrijven vergelijkbaar met de stal- en opslagemissies. Voor klei is het wel opvallend dat de spreiding net als voor veengronden toch wat meer rondom het gemiddelde zit.



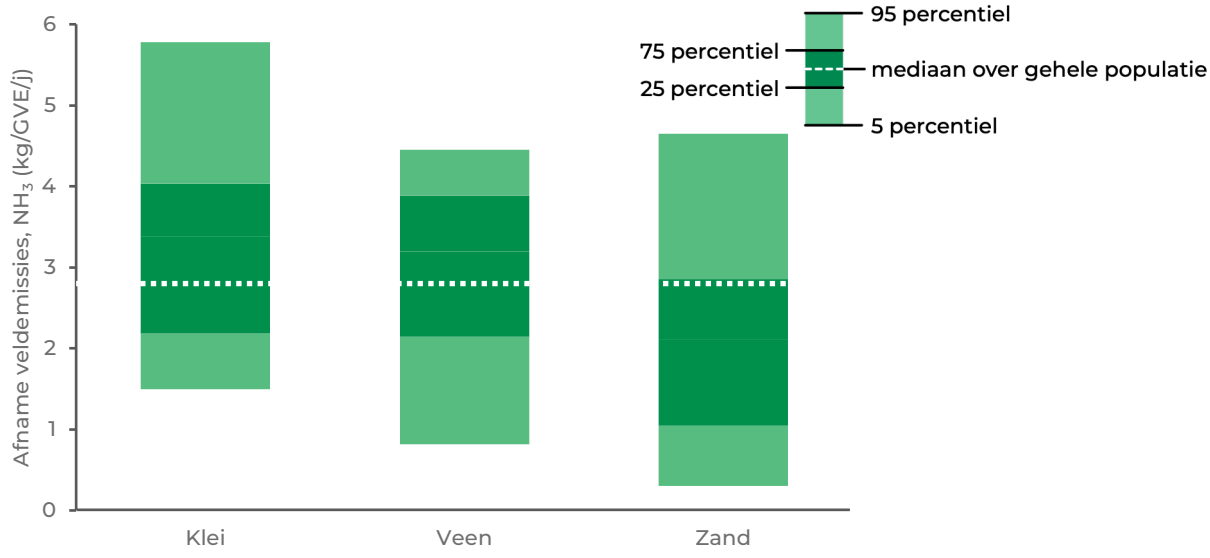
Figuur 8: Aantal bedrijven waar stal- en opslagemissies dominant zijn ten opzichte van veld emissies in het rood (n=61) en andersom het groen, waar veld emissies dominant zijn (n=20).

Bij de start van het project Koe en Eiwit (2022), gold er voor Nederland nog derogatie voor de hoeveelheid dierlijke mestaanwending per ha. Inmiddels is die derogatie vervallen en dat heeft behoorlijke impact op de bedrijfsvoering. Om te voorkomen dat de impact van het vervallen van derogatie van invloed is op de analyse van het emissie en depositie-effect van het verlagen van ruw eiwit, is voor de deelnemende bedrijven de impact van het vervallen van derogatie als variant B meegenomen (Paragraaf 2.2.2). Deze variant (Figuur 9) wordt alleen benut om te zien of de impact van de emissiereductie als gevolg van het verlagen van ruw eiwit verandert in de situatie waarin er geen sprake meer is van derogatie. Ook wordt het in Variant C gebruikt om het netto-effect voor de veldemissies te bepalen.



Figuur 9: Afnames veldemissies bij het vervallen van derogatie uitgesplitst naar dominante grondsoort voor het bedrijf (Variant B).

De afname van veldemissies in Variant C (combinatie verlagen ruw eiwit en verlies van derogatie) (Figuur 10), zijn in absolute zin voor de veldemissies het grootst. De spreiding in de emissiereductie per bedrijf op verschillende grondsoorten is echter niet wezenlijk anders. Behalve dat er een iets grotere extreme emissiereductie op klei voorkomt, die heeft echter geen bepalende invloed.



Figuur 10: Afnames veldemissies bij verlagen ruw eiwit en vervallen van derogatie uitgesplitst naar dominante grondsoort voor het bedrijf (Variant C)

Met de beperkte verschillen, in absolute zin, die er zijn in de afname van de emissies per GVE tussen de verschillende grondsoorten, lijkt de grondsoort zelf niet direct van invloed op het kunnen behalen van een emissiereductie. Deels is dat mogelijk het gevolg van de wijze waarop de emissiereductie is toebedeeld. Op klei of veen is voornamelijk gras beschikbaar als voer.

Waarin de hoeveelheid aanwezig eiwit in het gras sterk afhankelijk is van de weersomstandigheden bij het groeien. Op zand wordt er eenvoudiger bijgevoerd met mais en blijkt ook uit ervaring van de deelnemers dat het verlagen van ruw eiwit beter te managen is. We zien bij klei en veen bij zowel de stal- en opslag als de veldemissies een kleinere range tussen het 25 en 75 percentiel dan bij zand. Terwijl de extremen bij klei en veen juist weer groter zijn dan bij zand. Die grotere range bij pilotbedrijven op zand kan in dit onderzoek vooral verklaard worden doordat het grootste aantal bedrijven op het zand in de RE bedrijfscategorie 155 – 165 gram ruw eiwit valt (Tabel 4). Omdat het ruw eiwitgehalte in het rantsoen op de klei- en veenbedrijven hoger is, het verlagen van ruw eiwit, mits in de praktijk haalbaar, hier meer potentie.
In Tabel 5 is de verschillende categorisering van emissiereductie per GVE, onderverdeeld per bedrijfscategorie (GVE) en grondsoort weergegeven en gerelateerd aan de bedrijfsomvang onderverdeeld in vier kwartielen. De conclusie is dat in de berekeningen van deze studie, het effect van verlagen ruw eiwit niet is gekoppeld aan de bedrijfsomvang en/of grondsoort. Mede als gevolg van de aanpak kennen bedrijven in de klasse “155-165” de meeste variatie en de grootste reductie wordt berekend voor de klasse “>165.

Tabel 5: Afname ammoniakemissie als kilogram per GVE per jaar, per klasse ruw eiwit, per grondsoort en onderverdeeld naar omvang van het bedrijf.

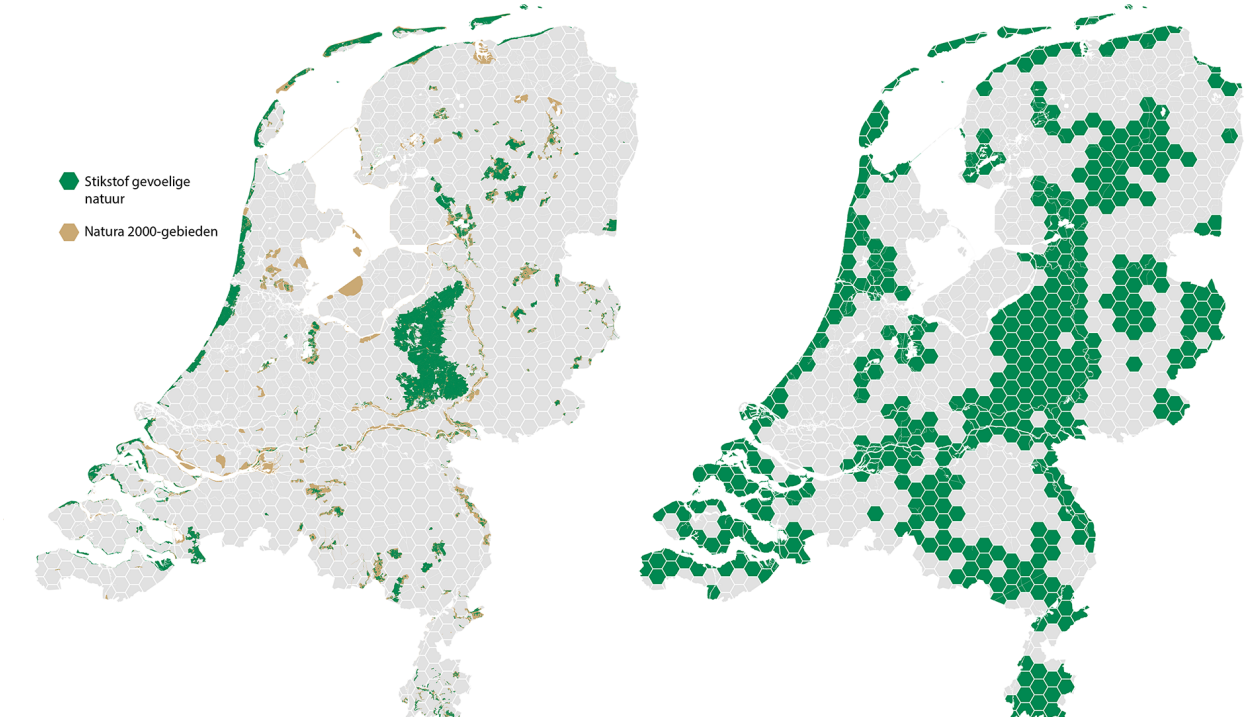
Grondsoort →	**Klei**			**Veen**			**Zand**		
Ruw-eiwit →	**<155**	**155 – 165**	**>165**	**<155**	**155 – 165**	**>165**	**<155**	**155 – 165**	**>165**
↓ Bedrijfsomvang									
Kleinste 25%	0	1.2	1.7	0	-	1.4	0	0.8	2.1
25 - 50%	-	-	1.3	-	0.8	1.6	0	1.0	1.4
50 - 75%	-	1.6	1.5	-	0.1	1.4	0	0.4	1.9
Grootste 75%	-	0.7	1.3	-	1.0	1.4	-	0.8	1.4

3. Berekenen van de stikstofdepositiebijdrage van de pilotbedrijven

Toelichting op het toegepaste model voor de berekening van stikstofdepositie. Analyse van de impact van een bedrijf op de stikstofgevoelige natuur in de directe omgeving en Nederland.

3.1. Toepassen van een wetenschappelijk verantwoorde methodiek

Als meet- en rekensystematiek om de stikstofemissie en -depositie van de verschillende varianten te berekenen is gebruik gemaakt van het Operationeel Prioritair Stoffen Model (OPS) van het RIVM (Sauter, 2025). Omdat dit rapport zich vooral richt op de verschillen tussen de basissituatie en de verschillende varianten, kan er met een grotere mate van zekerheid een uitspraak worden gedaan over het te verwachten effect van de varianten en spelen de grote onzekerheden in het OPS-model een kleinere rol. Het gebruik van het OPS-model maakt het ook mogelijk om depositie resultaten te vergelijken met andere studies zoals die door de Ministeriële commissie Economie en Natuurherstel (McEN) zijn gebruikt. De onderliggende databestanden voor het OPS-model en verdere analyse van stikstof deposities sluiten aan op de uitgangspunten van AERIUS Monitor 2025.
Het OPS model is internationaal beoordeeld door (Sutton, 2015) en nationaal door het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof (Commissie Hordijk, 2020) en voldoende wetenschappelijk onderbouwd bevonden. Ondanks dat op sommige punten de inzichten van de wetenschappers van elkaar lijken te verschillen, is de algemene conclusie dat het OPS geschikt is voor toepassing in dit type onderzoek. In dit rapport wordt daarnaast invulling gegeven aan een aantal adviezen van de Commissie Hordijk. Zo wordt schijnnauwkeurigheid zoveel mogelijk voorkomen door de berekeningen op een hoger abstractieniveau dan één hectare uit te voeren. Daarnaast is gebruik gemaakt van een zogenaamde bron-receptor matrix waardoor de onzekerheden in de inschatting van het verwachte effect van verlagen ruw eiwit kleiner zijn omdat de onzekerheden in de modelparameters van het OPS model tegen elkaar wegvallen (Velders, 2011). Daarnaast is er betrouwbaarheidswinst gehaald door de bronkenmerken zo goed mogelijk te beschrijven (paragraaf 2.1). Ook worden de berekende effecten in de context geplaatst van het behalen van de Natura 2000 instandhoudingsdoelstelling door de stikstofdepositiecijfers in kilogram stikstof (kg N) te rapporteren. 1 kg N komt overeen met 71,4 mol N. Het voordeel van het gebruik van een depositievracht is dat dit getal een lagere onzekerheid heeft dan de berekende depositiebijdrage op individuele hexagonen.
Links in Figuur 11 is de ligging van stikstof gevoelige natuur in Nederland zien en rechts hoe die visueel is geabstraheerd naar hexagonen van ongeveer 4096ha. Deze abstractie maakt het nog steeds mogelijk om ruimtelijke patronen te identificeren, maar ook conclusies op een passend schaalniveau te trekken. Alle depositie berekeningen zijn uitgevoerd op hetzelfde schaalniveau (16ha) dat ook in AERIUS Monitor gebruikt wordt voor analyses van toekomstige stikstoftrends. Voor detail analyses wordt het 16ha niveau dus gebruikt, maar altijd als gewogen gemiddelde op de kaart als 4096ha weergegeven.

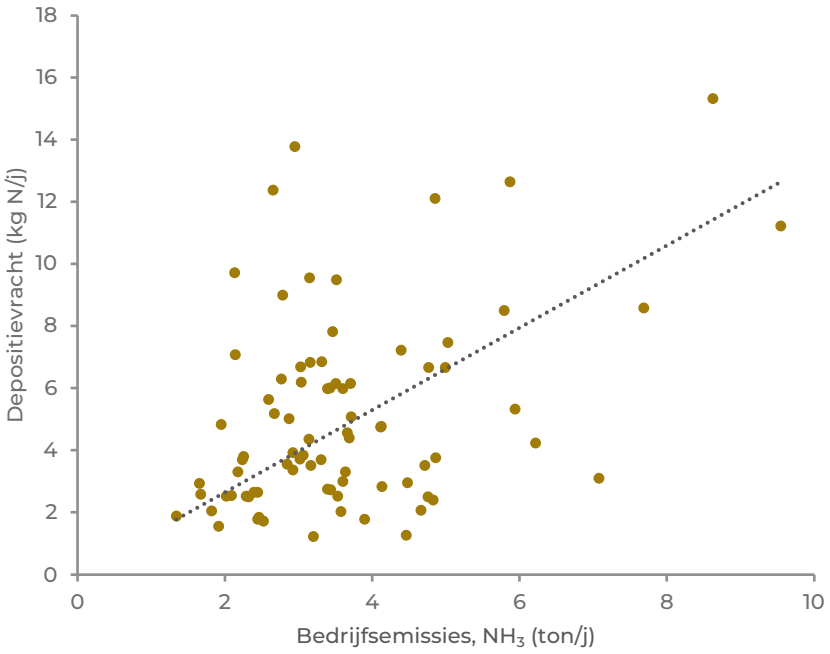


Figuur 11: Toelichting schematische weergave depositieresultaten. Links de onderliggende gedetailleerde gegevens over stikstofgevoelig habitats in AERIUS Monitor. Rechts de vereenvoudigde weergave die gebruikt wordt in dit rapport om resultaten te visualiseren rekening houdend met onzekerheden en schijnnauwkeurigheid. Waar links alleen het bruin van Natura 2000-gebieden te zien is, ligt geen stikstofgevoelige natuur.

3.2. Een bedrijfsbijdrage in perspectief van stikstofmodellering

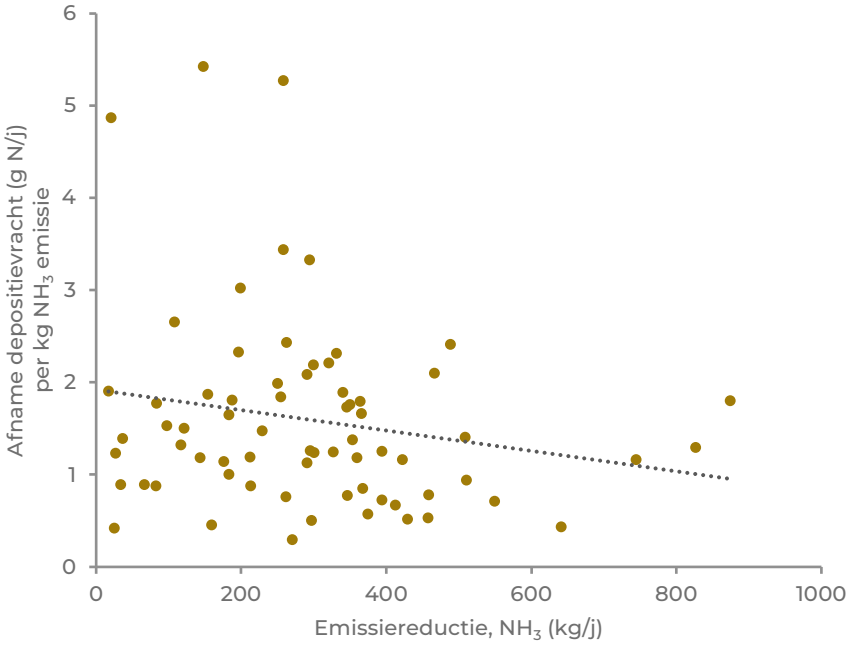
In het kader van toestemmingverlening wordt de stikstofdepositiebijdrage van een project bepaald met AERIUS Calculator[5]. Deze berekeningen zijn bedoeld om de specifieke bijdrage van het project op de omliggende stikstofgevoelige natuur te bepalen. Voor iedere deelnemer van deze pilot is ook een berekening gemaakt met AERIUS Calculator. Daarmee krijgt de deelnemer specifiek inzicht in de bijdrage van het eigen bedrijf en impact op de lokale omgeving. Voor dit rapport is geen gebruik gemaakt van die informatie omdat de onderzoeksvragen gericht zijn op potentiële impact op de achtergrond depositie, mocht het verlagen van ruw eiwit een landelijke of regionale maatregel worden.
Toch is het goed om ook even naar de pilotbedrijven zelf te kijken, omdat we hier in tegenstelling tot veel andere studies naar landelijke effecten, gebruik kunnen maken van bedrijfsgegevens van hoge kwaliteit. Figuur 12 is een weergave van de relatie tussen de depositievracht en de bedrijfsemissie per deelnemer. Ter illustratie is de stippellijn als lineaire regressielijn geplot. Wat opvalt is dat over het algemeen verwacht mag worden dat een hogere emissie ook een hogere depositievracht betekent (stijgende stippellijn), maar dat daar bedrijfsspecifiek een behoorlijke variatie bestaat.

[5] Artikel 4.15 Omgevingsregeling



Figuur 12: Relatie tussen omvang ammoniakemissie van een melkveehouder en de stikstofdepositievracht op Nederlandse stikstofgevoelige natuur. Lineaire fit (stippellijn) is ter illustratie, niet omdat het de best passende regressielijn is.

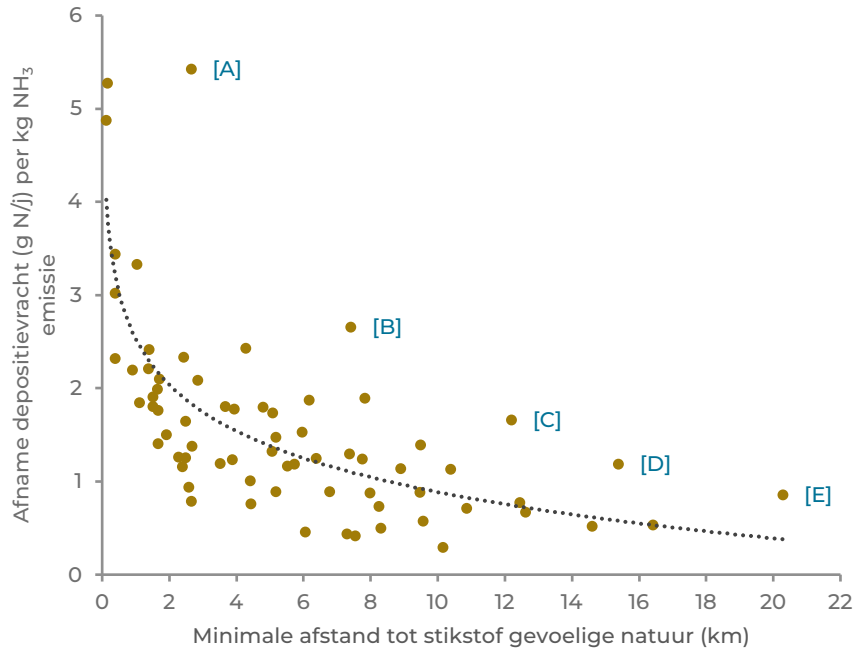
Die variatie wil zeggen dat de impact op depositiebijdrage van een bedrijf niet alleen afhankelijk is van omvang van de bedrijfsemissie. In dit onderzoek gaat het vooral om de afname van bedrijfsemissies en de daarmee samenhangende afname van de depositievracht. Als we de bedrijfsspecifieke emissiereductie plotten (Figuur 13) in relatie tot de afname in depositievracht per gereduceerde kilogram emissie, dan zien we dat de impact van emissiereductie nog minder duidelijk correleert dan de bedrijfsemissie aan de depositievracht in Figuur 12. Dat houdt in dat bij het bepalen van de impact van emissiereductie op de depositie in stikstofgevoelige natuur ook andere factoren belangrijk zijn dan de emissie-omvang en de behaalde emissiereductie, zoals de afstand tot een stikstofgevoelig natuurgebied.



Figuur 13: Afname van de stikstofdepositievracht per kilogram emissiereductie in relatie tot de behaalde emissiereductie. De lineaire fit is ter illustratie, niet omdat het de best passende regressielijn is.

In de combinatie van Figuur 14 en Tabel 6 is dat goed te zien wanneer de afname van de depositievracht wordt gerelateerd aan de afstand tussen het bedrijf en het dichtstbijzijnde Natura 2000-gebied (met voor stikstof gevoelige natuur). Dit sluit ook aan bij de metingen en bevindingen van het onderzoek van de Universiteit van Amsterdam in opdracht van het Mesdagfonds (Tietema, 2023). Op korte afstand draagt een reductie van een individueel bedrijf meetbaar mee aan de afname van stikstofdepositie. Op grotere afstand is de bijdrage aan de verlaging in absolute zin klein, maar wordt het effect vooral bepaald door het collectieve effect van alle bedrijven die ammoniakemissie reduceren.

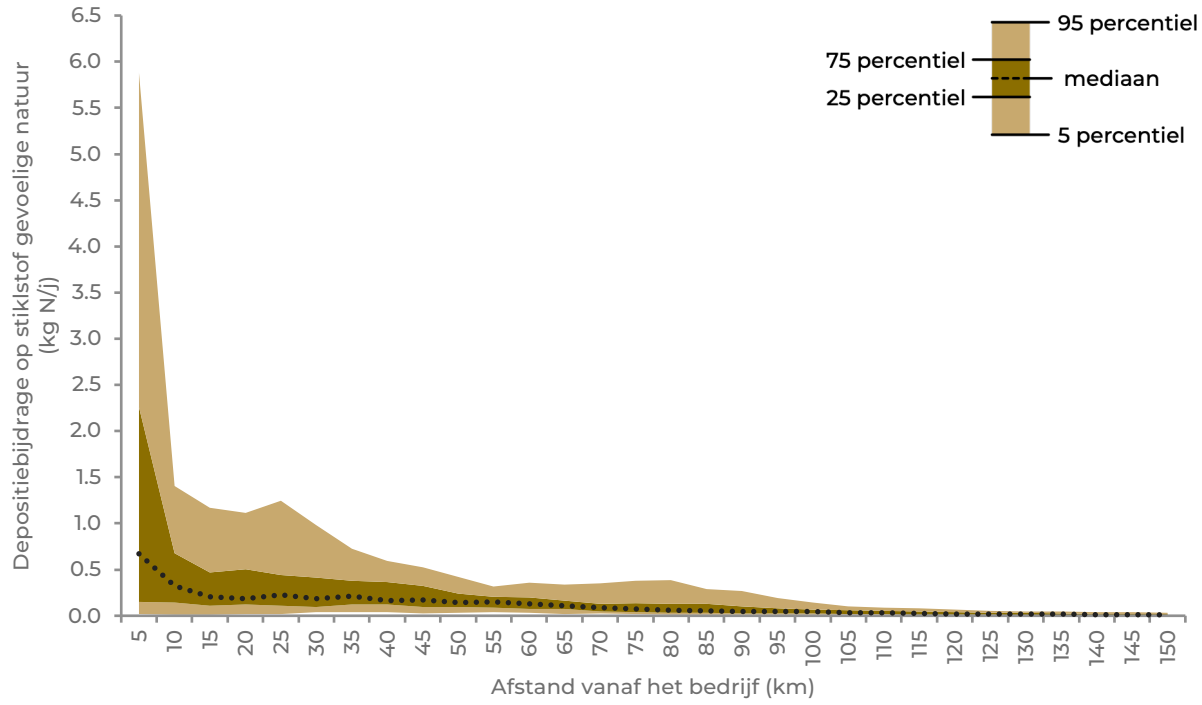
In Figuur 14 en Tabel 6 zijn ook een aantal voorbeelden uitgewerkt. Zo heeft bedrijf [A] de hoogste depositievracht en afname van de depositievracht van alle deelnemers, maar niet de hoogste bedrijfsemissie of de hoogste gerealiseerde emissiereductie van alle deelnemers. Dat is namelijk bedrijf [C]. De hoogte van de depositievracht voor bedrijf [A] is vooral het gevolg van de ligging in zuidelijk Gelderland waar alleen al bijna de helft van alle hectares met stikstofgevoelige natuur dichtbij liggen. Dit in tegenstelling tot bedrijf [E] dat op grootte afstand van enig stikstofgevoelige natuur ligt. Bedrijf [E] haalt echter wel het maximaal potentieel aan depositiereductie door het verlagen van ruw eiwit (-10% ammoniak emissies) en draagt daarmee nog steeds evenveel bij aan het verlagen van de achtergrond depositie als bedrijf [B], die qua bedrijfsomvang kleiner is, maar wel veel dichterbij stikstofgevoelige natuur ligt. Hiermee wordt dus ook duidelijk, dat wanneer de depositiebijdrage op een specifieke locatie wordt bekeken, op korte afstand de absolute impact van individuele bedrijven heel groot is, maar dat de cumulatieve impact van veel bedrijven ook op grotere afstanden ook nog steeds relevant is. Dit wordt verder geïllustreerd met Figuur 15 en Figuur 16.



Figuur 14: Relatie tussen de afstand tot stikstof gevoelige natuur (ook het oppervlak) en depositiereductie

Tabel 6: Voorbeelden corresponderend met Figuur 14

	GVE, GrootVee Eenheid (-)	Bedrijfsemissie in 2020 (kg NH3/jaar)	Depositievracht in 2020 (kg N/jaar)	Emissiereductie door verlagen ruw eiwit (kg NH3/ jaar)	Reductie depositievracht (kg N/jaar)
[A]	130	2950	13.8	150	0.8
[B]	97	1950	4.9	108	0.3
[C]	157	5800	8.5	370	0.6
[D]	128	2450	2.7	140	0.2
[E]	155	3600	3.0	370	0.3

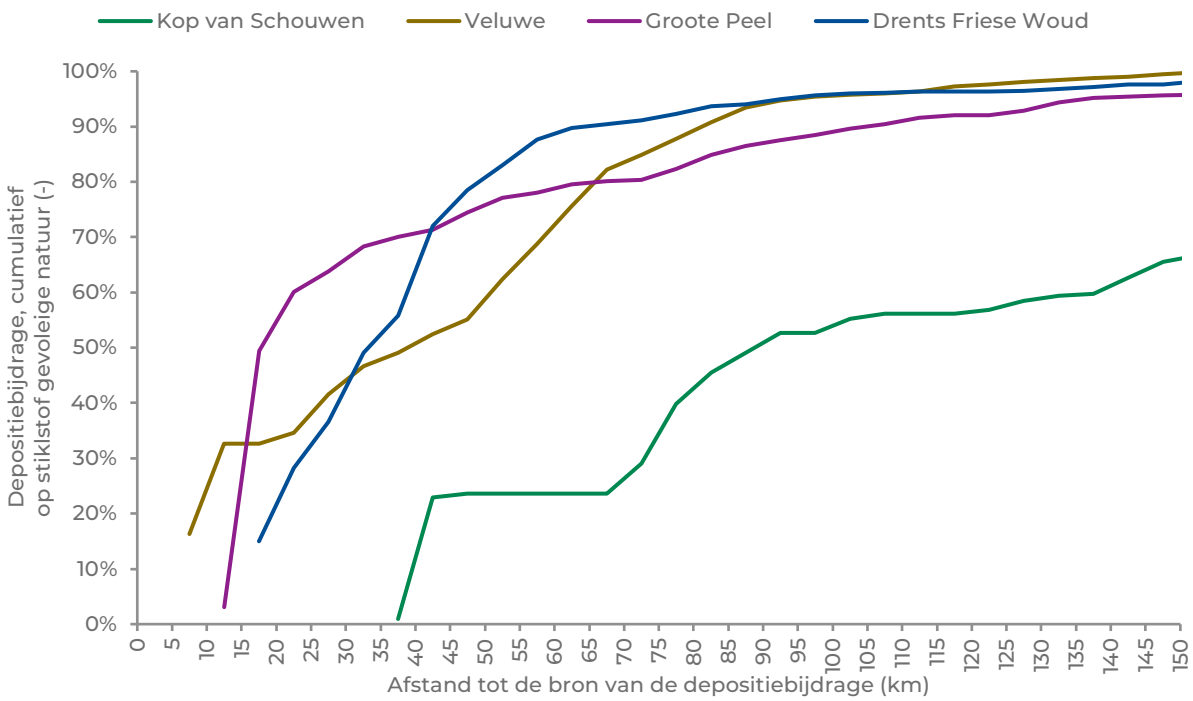


Figuur 15: Spreiding in de stikstofdepositie bijdrage van de pilotbedrijven op verschillende afstanden van het bedrijf

Figuur 15 laat zien hoe de stikstofdepositie bijdrage van een enkel bedrijf snel afneemt wanneer de afstand tussen het bedrijf en de stikstof gevoelige natuur groter wordt.
Figuur 16 laat echter zien hoe de bijdragen van alle pilotbedrijven optellen in 4 voorbeeld gebieden:

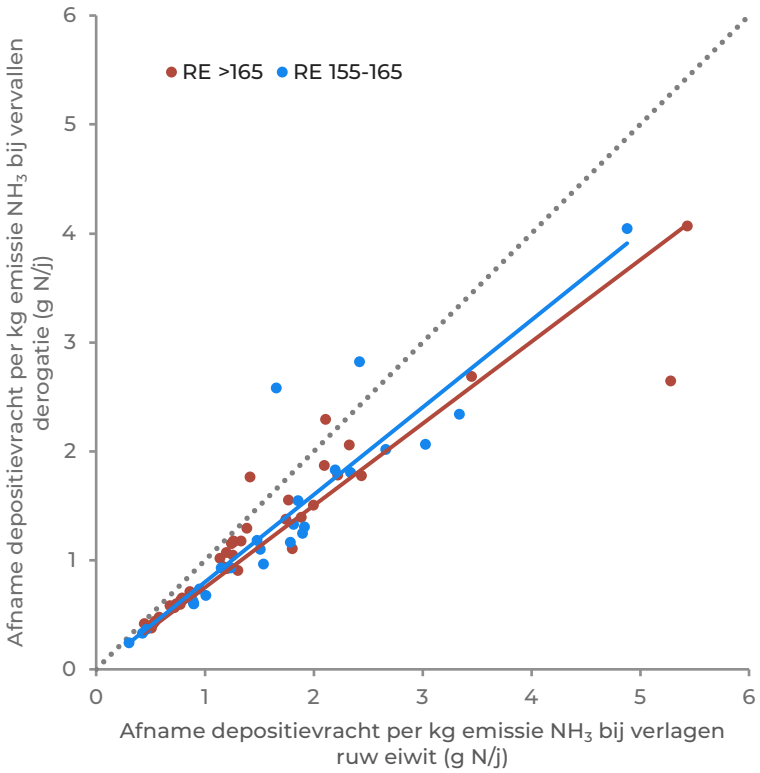
- Kop van Schouwen (Zeeland), ligt ver van (> 35km) de enige pilot deelnemer vandaan. Het eerste pilotbedrijf draagt dan ook 20% van het totaal bij, omdat alle andere pilotbedrijven nog verder liggen. Na 70km loopt de bijdrage dan gestaag op;
- Veluwe (Gelderland), heeft pilotbedrijven die binnen enkele kilometers van het gebied liggen, maar veelal aan de oostzijde waardoor met overwegend westenwind in Nederland het cumulatieve effect wel zichtbaar is, maar wat meer geleidelijk oploopt dan bij het volgende gebied;
- Groote Peel (Brabant), heeft verschillende pilotbedrijven op kortere afstanden rondom liggen en daarmee loopt de cumulatieve bijdrage ook snel op tot bijna 80% binnen de range 10 tot 60km (15 bedrijven), waarmee duidelijk is dat overige bedrijven (66) buiten die afstand nog voor de resterende 20% verantwoordelijk zijn;
- Drents Friese Woud (Drenthe), heeft ook verschillende pilotbedrijven rondom liggen, zij het op enkele kilometers grotere afstand als de Groote Peel. Ook hierdoor neemt de cumulatieve bijdrage snel toe en zit die rond 60km dan ook al op 90%.

Met de combinatie van Figuur 15 en Figuur 16 is dus te zien, dat in absolute zin een individueel bedrijf op korte afstand een grote impact kan hebben, terwijl juist op wat grotere afstand er in cumulatieve zin met andere bedrijven ook nog steeds een wezenlijke impact is.



Figuur 16: Cumulatieve depositiebijdrage van de pilotbedrijven in vier Natura 2000-gebieden. Cumulatie is tot maximaal 150km van het gebied weergegeven. Wanneer de cumulatie nog niet op 100% is, betekent dat de overige pilotbedrijven dus verder dan 150km van het gebied liggen.

Uit Figuur 8 bleek dat voor het merendeel van de bedrijven de stal- en opslagemissies groter zijn dan de veldemissies. Bij het berekenen van de depositiebijdrage per bedrijf kan dit tot verschillen leiden omdat de verspreiding van ammoniak uit stallen een ander verspreidingsprofiel heeft dan veldemissies. Veldemissies zoals mestaanwending en begrazing vinden op specifieke momenten in het jaar plaats. Maar belangrijker is nog dat de veldemissies oppervlaktebronnen zijn die zich op maaiveldhoogte bevinden in plaats van de emissie van stallen die zich afhankelijk van het type stal zich tussen de 1.5m en de nok van een stal kunnen bevinden. Dit zorgt ervoor dat de ammoniakemissie uit stallen zich met een hogere concentratie verder verspreidt dan veldemissies. In Figuur 17 is dat terug te zien doordat per vermeden kilogram ammoniakemissie vanuit stal- en opslag de gereduceerde depositievracht zo'n 20% groter is dan een eenzelfde emissiereductie bij veldemissies. Beide gekleurde lijnen liggen beneden de stippellijn, wat inhoudt dat het verlagen van een kg ammoniakemissie vanuit een stal gemiddeld tussen de 20 en 25% meer depositiereductie veroorzaakt dan het verlagen van een kg ammoniakemissies in het veld.



Figuur 17: Vergelijking tussen de impact op stikstofdepositie tussen emissiereductie bij stal- en opslag of veldemissies

4. Opschalen voor inschatting landelijke impact

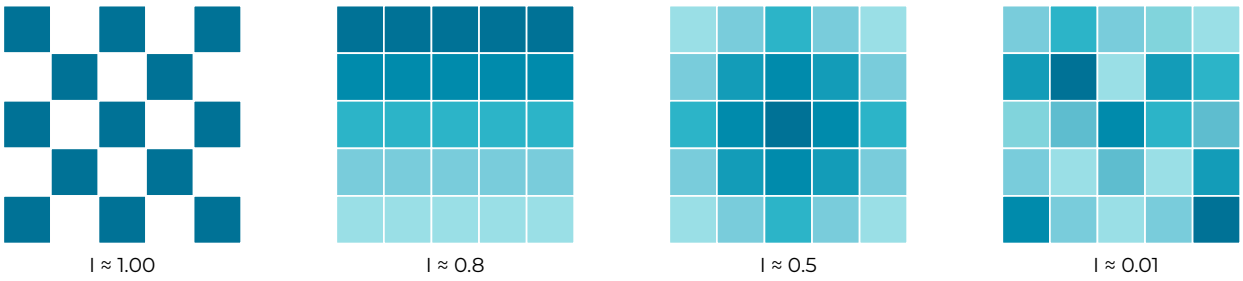
Met het inzicht in de impact van het verlagen van ruw eiwit op de ammoniakemissie en stikstofdepositie van de pilotbedrijven is de volgende stap om met die kennis een inschatting te maken van het emissie- en depositie effect wanneer op landelijke schaal dezelfde inzet zou worden geleverd.

4.1. Gebruik maken van geostatistiek

Om de landelijke potentie van het verlagen van ruw eiwit in het rantsoen te bepalen, worden de resultaten van de 81 pilotbedrijven vertaald naar een inschatting van de ammoniakreductie voor alle Nederlandse melkveebedrijven. De verschillende (statistische) methodieken die hiervoor worden toegepast, worden kort toegelicht.

4.1.1. Bepalen van ruimtelijke (co)variatie, Moran's index (I)

Morans I (Chen, 2013) is een statistische index die de mate van ruimtelijke autocorrelatie meet, anders gezegd in hoeverre rekenresultaten voor een specifieke locatie vergelijkbaar zijn met die van aangrenzende locaties in een geografisch gebied. De index is een gewogen correlatiecoëfficiënt met tussen -1 en +1. De positieve waarden, dichter bij 1, duiden op clustering van vergelijkbare rekenresultaten, negatieve waarden op spreiding van niet gerelateerde rekenresultaten (ruis) en waarden rond de 0 op een willekeurige verdeling van de rekenresultaten (Figuur 18).



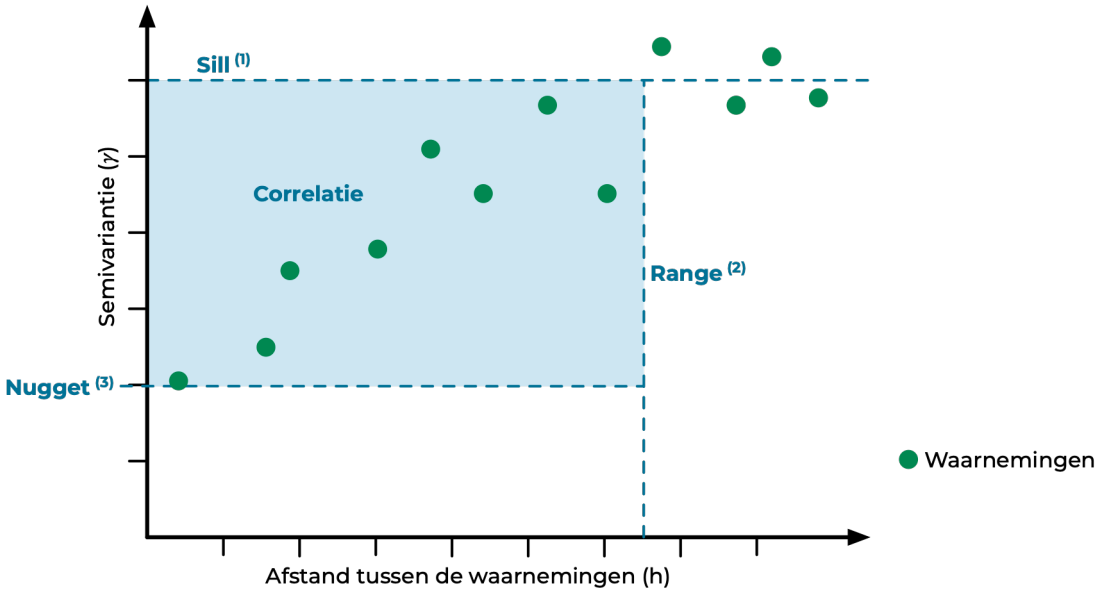
Figuur 18: Schematisch voorbeeld van een ruimtelijk patroon van rekenresultaten met de bijbehorende Moran Index (I) waaruit al dan niet een ruimtelijke autocorrelatie blijkt.

Morans I is een veel toegepaste methode om ruimtelijke patronen in rekenresultaten te toetsen op statistische significantie. Daarmee kan de keuze worden gemaakte om deze in te zetten als (co) variabele bij het ruimtelijk interpoleren. In dit onderzoek zal de Monran's Index gebruikt worden om te bepalen welke variabelen nuttig kunnen zijn om mee te nemen in het opschalen naar landelijk niveau.

4.1.2. Interpolatie naar landelijk beeld, Ordinary Kriging

Ordinary Kriging (Wackernagel, 2003) is een geostatistische techniek voor ruimtelijke interpolatie die een objectieve schatting maakt voor melkveebedrijven, stallen en percelen, die geen onderdeel van de praktijkpilot zijn. Ordinary Kriging, of OK afgekort, modelleert ruimtelijke afhankelijkheid door middel van een variogram. In een variogram wordt de vraag beantwoord of waarnemingen die dichtbij elkaar liggen meer overeenkomsten hebben dan waarnemingen die

verder weg liggen. Bij het interpoleren krijgen daarom resultaten van bedrijven uit de praktijkpilot mogelijk meer gewicht op basis van ruimtelijke correlatie in plaats van simpel weg alleen afstand. Zoals bijvoorbeeld bij eenvoudige interpolatie technieken als Inverse Distance Weighting (IDW). Met Ordinary Kriging wordt meer inzicht verkregen of er bepaalde ruimtelijke patronen of afhankelijkheden in de waarnemingen zitten, die de geschatte (geinterpoleerde) waarde mede moeten bepalen, die vervolgens gebruikt worden bij het inschatten van de emissiereducties op bedrijven die niet aan de praktijkpilot hebben deelgenomen. Ordinary Kriging geeft ook de mogelijkheid om de onzekerheid te schatten voor elke voorspelling, waarmee het eindresultaat beter op waarde geschat kan worden.
De formules en protocollen voor de Ordinary Kriging (OK) methode zoals die is toegepast in het onderzoek zijn geadopteerd vanuit 'An Introduction to Applied Geostatistics; Oxford University' (Isaaks, 1989). Voor het uitvoeren van de interpolaties is gebruik gemaakt van de Smart-Map QGIS plug-in (Pereira, 2022). Deze plug-in wordt internationaal ook door verschillende universiteiten gebruikt voor interpolatie van milieudata.



Figuur 19: Schematische weergave van een variogram. De blauwe begrippen met corresponderende nummers zijn in de tekst toegelicht.

In Figuur 19 is een variogram schematisch weergegeven. Op de x-as staat de afstand (h) tussen twee waarnemingen en op de y-as de semivariantie (γ). Semivariantie is de maat waarin de 'ongelijkheid' van het verschil tussen de twee waarnemingen wordt uitgedrukt. Bij een lage semivariantie zijn de waarnemingen sterk gecorreleerd (gelijk) aan elkaar. Bij een hoge semivariantie is er geen sprake van enige correlatie als gevolg van de afstand en ook al zijn de waarnemingen getalsmatig vergelijkbaar, dan is dat niet beïnvloed door de afstand tussen de waarnemingen.
Voor het interpreteren van een variogram zijn drie elementen belangrijk:

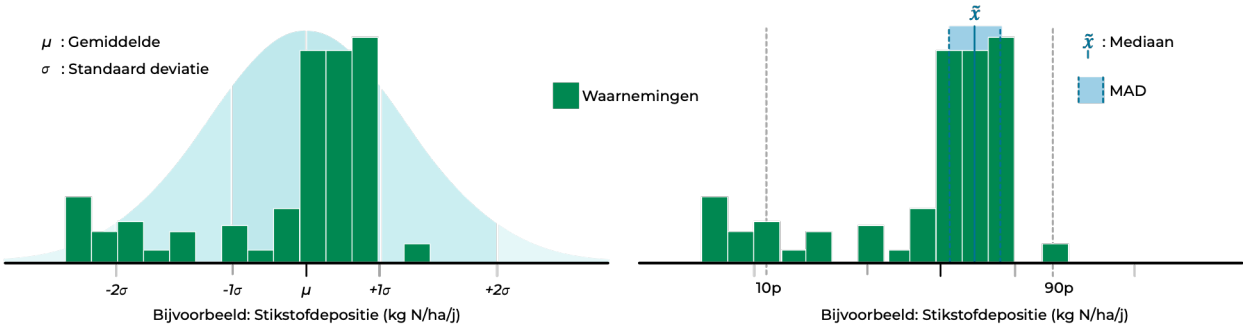
1) **Sill**: waarde van de semivariantie (y-as) waarbij er geen sprake meer is van correlatie. Dit punt ligt op het moment dat er geen toename meer is in de semivariantie en er geen correlatie op afstand meer is tussen de waarnemingen op grotere afstanden.

Wanneer de semivariantie snel toeneemt, zijn er dus veel verschillen tussen de waarnemingen op korte afstand. Dat betekent dat het aannemelijk is dat vooral lokale factoren de waarde van een waarneming bepalen.

2) **Range**: de afstand, ook wel lag genoemd, tussen de waarnemingen die de Sill bepalen. In andere woorden, dit is de afstand waarbij er geen correlatie meer tussen verschillende waarnemingen is.
3) **Nugget**: bij een perfecte correlatie zal de Nugget de waarde 0 hebben. Vaak is er echter ook sprake van korte afstand variabiliteit of een meetfout, waardoor deze waarde boven de 0 ligt. In dat geval symboliseert de Nugget als het ware het ruis-niveau waar beneden geen uitspraken over correlatie kan worden gedaan.

4.1.3. Median Absolute Deviation (MAD)

Om tot een (statistisch robuuste analyse te komen wordt gewerkt met de mediaan en de mediane absolute deviatie (MAD). De MAD is een robuuste statistische maatstaf voor datavariabiliteit (Dodge, 2010), wanneer je data niet normaal verdeeld is. De MAD is de typische afstand tussen de individuele rekenresultaten en de mediaan. De meerwaarde van de MAD is dat deze minder wordt beïnvloed door extreme waarden in vergelijking met bijvoorbeeld het rekenkundig gemiddelde en de standaarddeviatie. Die hebben als belangrijk aanname dat de data normaal verdeeld is, wat vrijwel nooit het geval is met stikstofberekeningen. In Figuur 20 een voorbeeld op basis van data uit dit onderzoek.

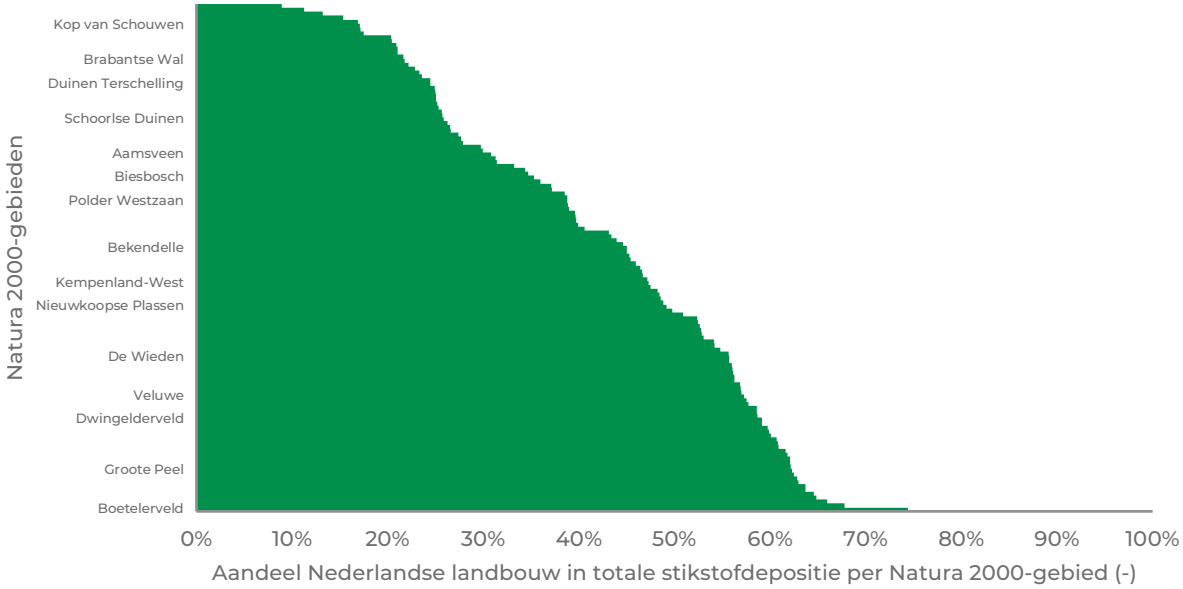


Figuur 20: Schematische weergave van het verschil tussen gebruik van het gemiddelde (μ) met standaarddeviatie (σ) links. Mediaan ($\tilde{x}$) en MAD rechts, in relatie tot een scheve verdeling in waarnemingen.

De range van MAD komt ongeveer (≈) overeen met 50% van het aantal waarnemingen (tussen 25- en 75 percentiel). Toepassen van een rekenkundig gemiddelde met 1σ (standaarddeviatie) geeft circa 68% van de range, maar zoals in Figuur 20 te zien is, levert dat een meer onevenwichtig gemiddelde op in relatie tot de niet-normaal verdeelde waarnemingen (Rousseeuw, 1984). In dit onderzoek zal dus voor de mediaan en MAD gebruikt worden om trends te duiden.

4.2. Stikstofdepositie vanuit Melkveebedrijven in een landelijke context

In het stikstofdossier wordt vaak gesproken over de grootte van de bijdrage vanuit de landbouw aan de totale stikstofdepositie in Nederland. Meestal duikt dan het percentage van zo'n 40 tot 45% op. Hier gaat het dan om de bijdrage van alle soorten professionele landbouwactiviteiten en bijbehorende emissie en depositie. In Figuur 21 is te zien hoe dat landelijk percentage varieert over de verschillende Natura 2000-gebieden. Waarbij de lagere percentages zichtbaar zijn voor gebieden aan de landsgrenzen of verder van (intensieve) veehouderij, en de hogere percentages voor gebieden die centraler in Nederland liggen of in de buurt van (intensieve) veehouderij.



Figuur 21: Bijdrage van de landbouw aan de totale stikstofbelasting in stikstof gevoelige Natura 2000-gebieden. Voor slechts enkele gebieden is het label toegevoegd op de y-as, vanwege de leesbaarheid. Bron: AERIUS Monitor 2025

Bij de landelijke monitoring wordt er niet specifiek naar de melkveehouderij als afgebakende sector gekeken, maar zijn emissies gecategoriseerd naar dieren.
In

Tabel 7 is op basis van de beschikbare informatie een zo goed mogelijk beeld gegeven van de stikstofdepositiebijdrage per diercategorie. De melkveehouderij zal in werkelijkheid een combinatie zijn van de bijdrage van melkvee en een substantieel deel van jong- en overig rundvee. Waardoor duidelijk wordt dat reduceren van ammoniakemissie in de melkveehouderij een wezenlijke bijdrage kan leveren aan het verlagen van de stikstofdepositie.

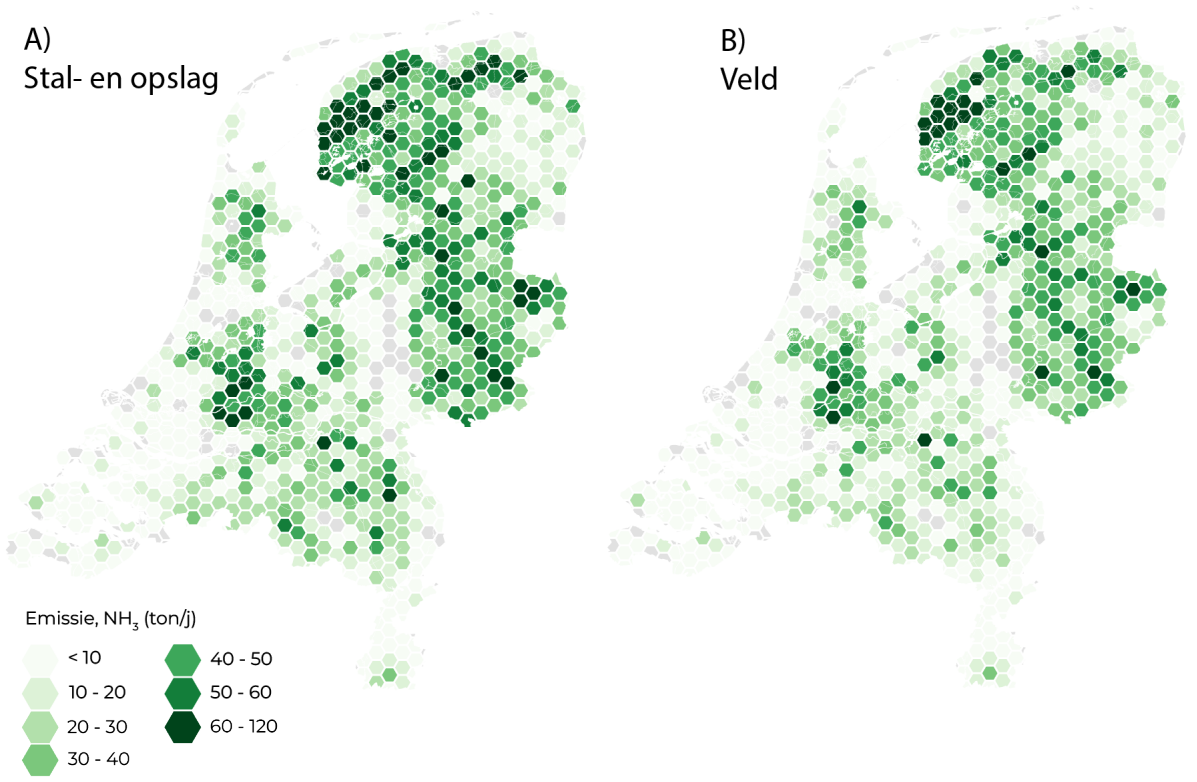
Tabel 7: Absolute en relatieve bijdrage stikstofdepositie van melkvee in relatie tot andere diercategorieën. Onder 'Overig vee' horen onder andere schapen, geiten, paarden, pony's en konijnen. Deze uitsplitsing is gemaakt door de sectorbijdrage stikstofdepositie voor rundvee uit AERIUS Monitor uit te splitsen op basis van emissies voor de verschillende diercategorieën. Voor een landelijk gemiddelde geeft dit een redelijk goede benadering. Bron: AERIUS Monitor 2025

Stikstofdepositie landelijk gemiddelde bijdrage in stikstof gevoelige Natura 2000-gebieden (kg N/ha/j)	**Stal en opslag**	**Veld (weiden en bemesten)**	**Aandeel in totaal (stal, opslag en veld)**
Melkvee	2.1	1.4	44%
Jong- en overig rundvee	0.9	0.6	18%
Pluimvee	1.2	0.2	16%
Varkens	1.1	0.3	17%
Overig vee	0.2	0.2	5%
	5.4	2.7	100%

4.2.1. Landelijk emissies

Als basis voor het bepalen van het effect van verlagen ruw eiwit op landelijk niveau is gekozen om aan te sluiten bij de methodiek van NEMA (National Emission Model for Agriculture) (Most, 2025). Om de emissie cijfers vergelijkbaar te houden met de uitgangspunten van andere studies (hoofdstuk 6) en beschikbare cijfers uit AERIUS Monitor is gekozen om het jaar 2021 aan te houden. Dat ligt ook dicht genoeg bij de informatie uit de kringloopwijzers van de pilotbedrijven die emissies uit 2020 bevatten.

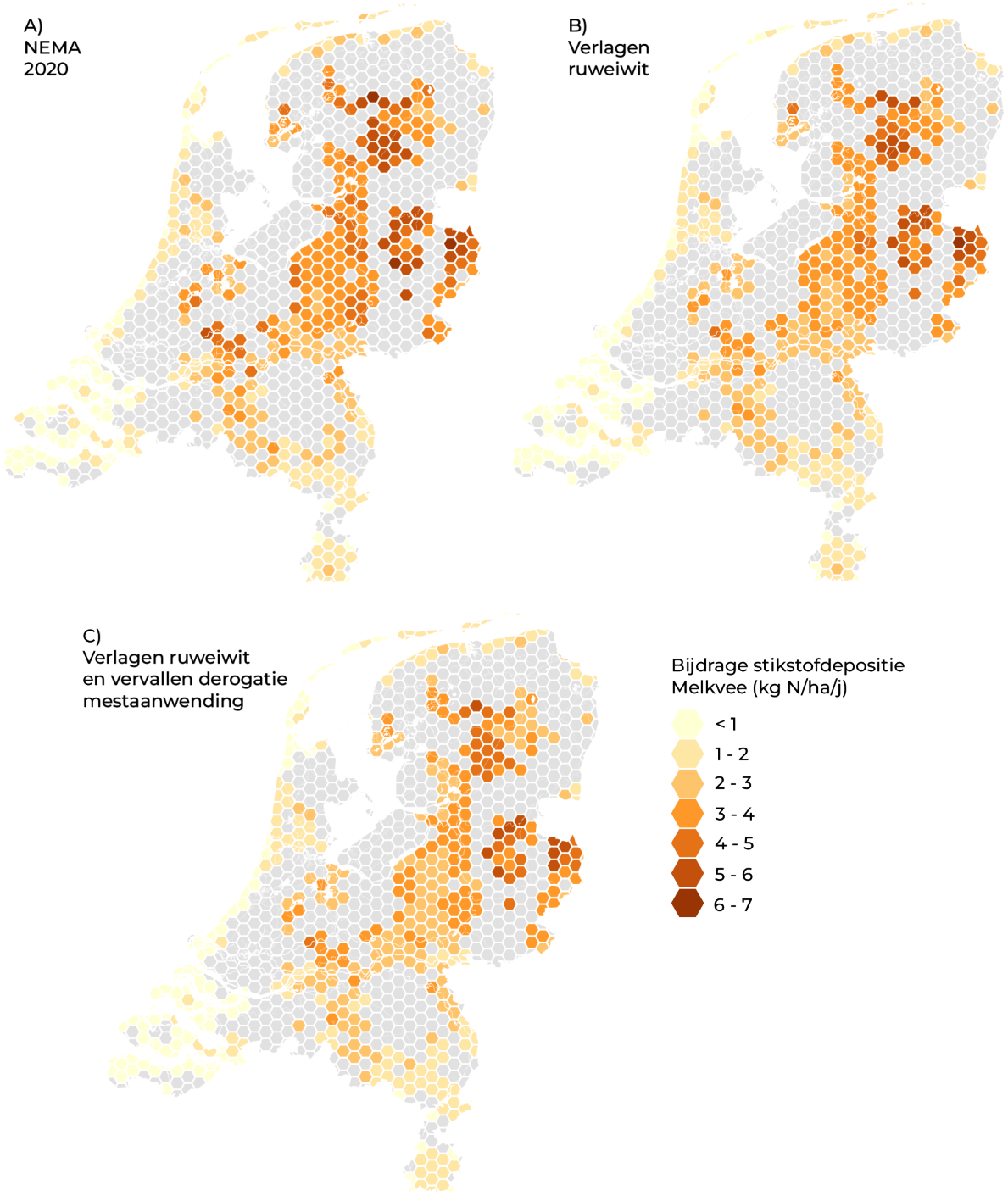
In Figuur 22 is de ruimtelijk spreiding van de NEMA emissies voor stal- en opslag als ook de veldemissies voor melkvee weergegeven. Duidelijk te herkennen zijn de grotere regio's als het Groene Hart, Friesland, Overijssel en Gelderland waar veel melkveehouderijen gevestigd zijn.



Figuur 22: Landelijke melkvee emissies 2021 volgens NEMA (van der Most et al., 2025). Bron: WEnR, 2025

4.2.2. Landelijke deposities

De landelijke emissies zijn in Figuur 23A vertaald in een stikstofdepositiebijdrage op basis van de NEMA-emissies van 2020 (Most, 2025). In (B) en (C) is de bijdrage weergegeven voor de variant voor verlagen ruw eiwit (A, Figuur 23B) en de combinatie variant (C, Figuur 23C). De legenda is bewust ingedeeld in kilogrammen stikstof, omdat die eenheid ook wordt gebruikt bij het bepalen van impact van stikstofdepositie op stikstofgevoelige habitattypen. Verschillen kleiner dan een kilo stikstof hebben vaak geen waarneembare effecten in de praktijk. De kaarten in Figuur 23 zijn voor de volledigheid opgenomen, maar zijn voor de analyse verder niet gebruikt. Een analyse van de afname in stikstofdepositie als gevolg van de onderzochte varianten is weergegeven in Figuur 28.

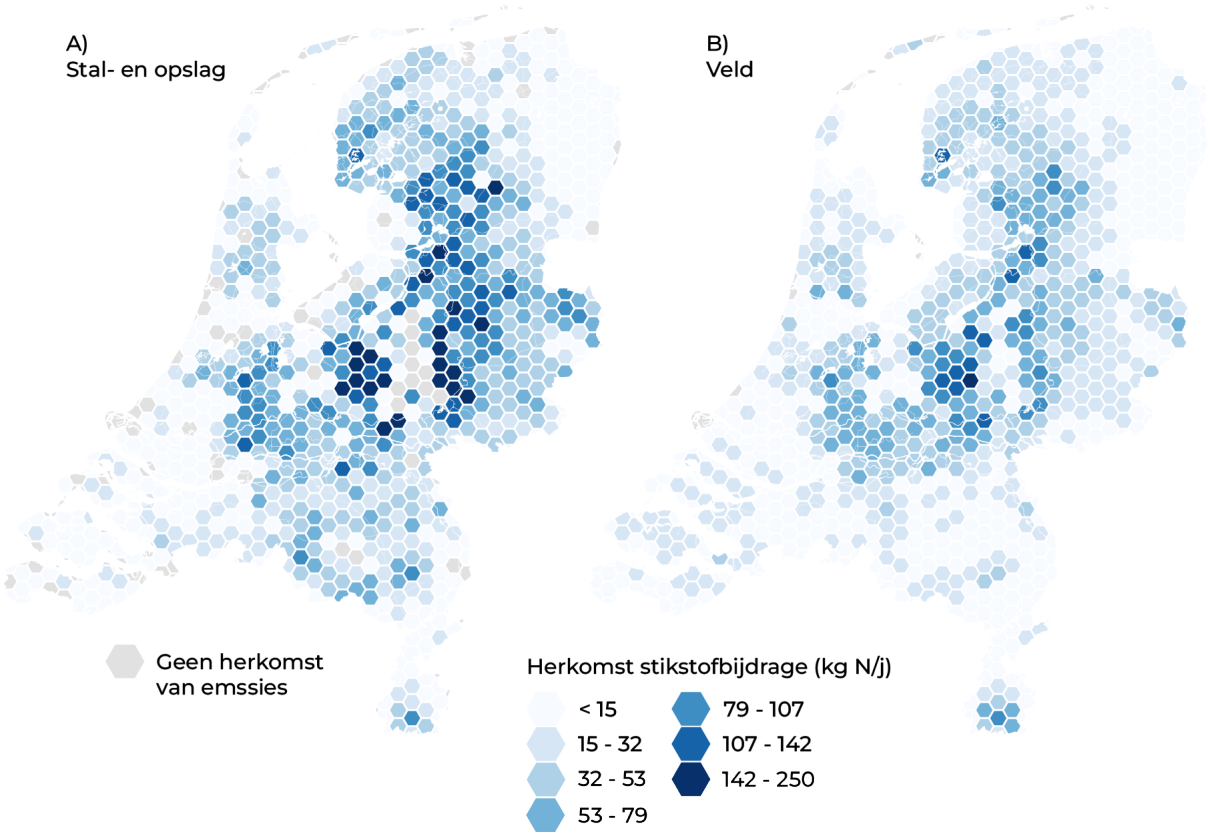


Figuur 23: Landelijke depositiebijdrage melkveehouderij, volgens NEMA 2021 (Figuur 22, van der Most, 2025)

4.2.3. Herkomst

Om een goed beeld te kunnen vormen over de impact van een landelijke toepassing en welke factoren daarbij belangrijk zijn (paragraaf 3.2), is in Figuur 24 voor zowel de stal- en opslag als de veldemissies weergegeven hoeveel impact deze hebben op de stikstofgevoelige natuur in Nederland. Hiervoor is berekend hoeveel stikstofdepositie, als gevolg van de stal- opslag en veldemissies (ammoniak) van melkveebedrijven in de hexagoon, neerslaat over heel Nederland.

De depositiebijdrage zoals die in de legenda is weergegeven is dus de som van alle veroorzaakte stikstofdepositie op stikstof gevoelige natuur in Nederland die uit dat hexagoon voortkomt.



Figuur 24: Bijdrage aan stikstofdepositie op stikstofgevoelige natuur in Nederland, volgens NEMA 2021 (Figuur 22, van de Most, 2025)

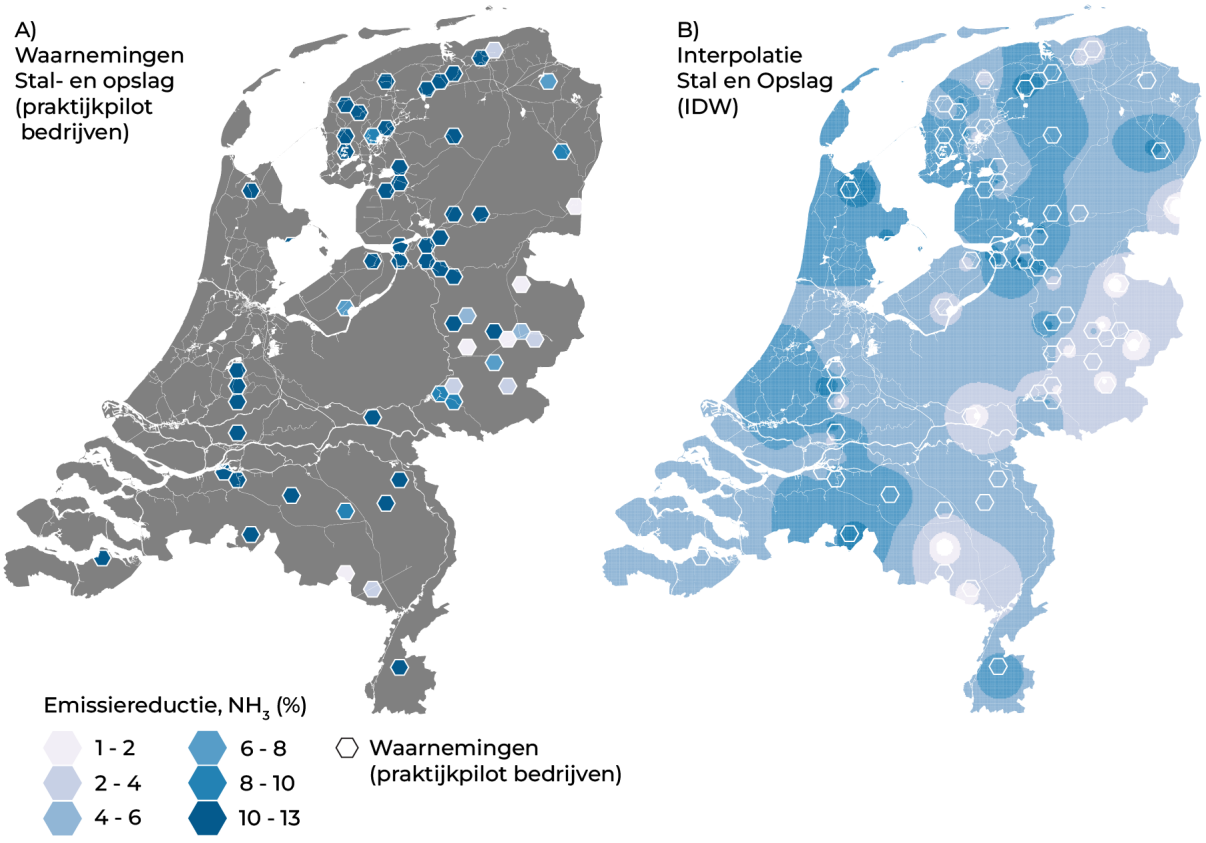
In Figuur 24 zien we herkenbare patronen terug die ook in Figuur 16 beschreven zijn. Emissies dichtbij Natura 2000-gebieden zorgen ook voor een hoge stikstofbijdrage. Toch springen ook de regio's Friesland, kop van Overijssel en Twente eruit. Deze regio's hebben lokaal wel Natura 2000-gebieden, maar ondanks de overwegend zuidwestelijke wind in Nederland dragen ze toch nog vergelijkbaar bij als sommige bron-hexagonen rondom de Veluwe. Het Groene hart valt ook op, maar heeft ook een wat centrale ligging in Nederland. Voor Noord-Holland speelt duidelijk de gemiddeld grotere afstand tot de stikstof gevoelige natuur mee en de overheersende windrichting, waardoor in verhouding een kleiner deel van de stikstofdepositie als gevolg van de ammoniakemissies in Nederlandse natuur neerkomt.
In Tabel 8 is de informatie uit Figuur 24 per provincie in tabel vorm weergegeven. Hieruit blijkt dat zonder uitzondering melkvee-emissies uit de eigen provincie ook de grootste impact hebben in de eigen provincie (alleen voor Flevoland geldt dat niet omdat daar geen voor stikstof gevoelige natuur voorkomt).

Tabel 8: Herkomst stikstofdepositie per provincie. Flevoland heeft geen stikstofgevoelige natuur en heeft daarom alleen een bijdrage aan andere provincies. De herkomst is horizontaal af te lezen en tellen de percentages op tot 100%. In de verticaal is Met de drie blauwe kleuren is aangegeven welke provincie het meeste bijdraagt aan de stikstofdepositie in die provincie. Zonder uitzondering staat op de eerste plaats (donkerblauw) de eigen provincie.

	GR	FR	DR	OV	FL	GL	UT	NH	ZH	ZL	NB	LI
Groningen (GR)	**42%**	**34%**	**7%**	6%	1%	3%	1%	3%	1%	<1%	1%	<1%
Friesland (FR)	4%	**68%**	**5%**	**8%**	2%	2%	1%	5%	1%	<1%	1%	<1%
Drenthe (DR)	4%	**23%**	**38%**	**21%**	3%	5%	1%	2%	1%	<1%	1%	<1%
Overijssel (OV)	1%	**8%**	4%	**62%**	4%	**14%**	2%	2%	1%	<1%	2%	<1%
Flevoland (FL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelderland (GL)	1%	4%	2%	**13%**	5%	**47%**	9%	3%	4%	1%	**11%**	1%
Utrecht (UT)	<1%	2%	<1%	2%	1%	**13%**	**50%**	3%	**19%**	1%	9%	<1%
Noord-Holland (NH)	1%	8%	1%	4%	2%	4%	**15%**	**46%**	**13%**	1%	4%	<1%
Zuid-Holland (ZH)	1%	3%	1%	3%	1%	6%	**13%**	5%	**45%**	9%	**12%**	<1%
Zeeland (ZL)	1%	2%	1%	2%	1%	4%	3%	2%	**9%**	**64%**	**11%**	1%
Noord-Brabant (NB)	<1%	1%	1%	2%	1%	**7%**	3%	1%	5%	5%	**70%**	**5%**
Limburg (LI)	<1%	2%	1%	3%	1%	**7%**	2%	1%	2%	1%	**25%**	**56%**

4.3. Opschalen effect van verlagen ruw eiwit naar landelijke toepassing

Om tot een inschatting te komen van een emissiereductie op landelijk niveau, is naast de landelijke melkvee-emissie (paragraaf 4.2) ook een vertaling noodzakelijk van de berekende reducties van de pilotbedrijven tot een inschatting voor alle melkveebedrijven in Nederland. Hoewel er 81 bedrijven hebben meegedaan aan dit onderzoek, is dat te weinig om met een eenvoudige methodiek die resultaten te interpoleren naar een geschat effect voor omliggende bedrijven. In Figuur 25A is weergegeven welke reductie percentages voor stal- en opslagemissies zijn berekend. Figuur 25B geeft het resultaat van een veel toegepaste interpolatie methode, Inverse Distance Weighting (IDW). Er tekent zich duidelijk een patroon af, waarbij het reductiepercentage op het bedrijf in de praktijkpilot representatief wordt voor de omliggende bedrijven. Vanuit de praktijkkennis is en de resultaten vanuit de deelnemers aan de praktijkpilot weten we dat er wel degelijk aanzienlijke verschillen kunnen zitten tussen bedrijven op korte afstand van elkaar. Dit is onder andere te zien aan de oostkant van de Veluwe in Figuur 25A.



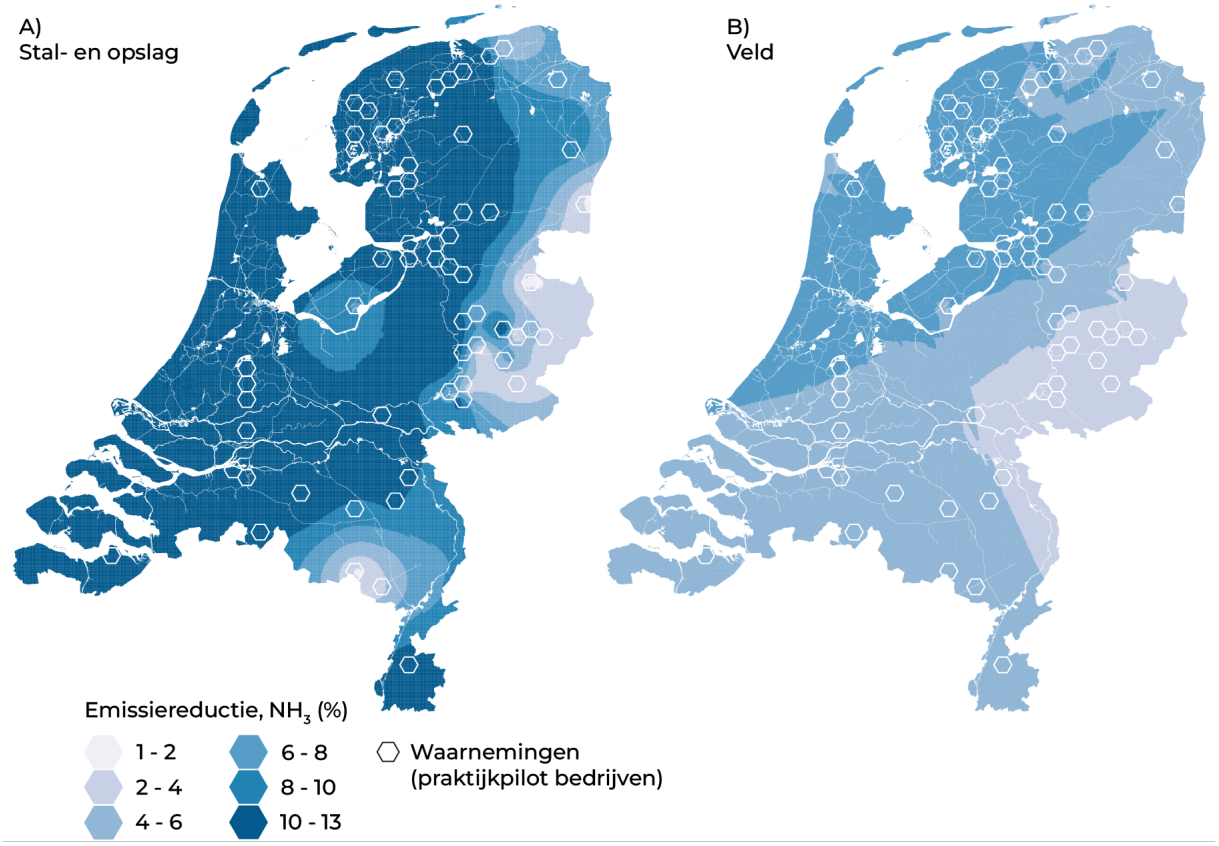
Figuur 25: Interpoleren van de waarnemingen op de pilotbedrijven naar een landelijk beeld

Om te komen tot een betere inschatting van het effect op alle melkveebedrijven in Nederland zullen we dus een interpolatie methode moeten gebruiken waarbij deze ruimtelijke patronen een rol kunnen spelen, Ordinary Kriging (paragraaf 4.1.2). Bij het toepassen van Ordinary Kriging zijn nog een aantal keuzes te maken, zoals bijvoorbeeld op welke wijze een fit in het variogram wordt gemaakt. Gegeven de structuur van de data is er uiteindelijk voor verschillende fit gekozen voor stal- en opslag en veldemissies (Tabel 9). Er zijn verschillende opties uitgeprobeerd en met

de beperkte ruimtelijke correlatie die er is, wordt zo het maximale uit de beschikbare data gehaald bij het interpoleren naar een landelijk reductiepotentieel (Figuur 26).

Tabel 9: Toegepaste fit voor het inschatten van de emissiereductie op melkveebedrijven in Nederland

Predicted Value	Moran Index	p-waarde	Voorbeeld	Fit	R^2
Stal- en opslag emissie	0.34	< 0.01		Exponentieel	0.69
Veld emissie	0.24	0.01		Gaussian	0.65



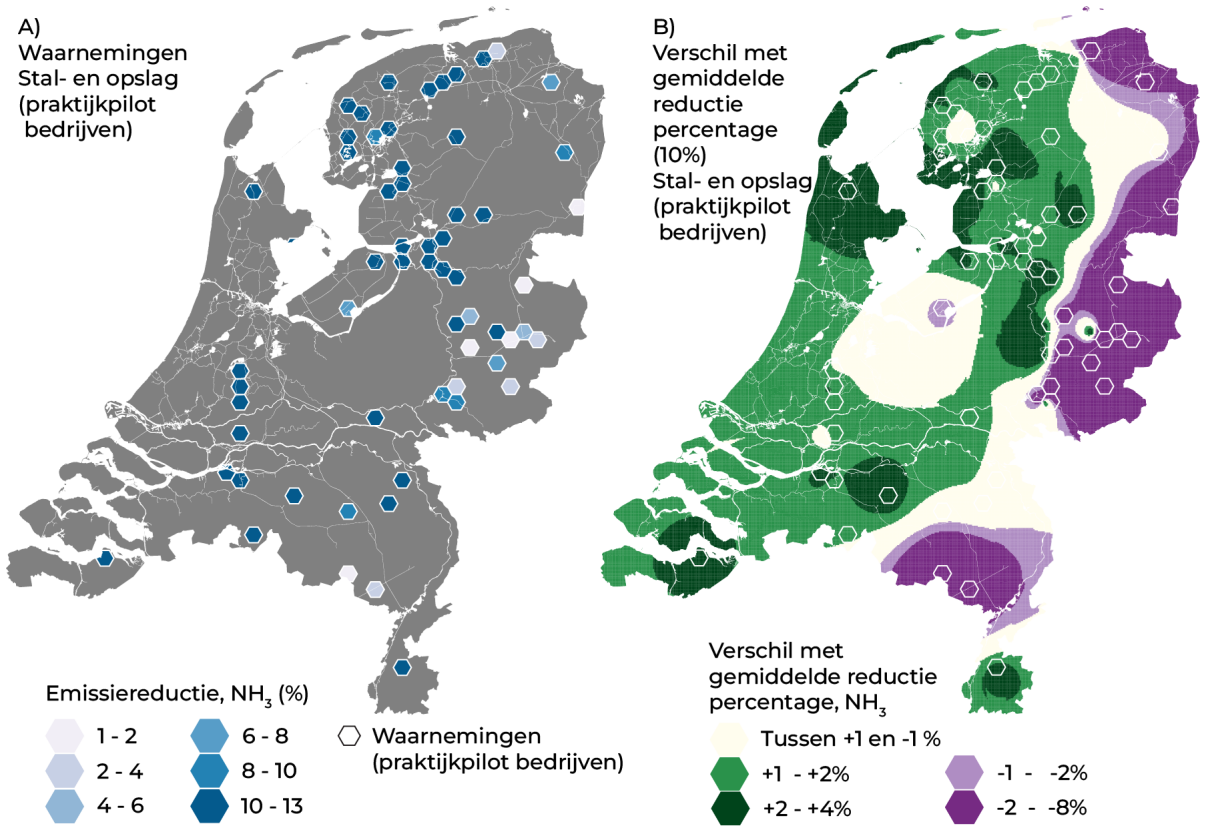
Figuur 26: Resultaat van toepassen Ordinary Kriging voor het inschatten van de emissiereductie op melkveebedrijven in Nederland bij het verlagen van het ruw eiwit in veevoer.

Door een complexere vorm van Ordinary Kriging toe te passen, Co-Kriging, bestaat de mogelijkheid om naast de gewenste variabele ook verschillende co- (ondersteunende) variabele(n) mee te geven. In het geval dat er bijvoorbeeld weinig (ruimtelijke) spreiding in de waarnemingen zit of het aantal laag is, kan het meenemen van co-variabelen de kwaliteit van de interpolatie verhogen. Aangezien er in de emissiereductie zelf wel ruimtelijke correlatie is, maar niet heel sterk (Tabel 9, Moran Index) is er onderzocht welke variabele de interpolatie zou kunnen versterken. In Tabel 10 zijn de mogelijke co-variabelen opgenomen. Aangezien geen enkele co-variabele echter een hogere Moran Index heeft als de variabelen in Tabel 9 en in sommige gevallen zelfs geen enkele ruimtelijke correlatie laat zien, is gewoon Ordinary Kriging toegepast.

Tabel 10: Onderzochte co variabelen voor Ordinary Kriging (Co-Kriging)

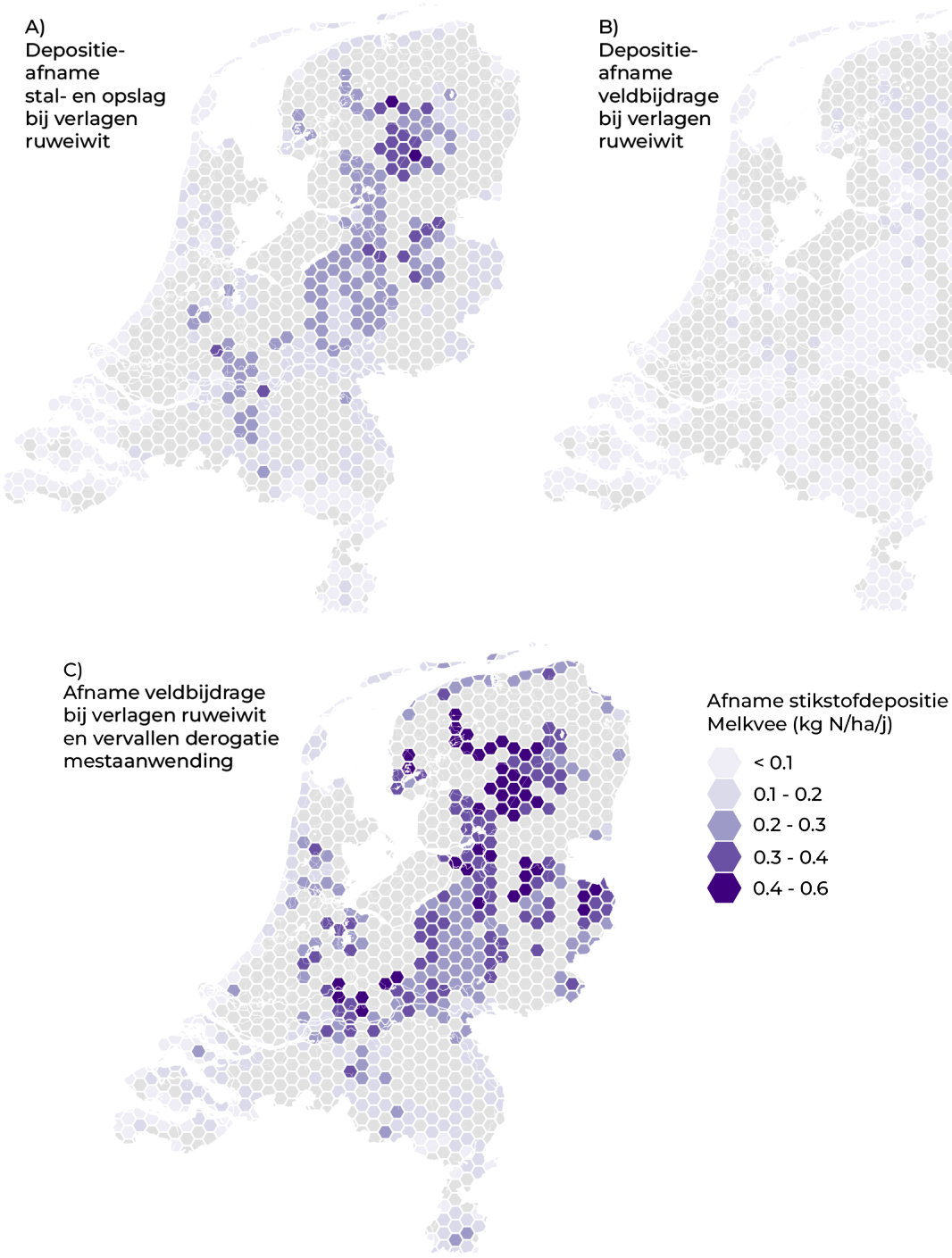
Co-variabele	Moran Index	p-waarde	Voorbeeld
Behaalde reductie van gebruik RE	0.27	< 0.01	
Gebruik RE in referentie situatie	0.25	< 0.01	
Grondsoort	0.18	< 0.01	
Behaalde emissiereductie	0.18	< 0.01	
Bedrijfsemissie in referentie situatie	0.04	0.53	
Bedrijfsomvang (GVE)	-0.01	0.44	

Uit Figuur 26 lijkt er een oost-west gradiënt te zijn, die ook voorzichtig uit de waarnemingen uit Figuur 25 gehaald zou kunnen worden. Om dat te toetsen is de interpolatie ook uitgevoerd met Support Vector Machine Learning (SVM). Dit is een supervised algoritme wat geoptimaliseerd is in het bepalen van de hyperplane (hypervlak) om ruimtelijke data in klassen te onderscheiden. Het resultaat van SVM bevestigt de gemodelleerde gradiënt die ook uit de Ordinary Kriging interpolatie komt. Aangezien de ingeschatte reductie percentages in die gradiënt, noch uit de Ordinary Kriging veel van elkaar lijken te verschillen, is in Figuur 27 weergegeven wat het extra inzicht van deze methoden biedt ten opzichte van het hanteren van simpelweg een landelijk gemiddelde.



Figuur 27: Toegevoegde waarde van toepassen Ordinary Kriging, in vergelijk met het toekennen van een gemiddeld effect voor heel Nederland

In andere studies wordt bij gebrek aan pilot informatie zoals dit onderzoek oplevert het gemiddelde effect ‘uitgesmeerd’ over Nederland. Figuur 27 laat duidelijk zien, dat wellicht de totale opbrengst van een maatregel dan wel gemiddeld hetzelfde kan zijn, maar dat het regionaal en lokaal wel degelijk uit kan maken wanneer een methode als Ordinary Kriging wordt gebruikt om de emissiereductie ruimtelijk te verdelen wanneer die informatie beschikbaar is. Figuur 27A bevat dezelfde informatie als Figuur 25A en is hier opnieuw opgenomen om eenvoudiger het verschil met Figuur 27B te laten zien. In de groene gebieden is de verwachte emissiereductie hoger dan in de paarse gebieden en dat komt overeen met het patroon van de waarnemingen. Voor de verdere analyse is dus gebruik gemaakt van de emissiereductiekaarten die gemaakt zijn met Ordinary Kriging.
Het resultaat van het berekenen van een landelijke toepassing van het verlagen van ruw eiwit is weergegeven in Figuur 28. Waarbij het effect uitgesplitst is voor stal- en opslag (Figuur 28A) en veldemissies (Figuur 28B). In paragraaf 2.4.3 werd al duidelijk dat de stal- en opslag emissiereductie bij het merendeel van de bedrijven groter was dan de reductie van veldemissies. Ook blijkt uit de landelijke emissie cijfers (paragraaf 4.2) dat de stal- en opslagemissies iets groter zijn dan de veldemissies. Gecombineerd met het verschil in verspreiding tussen de stal- en opslag en veldbronnen (laag bij de grond en seizoen gebonden) zorgt ervoor dat in absolute zin de reductie van stal- en opslag een groter effect heeft dan de reductie van veldemissies.



Figuur 28: Berekende depositie afname bij het landelijk verlagen inname van ruw eiwit, op basis van resultaten van de pilotbedrijven

5. Wisselwerking tussen impact op emissie en depositie

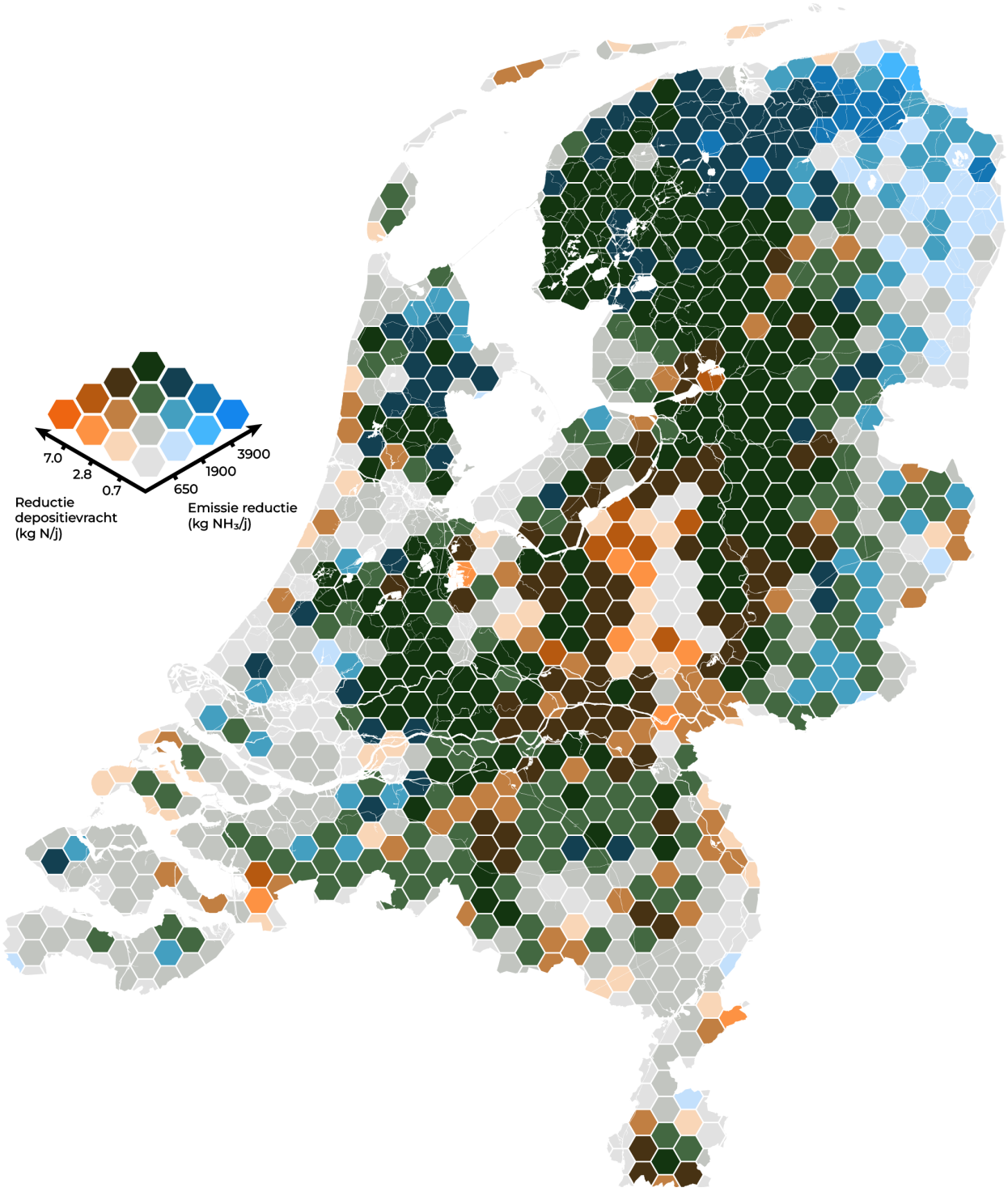
Voor dit rapport is een 2D legenda ontwikkeld, waarin op kaart weergegeven is op welke wijze emissiereductie, zoals het verlagen van ruw eiwit, bijdraagt aan het verder verlagen van de stikstofdepositie in Nederland.

Of een emissie- en depositiereductie maatregel effectief is, hangt in het stikstofdossier altijd sterk samen met het doel van een maatregel, maatschappelijke impact en uitvoeringskosten. Maar of de mate waarin de emissiereductie die een bedrijf behaalt, zich vertaalt naar depositiereductie hangt sterk samen met de ligging van het bedrijf in Nederland en nabijheid van stikstofgevoelige natuur (paragraaf 3.2). Met de kaarten in dit hoofdstuk is geprobeerd dat in perspectief te plaatsen. Dus waar heeft de maatregel vooral impact op verlagen van de emissies en draagt dat bij aan het verlagen van de 'stikstofdeken' of waar resulteert de maatregel vooral in het verlagen van de lokale depositie op natuur.
De legenda (Figuur 29) bestaat uit twee assen. Aan de rechterzijde de emissiereductie in de gridcel en aan de linkerzijde de depositiereductie, als de som over heel Nederland als gevolg van de emissiereductie.



Figuur 29: Toelichting multidimensionale legenda

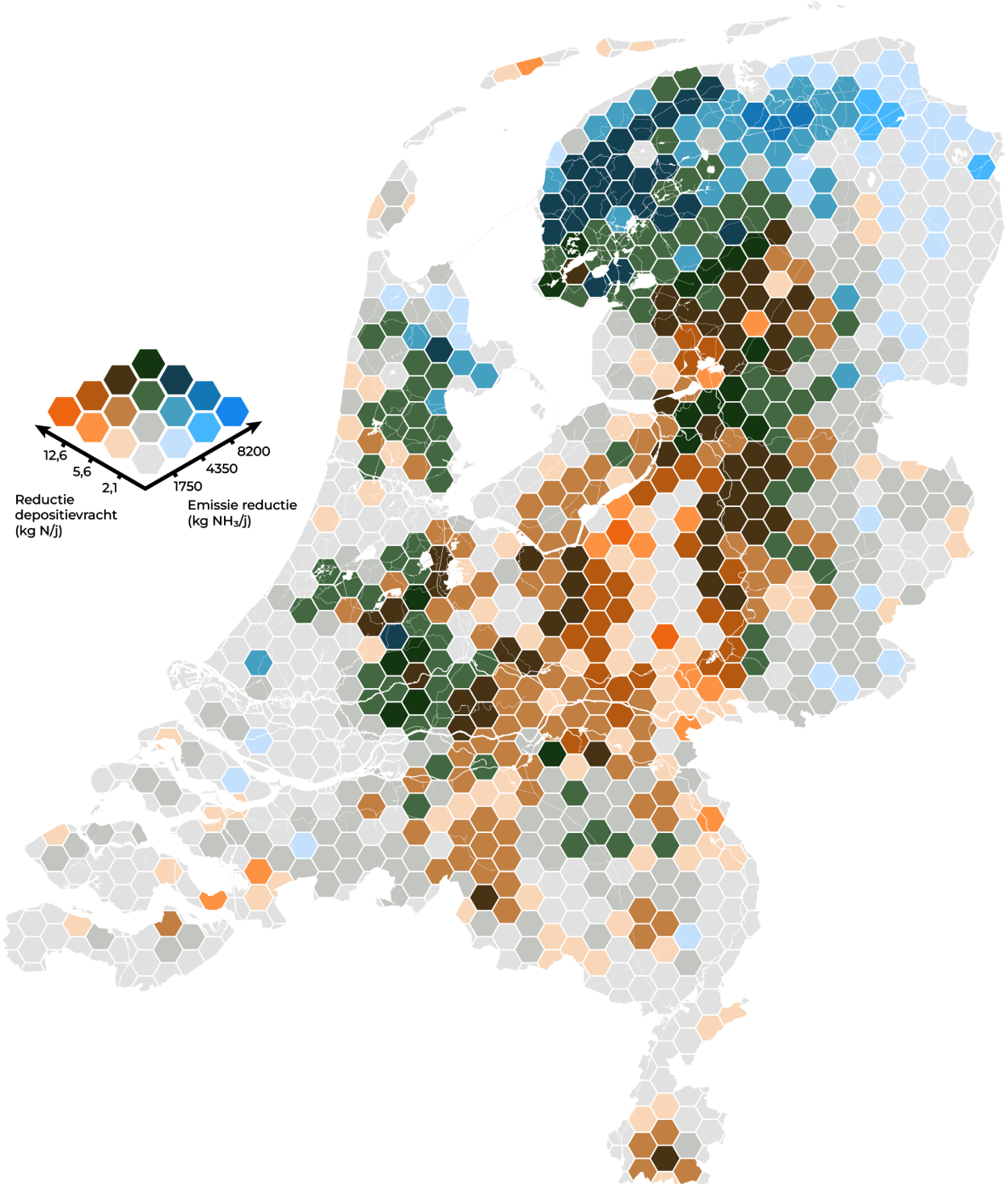
Wanneer de emissiereductie dominant is, heeft de legenda blauw tinten. Wanneer de depositiereductie dominant is, heeft de legenda oranje tinten. Wanneer de emissie en depositiereductie met elkaar in verhouding zijn, gaat de legenda over in een groene tint. De legendaklassen zijn samengesteld op de verdeling (percentielen) die voor de emissie- en depositiereductie berekend zijn. Dit maakt het mogelijk om conclusies te trekken over de wijze waarom de emissiereductie in een gridcel bijdraagt aan het verlagen van de stikstof overbelasting in Natura 2000-gebieden.
Wanneer oranje tinten zichtbaar zijn, kan in die gridcel met in verhouding weinig emissiereductie een substantiële vaak lokale depositiereductie worden behaald.
Is de kleur overwegend blauw, dan kan in de gridcel een substantiële emissiereductie worden behaald, die vooral bijdraagt aan het verlagen van de achtergronddepositie, soms ook wel de stikstofdeken genoemd. Bij groene tinten is er in ieder geval sprake van een emissiereductie die in verhouding ook in een evenredige depositiereductie resulteert.



Figuur 30: Variant A (verlagen ruw eiwit)

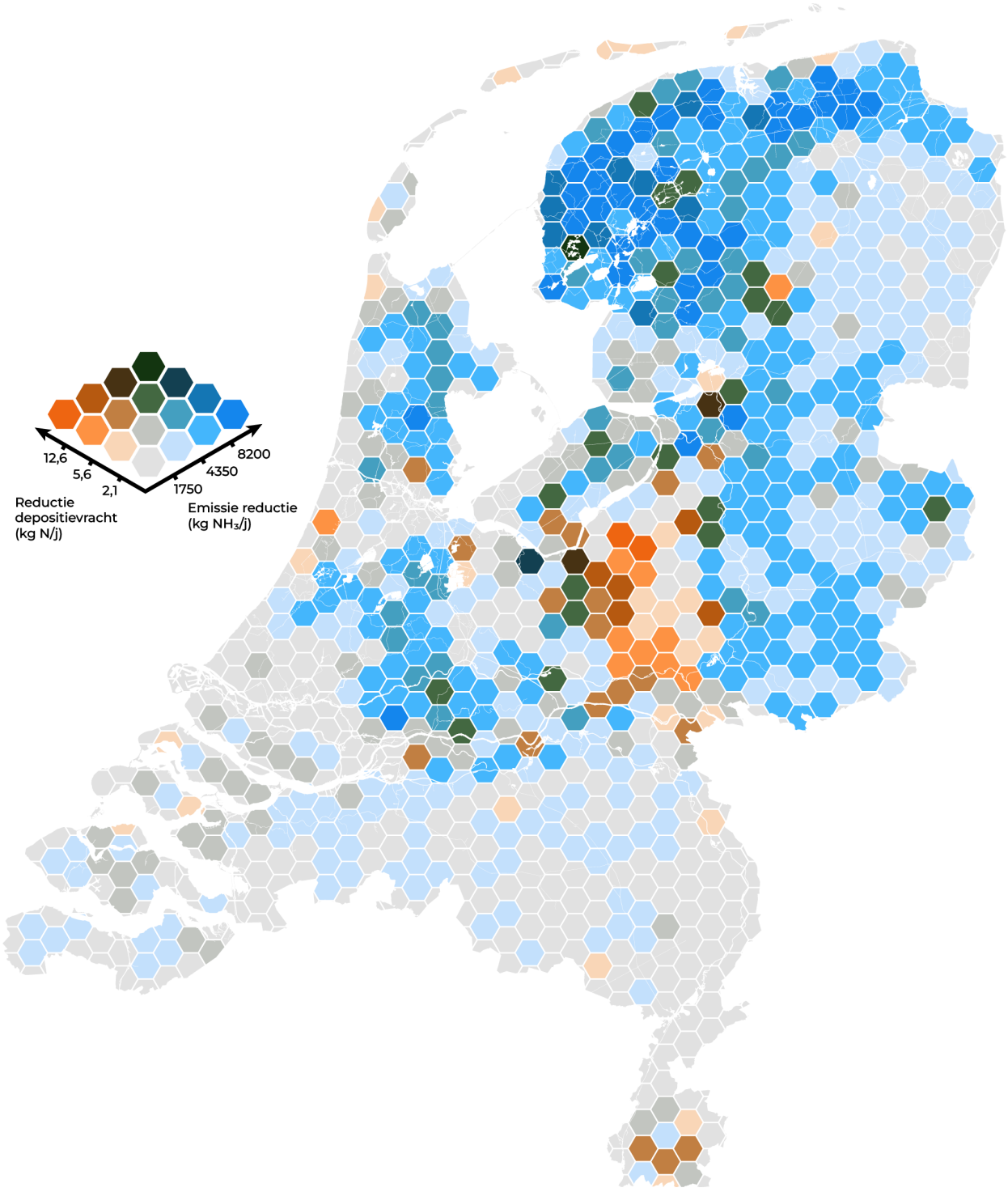
In Figuur 30 is de weergave van Variant A (verlagen ruw eiwit) gebaseerd op de statistiek van Variant A. Overall ontstaat een herkenbaar beeld, waarbij rondom een aantal Natura 2000-gebieden oranje kleuren zichtbaar zijn waar met een piekbelaster met weinig emissiereductie veel depositiereductie gerealiseerd kan worden. In gebieden met veel melkvee emissie die tussen Natura 2000-gebieden liggen overheerst het groen. Waarbij dus een balans is tussen de daling van emissies en depositie in Nederland. De blauwe zones liggen vooral in die delen van het land, waarbij de afstand tot stikstofgevoelige natuur wat groter is (Zeeland en Kop van Noord-

Holland) of (noord) oostgrens van Nederland. In dat laatste geval zorgt de overwegende zuidwestenwind in Nederland voor verspreiding naar het buitenland en minder binnen de eigen grenzen in verhouding tot bedrijven die meer centraal gelegen zijn.



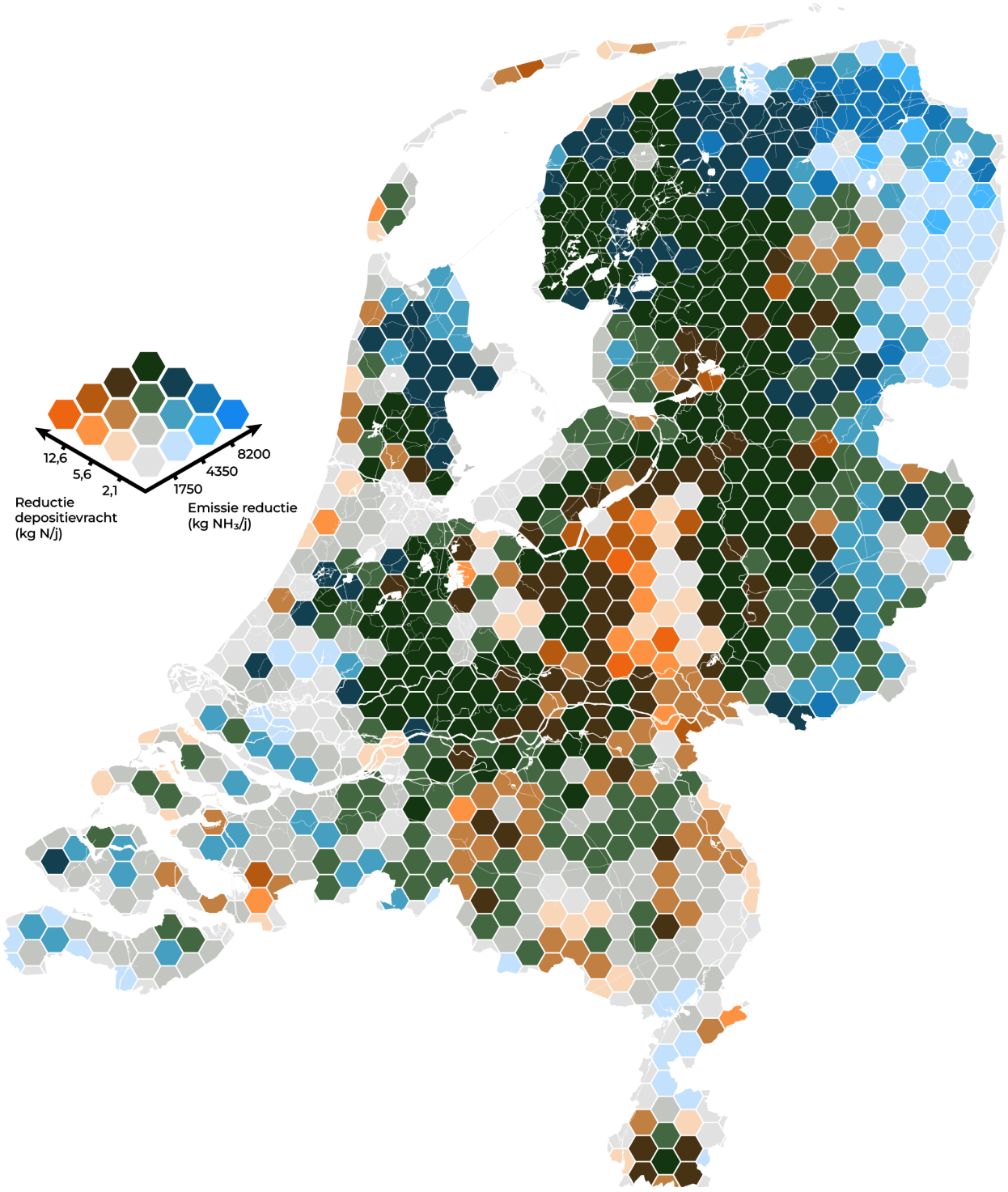
Figuur 31: Variant A (verlagen RE) met percentielen van combinatie

Figuur 31 bevat dezelfde resultaten (Variant A), alleen zijn de legenda kleuren nu aangepast op de resultaten van Variant C (Figuur 33). Hiermee zijn Figuur 31 t/m Figuur 33 dus onderling vergelijkbaar. Conclusie is dat met het verlagen van ruw eiwit, gegeven de vele oranje tinten, met relatief weinig emissiereductie toch een aanzienlijke depositiereductie weet te halen.



Figuur 32: Variant B (vervallen van derogatie) met percentielen van combinatie

Belangrijke kanttekening bij Figuur 32: het effect van het vervallen van derogatie voor dierlijke mestaanwending is hier alleen berekend voor het betreffende melkveebedrijf en niet op andere bedrijven waar mest afzet plaatsvindt.



Figuur 33: Variant C (combinatie van verlagen ruw eiwit en het vervallen van derogatie)

In Figuur 33 is het resultaat van de combinatie van vervallen van derogatie en verlagen van ruw eiwit weer. Dit resultaat is vooral als referentie opgenomen, maar speelt zelf geen rol in de analyse of conclusies over het effect van verlagen van ruw eiwit als reductie maatregel. Met de combinatie is vooral gekeken in welke mate het effect van verlagen van ruw eiwit zou worden beïnvloed door het vervallen van derogatie.

6. Vergelijk met andere studies naar maatregelen voor ammoniakreductie

In dit hoofdstuk wordt het landelijk potentieel van het verlagen van ruw eiwit vergeleken met andere beleidsmaatregelen voor het verlagen van stikstofdepositie.

Er zijn in de afgelopen jaren meerdere studies gedaan naar de impact van landbouwmaatregelen op de ammoniakemissie en depositie in Nederland. Veel studies baseren zich daarbij op de informatie die via de gecombineerde opgave jaarlijks wordt doorgegeven in combinatie met gemiddelde emissiefactoren en de NEMA methodiek. In de praktijkpilot is de basis de kringloopwijzer die aansluit op het individuele bedrijfsmanagement en nutriënten benutting. Vanuit die praktijkinformatie is er een inschatting gemaakt van de landelijke opbrengst van een dergelijke maatregel. In Tabel 11 is de landelijke emissiereductie zoals die ingeschat is op basis van het onderzoek voor dit rapport vergeleken met twee andere recente publicaties over deze maatregel. Op het landelijk totaal komen de schattingen sterk overeen. Alleen de inschatting van het CDM (Commissie Deskundige Meststoffenwet) rapport ligt voor veldemissies hoger omdat er toen nog geen rekening was gehouden met het vervallen van derogatie. In de laatste twee kolommen, waarbij dat wel het uitgangspunt is, komen zowel stal- en opslag als veldemissies goed overeen.

Tabel 11: Vergelijk van de inschatting van landelijke emissiereductie met eerdere onderzoeken voor verlagen ruw eiwit

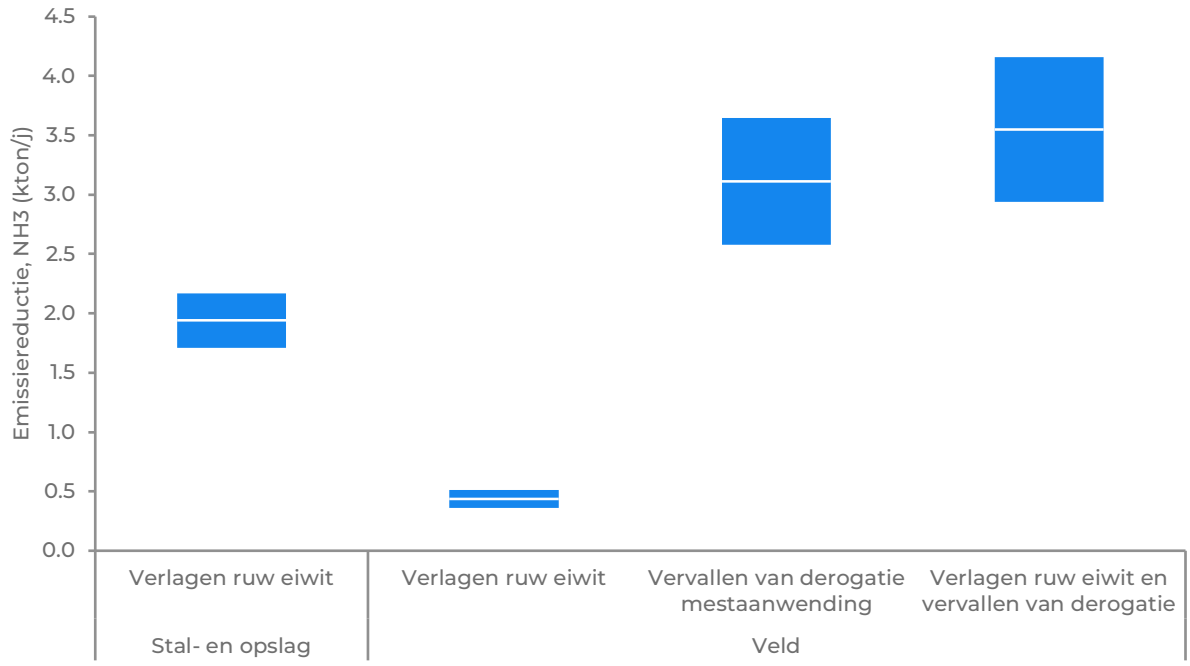
NH_3 emissie (kton/j)	Koe en Eiwit (Kringloopwijzer 2020) met derogatie	CDM (2021) met derogatie	Koe en Eiwit (Kringloopwijzer 2020) vervallen derogatie	Gies et al. (2023) Zonder derogatie
Stal en opslag	1.9	1.8	1.9	1.6
Veldemissie	0.8	1.7	0.4	0.3
Totaal	2.7	3.5	2.3	1.9

In Tabel 12 is een inschatting gemaakt van de gevoeligheid van de analyse door een statistische analyse (MAD, mediane absolute deviatie) te maken van alle waarnemingen. De MAD komt overeen met 1σ van een normaalverdeling. De spreiding van de MAD ligt tussen de 12 en 17% van de mediane waarde en daarmee lijkt de geschatte emissiereductie dus redelijk robuust.

Tabel 12: Gevoeligheden. Bij veldemissies ruw eiwit is de emissiereductie weergegeven die hoort bij de situatie dat ook het recht op derogatie is vervallen, anders zou de emissiereductie iets hoger zijn uitkomen.

Reductie NH_3 emissie (kton/j)	MAD ondergrens	Mediaan	MAD bovengrens
Stal en opslag bij verlagen ruw eiwit	1.7	1.9	2.8
Veldemissies bij verlagen ruw eiwit	0.4	0.4	0.5
Veldemissies bij verlagen ruw eiwit en vervallen van derogatie	2.9	3.6	4.2

In Figuur 34 is de data uit Tabel 12 in grafiekvorm weergegeven. Dit rapport bevat geen uitspraken over het op zichzelf staande effect van het vervallen van derogatie, omdat die inschatting is mee geïnterpoleerd vanuit de praktijkbedrijven. In werkelijkheid zal dat effect anders uitpakken op bedrijfsniveau voor andere bedrijven.



Figuur 34: Gevoeligheid van de berekende emissiereductie binnen de praktijk pilot. Het vervallen van derogatie heeft geen impact op de stalemissies en heeft daarom dezelfde omvang

In Tabel 13 is het resultaat uit dit onderzoek vergeleken met inschattingen van effecten van andere maatregelen, die inmiddels in uitvoering zijn. Op de laatste regel, Koe + Eiwit (KE), de resultaten weergegeven uit dit onderzoeksrapport. Het is nadrukkelijk niet de bedoeling om met het vergelijk de suggestie te wekken dat er een keuze tussen maatregelen gemaakt moet worden. Er zal altijd een combinatie van maatregelen nodig zijn om de doelstellingen te halen.

Tabel 13: Andere onderzochte stikstofmaatregelen (Reinds, 2024)

Code	Maatregel	Verwachte emissiereductie NH_3 in Nederland tot 2030 (kton/j)	Verwachte depositiereductie tot 2030, gemiddelde over Nederland (kg N/j/ha)
Srv	Saneringsregeling varkenshouderijen	0.8	<0.1
MGA1	Maatregel gerichte aankoop	0.2	<0.1
MGAB	Maatregel gerichte aankoop en beëindiging veehouderijen nabij natuurgebieden	0.8	0.1
Lbv	Landelijke beëindigingsregeling veehouderijlocaties	1.1	0.1
Lbv-plus	Landelijke beëindigingsregeling veehouderijlocaties met piekbelasting	1.3 – 1.9	0.4 – 0.5
KE	Verlaging ruw eiwitgehalte in veevoer	2.2 – 2.8	0.1 – 0.4

Bij het vergelijk op depositie dient met de volgende kanttekeningen rekening gehouden te worden. Voor de praktijkproef is gebruik gemaakt van de nieuwste versie van het OPS-model met een recentere reeks aan meerjarige meteorologie, geactualiseerde landgebruiks- en concentratiekaarten (RIVM, 2025). Inmiddels zijn ook bijvoorbeeld de NEMA emissies lager dan die gebruikt zijn voor het berekenen van de impact van de Lbv en Lbv plus regeling (Marra, 2025). Ook verschillen methodes en aannames. De verschillen in de berekende deposities uit het rapport Voortgang Stikstofbronmaatregelen en verwachte effecten in 2030 (Reins, 2024) zijn daardoor met enige voorzichtigheid te vergelijken.
Lokaal kunnen er aanzienlijke afwijkingen zijn door de eerdergenoemde verschillen, maar in het landelijke gemiddelde zoals gepresenteerd in Tabel 13 zou dit niet tot een onvergelijkbare situatie moeten leiden.
De grotere bandbreedte bij de verwachte depositiereductie voor KE is niet het gevolg van onzekerheid over het effect van verlagen van ruw eiwit, maar vooral het vervolg van het toepassen van de realistische praktijkinvoer (KringloopWijzer) van de pilotbedrijven, waardoor er meer spreiding is in bedrijfsemissies dan wanneer gebruik wordt gemaakt van generieke emissiefactoren (paragraaf 2.4.1).
Wat vooral opvalt is dat de resultaten van de praktijkproef dezelfde orde grootte hebben als de Lbv(-plus) regelingen en dat is opvallend aangezien deze regelingen zich specifiek richten op piekbelasters. Dat zou betekenen dat het uitkopen van zo'n 360 piekbelasters (Marra, 2025) met de Lbv-regeling een vergelijkbaar reductiepotentieel heeft als het aanpassen van het voermanagement in de melkveesector met een lager ruw eiwitgehalte. Een financieel vergelijk tussen maatregelen is buiten scope voor dit onderzoek, maar aangezien het verlagen van ruw eiwit nagenoeg kostenneutraal kan voor de ondernemer en de Lbv en Lbv-plus honderden miljoenen kosten kan dat nog best een interessant vervolg vraag zijn.

7. Conclusie en discussie

7.1. Effect behaalde emissiereductie op stikstofdepositie pilotbedrijven

Op 79 van de 81 pilotbedrijven leidt het verlagen van het ruw eiwit (RE) tot een lagere ammoniakemissie. Minder RE heeft effect op de bedrijfsemissies van ammoniak van de pilotbedrijven en leidt tot een reductie tussen de 0-11%.
De behaalde omvang van ammoniakreductie hangt sterk samen met de basissituatie en de toegepaste verlaging van ruw eiwit.
Er wordt geen direct verband gevonden tussen de bedrijfsomvang (in GVE) en ammoniakreductie. Ten aanzien van ammoniakreductie en grondsoort, wordt alleen een indirecte relatie gevonden.

De emissiereductie vertaalt zich grosso modo in dezelfde orde grootte als de depositiereductie en de depositievracht.
De grootte van dat effect op de depositie op natuurgebieden in absolute zin, verschilt echter sterk tussen bedrijven. De impact op kwetsbare natuur is sterk afhankelijk van de afstand en ligging ten opzichte van voor stikstof gevoelige natuur.

7.2. Landelijke impact van verlagen ruw eiwit

Het landelijk opschalen van de resultaten van de pilotbedrijven levert een ruimtelijk gedifferentieerd beeld op van de potentiële ammoniakreductie in Nederland.
Het landelijk totaal komt overeen met andere studies, maar geeft inzicht in de (potentiële) ruimtelijke verdeling.
Reductie van stal- opslag emissies heeft een grotere impact op de reductie van depositie dan reductie van veldemissies.
Het toepassen van de geostatistiek benadert de ruimtelijke verdeling van emissie en depositie.
Indien gebruik gemaakt kon worden van alle KringloopWijzers zou dit een nog beter beeld geven van wat deze managementmaatregel werkelijk kan bijdragen aan depositiereductie op stikstofgevoelige natuurgebieden.

7.3. Landelijk resultaat in verhouding tot andere landbouw bronmaatregelen

Het permanent verlagen van het ruw eiwit in het rantsoen op landelijk niveau, leidt tot een ammoniakemissiereductie die in orde grootte overeenkomt met maatregelen als het uitkopen van piekbelasters (Tabel 14).
Het verlagen van het ruw eiwitgehalte zorgt voor een verlaging van de ammoniakemissie op stal- opslag en weide emissies en levert daarmee vrijwel ongeacht de locatie in Nederland, een bijdrage aan of de afname van de achtergronddepositie (stikstofdeken), of laat lokaal de depositie afnemen (Figuur 30).

Tabel 14: Impact op bedrijfsniveau voor de verschillende varianten.

Variant →	Geen derogatie		Verlagen ruw eiwit		Opkoopregeling, Lbv (plus)	
Bedrijfsniveau:	**Stal en opslag**	**Veld**	**Stal en opslag**	**Veld**	**Stal en opslag**	**Veld**
Emissiereductie (NH_3)	n.v.t.	+++	+++	+	+++++	n.v.t.
Depositiereductie op N2000-gebieden	n.v.t.	++	+++	+	+++++	n.v.t.

Het verlagen van ruw eiwit is een kosteneffectieve maatregel met een reductiepotentieel dat vrijwel vergelijkbaar is met een uitkoopregeling (Tabel 15). Het verlagen van het ruw eiwit levert daarmee een substantiële bijdrage aan een maatregelenpakket om de ammoniakemissie en depositie op natuurgebieden te verlagen.
Het effect in praktijk zal zich moeten bewijzen door continue commitment van agrarische ondernemers om hun bedrijfsvoering blijvend aan te passen.

Tabel 15: Impact op nationaal niveau voor de verschillende varianten.

Variant →	Geen derogatie	Verlagen ruw eiwit	Opkoopregeling, Lbv (plus)
Kosten	n.v.t.	laag	zeer hoog
Emissiereductie (NH_3)	n.v.t.	+++	++
Depositiereductie op N2000-gebieden	n.v.t.	++	+++

Het onderzoek levert een aantal beleidsinzichten op.
Het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen van melkveebedrijven kan een wezenlijke bijdrage leveren aan de reductie van ammoniakemissies uit de melkveehouderij en het verlagen van de stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden.
Dezelfde emissiereductie heeft verschillende effecten afhankelijk van de ligging. Bedrijven die dichtbij stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden liggen, realiseren met dezelfde emissiereductie een grotere afname van lokale depositie dan bedrijven die verder van natuurgebieden liggen. Emissiereductie op bedrijven op grotere afstand gezamenlijk draagt bij aan verlaging van de landelijke achtergronddepositie (Figuur 28).
Het onderzoek laat daarmee zien dat het verlagen van ruw eiwit zowel lokale als landelijke effecten heeft als deze maatregel landelijk wordt toegepast. Dit is belangrijk bij de beoordeling van maatregelen.
Wanneer de verlaging permanent wordt toegepast in de bedrijfsvoering, is de impact vergelijkbaar met die van beëindigingsregelingen, die vaak substantieel duurder zijn en maatschappelijk meer impact hebben.
Voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000 is het aannemelijk dat een combinatie van maatregelen noodzakelijk is. Het verlagen van ruw eiwit kan een substantiële bijdrage hieraan leveren.

7.4. Reikwijdte en beperkingen van het onderzoek

Bij de interpretatie van de resultaten van dit onderzoek is een aantal aandachtspunten van belang.

De resultaten zijn gebaseerd op modelberekeningen

De ammoniakemissies zijn berekend met de KringloopWijzer en de stikstofdepositie met het OPS-model. Er is dus niet gemeten hoeveel depositie door het verlagen van ruw eiwit daadwerkelijk is afgenomen. Omdat in dit onderzoek vooral het verschil tussen een basissituatie en een aangepaste situatie wordt berekend, zijn verschillende modelonzekerheden minder bepalend dan bij het berekenen van absolute depositieniveaus. Deze onzekerheden verdwijnen echter niet volledig.

De basissituatie is 2020

De bedrijfsgegevens van de pilotbedrijven hebben betrekking op 2020. Om specifiek het effect van het verlagen van ruw eiwit te kunnen bepalen, zijn andere bedrijfsfactoren zoals dieraantallen, bedrijfsoppervlakte en gewasareaal in de berekeningen zoveel mogelijk gelijk gehouden. De berekende varianten zijn daarmee scenario's en geen voorspelling van de volledige bedrijfsvoering in een later jaar.

Een landelijke toepassing betekent niet dat alle bedrijven naar hetzelfde ruw eiwitgehalte gaan

De doorgerekende verlaging is afhankelijk van de uitgangssituatie van het bedrijf. Bedrijven die al op of onder 155 gram ruw eiwit per kg droge stof zaten zijn niet aangepast, bedrijven tussen 155 en 165 gram zijn richting 155 gram gebracht en bij bedrijven boven 165 gram is maximaal 10 gram verlaging doorgerekend. De landelijke inschatting betreft daarmee het potentiële effect wanneer in de Nederlandse melkveehouderij een vergelijkbare reductie-inspanning wordt gerealiseerd.

De landelijke opschaling is gebaseerd op de 81 bedrijven pilot bedrijven

De pilotbedrijven zijn ruimtelijk over Nederland verspreid en sluiten qua bedrijfsomvang redelijk aan bij de landelijke melkveepopulatie. Dit betekent niet dat zij voor alle bedrijfskenmerken volledig representatief zijn. Zo zijn jonge poldergronden in West-Nederland mogelijk ondervertegenwoordigd. Ook kunnen verschillen in bedrijfsvoering ervoor zorgen dat bedrijven die geografisch dicht bij elkaar liggen verschillende reducties realiseren.

De ruimtelijke opschaling kent onzekerheid

De emissiereducties van de pilotbedrijven zijn met Ordinary Kriging geïnterpoleerd naar een landelijk beeld. Er is sprake van statistisch significante, maar beperkte ruimtelijke correlatie. De interpolatie geeft daarom vooral inzicht in het potentiële landelijke en regionale patroon. Met gegevens van een groter aantal melkveebedrijven zou de ruimtelijke lokale inschatting verder kunnen worden verbeterd.

Het vervallen van derogatie is vereenvoudigd meegenomen

De varianten zonder derogatie zijn toegevoegd om te onderzoeken of de gewijzigde mestplaatsingsruimte het berekende effect van het verlagen van ruw eiwit beïnvloedt. Daarbij zijn niet alle mogelijke indirecte effecten meegenomen. Zo is niet berekend welke extra ammoniakemissie kan ontstaan op andere bedrijven waar afgevoerde mest wordt aangewend. Ook mogelijke veranderingen in bijvoorbeeld de omvang van de veestapel vallen buiten dit onderzoek.

De vergelijking met andere stikstofmaatregelen is een orde grootte vergelijk

Voor de vergelijking met onder andere Lbv en Lbv-plus zijn resultaten uit andere studies gebruikt. Deze studies zijn niet volledig met dezelfde modelversies, meteorologische gegevens, landgebruiksgegevens, emissiecijfers en aannames uitgevoerd. De vergelijking is daarom geschikt om de orde van grootte van effecten te vergelijken, maar niet om te concluderen dat maatregelen één-op-één dezelfde effecten hebben.

Kosten en uitvoerbaarheid zijn voor dit rapport niet onderzocht

Dit onderzoek richt zich op ammoniakemissie en stikstofdepositie. Een integrale vergelijking van kosten, maatschappelijke gevolgen en uitvoerbaarheid van het verlagen van ruw eiwit ten opzichte van andere beleidsmaatregelen valt buiten de scope. Voor daadwerkelijk effect is bovendien noodzakelijk dat de verlaging structureel in de bedrijfsvoering wordt gerealiseerd en behouden.
Binnen deze beperkingen geven de resultaten een indicatie van het potentiële effect van het verlagen van ruw eiwit op landelijke en regionale schaal. De kracht van de aanpak is dat bedrijfsspecifieke informatie uit de praktijkpilot is gebruikt om verschillen tussen bedrijven expliciet mee te nemen, in plaats van voor alle melkveebedrijven uit te gaan van één generiek reductiepercentage.

Referenties

Bleeker, A., et al. (2020), Stikstofeffecten van criteria ten behoeve van de Landelijke Beëindigingsregeling Veehouderijlocaties, RIVM-briefrapport 2020-0199

CDM (2021), CDM-advies 'Doorrekening bronmaatregelen stikstof in de melkveehouderij'

Chen, Y. G. (2013), New approaches for calculating Moran's index of spatial autocorrelation. *PLoS One* 8(7), e68336

Dodge, Y. (2010), The concise encyclopedia of statistics. New York: Springer. ISBN 978-0-387-32833-1

Gies, E., et al. (2023), Scenariostudie naar doelen en doelrealisatie in het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied, Wageningen Environmental Research

Hordijk, L., et al. (2020), Meer meten, robuuster rekenen, Eindrapport van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof

Isaaks, E.H. et al (1989) An Introduction to Applied Geostatistics; Oxford University Press: New York, NY, USA

Marra, W., et al (2025) Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden 2025, RIVM-rapport 2025-0021

Most, van der M., et al. (2025), Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2023, WOT-technical report 283, ISSN 2352-2739

Pereira, G.W., et al. (2022), Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging, Agronomy 2022, 12, 1350

Reinds, G.J., et al. (2024), Voortgang Stikstofbronmaatregelen en verwachte effecten in 2030, WUR, PBL, RIVM

RIVM (2025), Handboek Data AERIUS 2025, www.aerius.nl (publicatie 7 oktober 2025)

RIVM (2025), OPS versie overzicht

Rousseeuw, P.J. (1984), Least Median of Squares Regression. Journal of the American Statistical Association, Vol. 79, 871-880

Sauter, F., et al. (2025), The OPS-model version 5.3.1.0, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)

Sutton, M., et al. (2015), Review on the scientific underpinning of calculation of ammonia emission and deposition in the Netherlands, CEH, Edinburgh

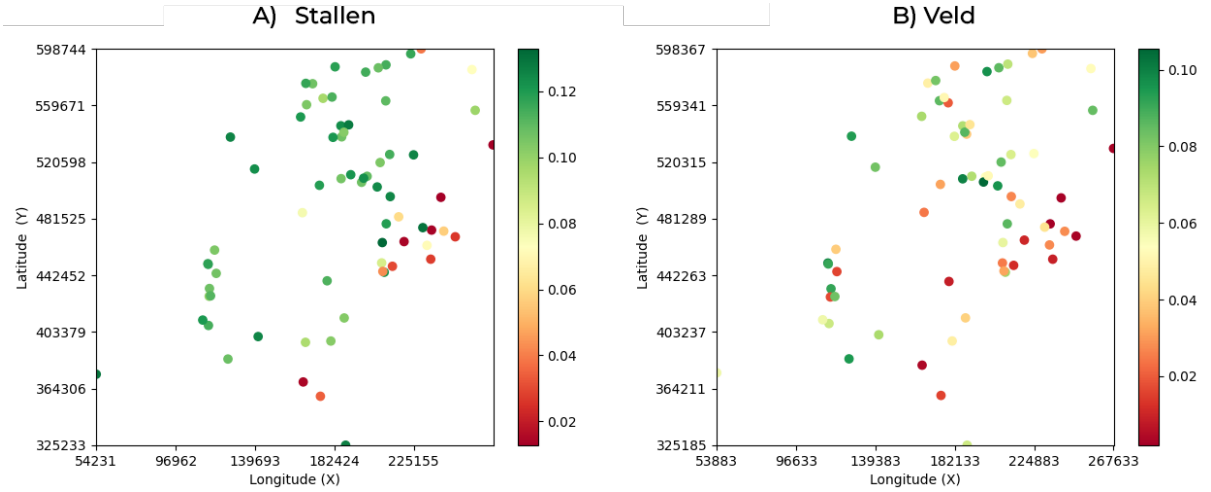
Tietema, A. et al. (2023), Nitrogen deposition around dairy farms: spatial and temporal patterns, Ecosystem and Landscape Dynamics, Institute of Biodiversity and Ecosystem Dynamics, University of Amsterdam

Velders, G. et al, (2011), Toelichting Depositieberekeningen AERIUS, RIVM website

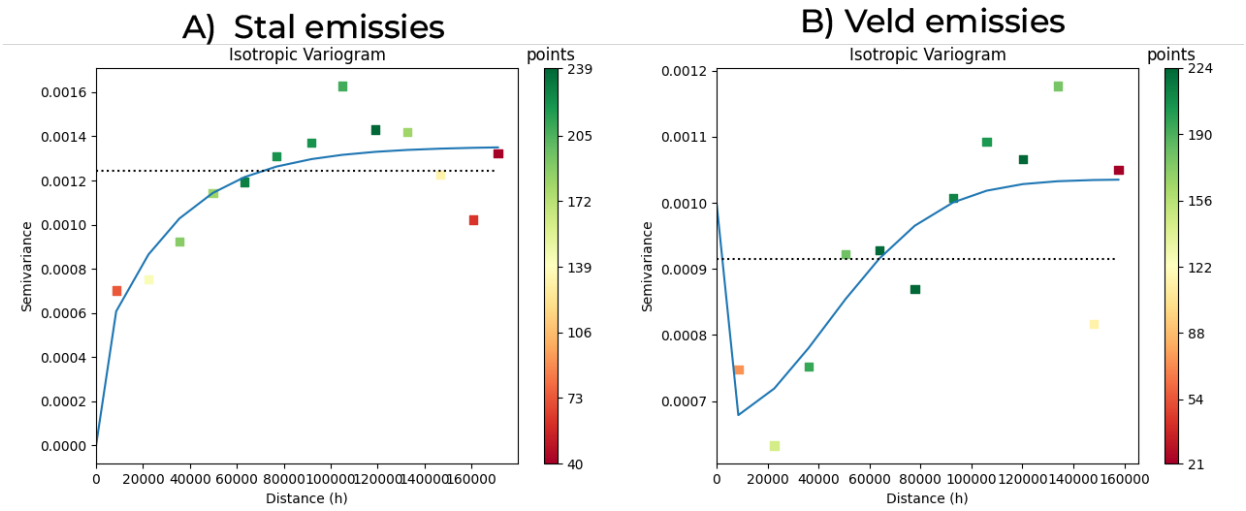
Wackernagel, H. (2003), Ordinary Kriging 10.1007/978-3-662-05294-5_11

Bijlage Ordinary Kriging

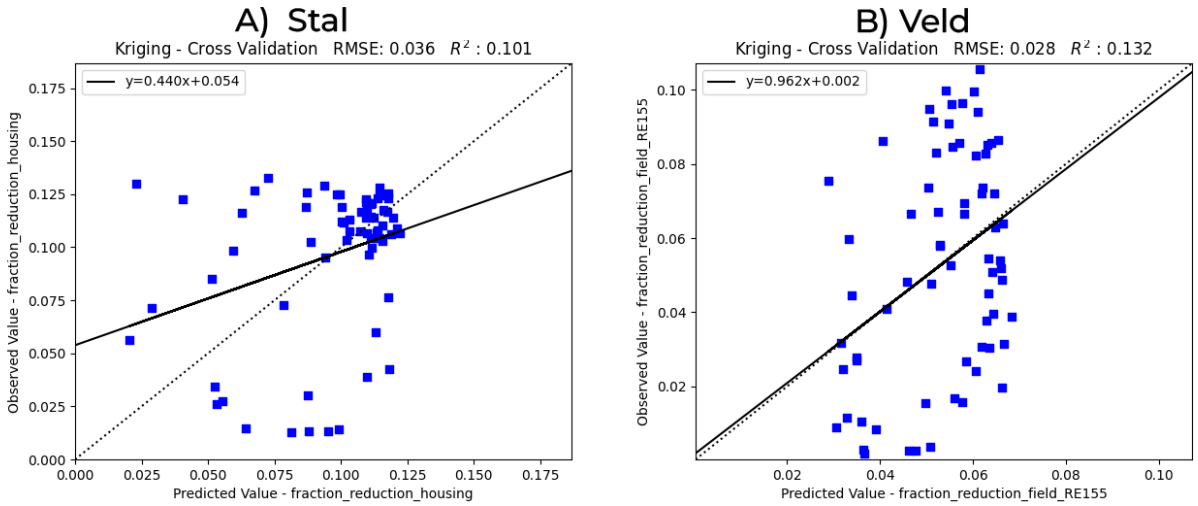
In Figuur 35, Figuur 36 en Figuur 37 zijn de details van het toepassen van Ordinary Kriging te zien.



Figuur 35: Plots met waarnemingen die als invoer dienen voor de Ordinary Kriging van de betreffende predicted value, emissiereductie (A: Stal- en opslag, B: veld)



Figuur 36: Best fit Variogrammen zoals ze gebruikt zijn bij het toepassen van Ordinary Kriging



Figuur 37: Cross validation voor de Ordinary Kriging methode

Uit de cross validatie van zowel stal en veld blijkt dat er sprake is van spreiding in de emissiereductie, maar dat die in essentie niet sterk ruimtelijk gekoppeld is. In feite zou dan ook het landelijk gemiddelde kunnen worden toegepast. Echter de analyse met SVM (paragraaf 4.3) en Figuur 27 laat toch enige logica in de ruimtelijke verdeling zien.