



Rapport 2024

Variatie in de carbon-footprint van mengvoeders door keuzes in data en methodiek gerelateerd aan herkomst en teelt van voedergrondstoffen

PPS Klimaatperspectief Nederlandse
Agroproductie

Better Food. Better Health. Better World.

Over ons

Mérieux NutriSciences | Blonk is een internationale expert in duurzaamheid in voedselsystemen. We inspireren en stellen de agri-food sector in staat om richting te geven aan duurzaamheid. Ons doel is het creëren van een duurzame en gezonde planeet voor huidige en toekomstige generaties. We ondersteunen organisaties om hun milieu-impact in de agri-food waardenketen te begrijpen door middel van advies en het ontwikkelen van op-maat-gemaakte softwareoplossingen, gebaseerd op de meest recente wetenschappelijke ontwikkelingen en data.

Titel	Variatie in de carbon-footprint van mengvoeders door keuzes in data en methodiek gerelateerd aan herkomst en teelt van voedergrondstoffen		
Datum	19-12-2024		
Plaats	Gouda, NL		
Auteurs	Hans Blonk, Nynke Draijer, Lody Kuling	Mérieux NutriSciences Blonk	



Samenvatting

In de publiek private samenwerking (PPS) Klimaatperspectief Nederlandse Agroproductie kijken we naar de broeikasgasemissies van de Nederlandse agrosector en de verschillende methodes die worden gebruikt voor het kwantificeren daarvan. In het agro-bedrijfsleven, wordt de LevensCyclusAnalyse (LCA) methode veel gebruikt voor het kwantificeren van broeikasgasemissies, waarbij de gehele productieketen wordt meegenomen. Daarnaast is er de nationale monitorings-methodiek die aansluit bij de internationale rapportage van klimaatimpact van landen aan de Verenigde Naties (National Inventory Reporting: NIR). Hierbij worden de broeikasgasemissies geregistreerd en ingedeeld naar verschillende industrieën en sectoren. In deze PPS is gekeken hoe de monitoring van klimaateffecten van de landbouw op ketenniveau op basis van LCA en op landenniveau op basis van NIR beter op elkaar kunnen worden aangesloten. Meer specifiek betreft het de afstemming op het gebied van methodiek en data(bronnen) en het beter inzichtelijk maken van effecten van sectormaatregelen.

In dit rapport focussen we op de kwantificering van de klimaatimpact van mengvoeder. De bijdrage van mengvoeder op de totale klimaatimpact van dierlijke producten is relatief groot en is afhankelijk van vele variabelen en wordt daarbij in hoge mate beïnvloedt door de gebruikte databronnen en specifieke methodiekekeuzes. In dit rapport onderzoeken we wat het effect is van methodiekaannamen en selectie van databronnen voor de impact van de landbouwfase in productie van grondstoffen voor mengvoer. Hier gaan we specifiek in op drie oorzaken van variatie in de resultaten:

1. De keuze van statistische bronnen voor herkomst van grondstoffen
2. Het gebruik van meer specifieke data voor de teelt van Nederlandse voedergewassen
3. Het toepassen van een meer specifieke modellering van broeikasgasemissies bij de teelt van voedergewassen

We hebben de Agri-footprint (versie 6) database als referentie gebruikt om deze drie onderwerpen te onderzoeken omdat dit wereldwijd de meest gebruikte database is voor in GFLI of PEF-conforme studies naar mengvoeder en dierlijke productiesystemen.

1. Omdat de carbon footprint van een voedergraan belangrijk kan verschillen afhankelijk van de herkomst van het gewas is een goede inschatting van de herkomstmix van groot belang. Vergelijking tussen herkomstmixen tussen Agrifootprint gebaseerd op FAO statistiek en Securefeed laten een significant verschil zien in de carbon footprint van mengvoerders. Dit kan zowel hoger of lager zijn. Het effect is groot genoeg om te pleiten voor gebruik van meer specifieke data over herkomst in footprinting studies.
2. In Agri-footprint wordt gewerkt met een algemeen datamodel voor de definitie van de milieu-impact van de teelt dat toepasbaar is voor de hele wereld. De met deze data berekende carbon footprint voor Nederlands gewassen is voor voedergranen hoger dan wanneer meer accurate data uit het BedrijvenInformatieNet (BIN) worden gebruikt. Belangrijkste verschillen zijn er in organische bemesting en energiegebruik. Dit pleit voor het verzamelen van meer specifieke data voor footprinting studies.
3. Ook het gebruik van andere methodieken, bijvoorbeeld een meer gedetailleerde emissie-modellering, of een aangepaste LandUseChange berekening geeft andere uitkomsten. Een meer specifieke modellering kan zowel tot hogere als lagere resultaten leiden.

In zijn algemeenheid kunnen we concluderen dat voor het berekenen van carbon-footprints van mengvoeder een consistente methodiek cruciaal is. Deze methodiek moet dan zowel worden toegepast voor het berekenen van de footprint op basis van primaire (specifieke) data als op basis van secundaire data (uit databases). Hoe specifiek de data over herkomst, teelt, transportmix en andere processen, hoe accurater de uitkomsten zullen zijn.

Wat we in deze studie niet hebben aangetoond is dat het gebruik van de huidige standaard databases gebaseerd op consistente secundaire databases zoals Agri-footprint, GFLI of de Nevedi database tot niet bruikbare resultaten leidt. We hebben geconstateerd dat een meer accuraat resultaat, berekend op basis van meer specifieke data of methodiek, behoorlijk kan afwijken. Een cruciaal vraagstuk is



vervolgens of dat het huidige gebruik van de nu beschikbare niet perfecte secundaire data, leidt tot het nemen van verkeerde beslissingen ten aanzien van wijzigingen in de mengvoederketens en mengvoedersamenstelling. Dit vereist een ander type onderzoek, waarbij systeemeffecten van deze wijzigingen op langere termijn en grotere schaal worden geëvalueerd.



Inhoudsopgave

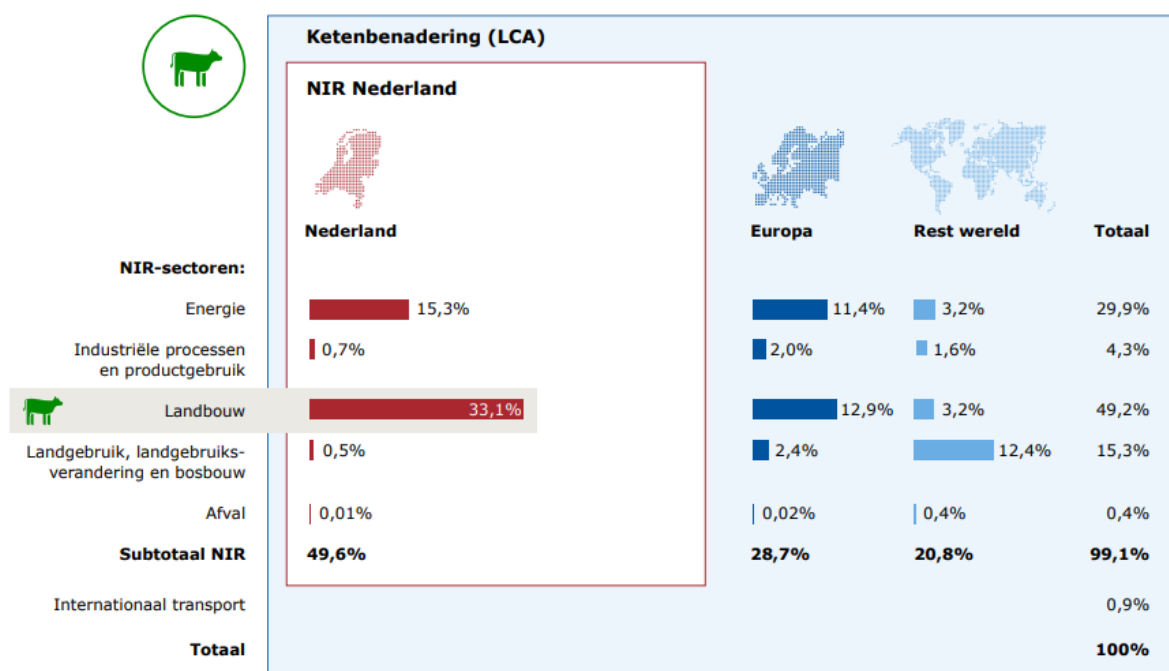
1.	Inleiding	1
2.	Carbon footprint van mengvoeders in Nederland	3
2.1	Ontwikkeling in de industrie	3
2.2	Oorzaken van variabiliteit	4
2.3	Variatie in carbon footprint door keuzen in methodiek en databronnen	5
3.	Variatie in het broeikaseffect van mengvoeder grondstoffen	6
3.1	Opbouw van de carbon footprint van voer	6
3.2	Variatie herkomst grondstoffen	6
3.2.1	Invloed van herkomstland op de carbon footprint van mengvoergrondstoffen	7
3.2.2	Invloed van herkomststatistieken op carbon footprint mengvoer	9
3.3	Gebruik van meer specifieke teelt data	15
3.4	Verschillen door LCA methodiek	18
3.4.1	Emissiefactoren en 'tier'-niveaus	18
3.4.2	Karakteristatiefactoren	20
3.4.3	Gebruik van andere databases	21
3.4.4	Landgebruiksverandering (LUC)	22
4.	Conclusies en discussie	25
5.	Referenties	27
Appendix I	Beschrijving BIN-data	28
	Beschikbare Gegevens	28
	Clusterindeling	28
	Overzicht van de Dataset	28
	PC analyse	29
	Clustering	30
	Referenties	30



1. Inleiding

Dit onderzoeksrapport is tot stand gekomen binnen de publiek private samenwerking (PPS) Klimaatperspectief Nederlandse Agroproductie. In deze PPS kijken we naar de broeikasgasemissies van de Nederlandse agrosector en de verschillende methodes die worden gebruikt voor het kwantificeren daarvan. In het agro-bedrijfsleven, wordt de LevensCyclusAnalyse (LCA) methode veel gebruikt voor het kwantificeren van broeikasgasemissies, waarbij de gehele productieketen wordt meegenomen. Daarnaast is er de nationale monitorings-methodiek die aansluit bij de internationale rapportage van klimaatimpact van landen aan de Verenigde Naties (National Inventory Reporting: NIR). Hier worden de broeikasgasemissies geregistreerd en ingedeeld naar verschillende industrieën en sectoren. In deze PPS is gekeken hoe de monitoring van klimaateffecten van de landbouw op ketenniveau op basis van LCA en op landenniveau op basis van NIR beter op elkaar kunnen worden aangesloten. Meer specifiek betreft het de afstemming op het gebied van methodiek en data(bronnen) en het beter inzichtelijk maken van effecten van sectormaatregelen.

Eén van de activiteiten in de PPS is het ontwikkelen van matrixoverzichten (zie ter illustratie Figuur 1). Door middel van zo'n overzicht, wordt gevisualiseerd in welke NIR-sectoren de broeikasgasemissies in de keten van een agroproduct (zoals gekwantificeerd via LCA) terechtkomen. Deze matrixoverzichten verbinden de benadering van de sector (LCA op ketenniveau) met deze van de overheid (NIR-sectoren). Zie ter illustratie Figuur 1 voor blank kalfsvlees. In het project zijn deze figuren ontwikkeld voor kalveren, varkens en melk.

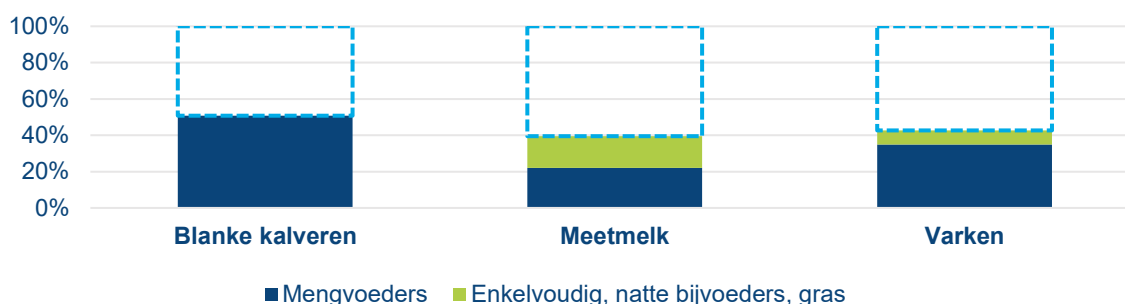


Figuur 1 Opsplitsing van de carbon-footprint van blanke kalveren in Nederland over NIR-categorieën en regio's.

Deze matrixfiguur plaatst de Nederlandse agroproductie in de context van de internationale monitoring van klimaateffecten volgens de landenbenadering, zonder de emissies in de aanvoerketen uit het oog te verliezen. Op die manier vormt de matrix een goed startpunt voor verdere analyse van veranderingen in het productiesysteem. In dit rapport focussen we op de kwantificering van de klimaatimpact van mengvoeder. De bijdrage van mengvoeder op de totale klimaatimpact van dierlijke producten is relatief groot en is afhankelijk van vele variabelen en wordt daarbij in hoge mate

beïnvloedt door de gebruikte databronnen en specifieke methodiekkeuzes. In dit rapport onderzoeken we wat het effect is van een aantal methodiek aannamen en selectie van databronnen voor de impact van de landbouwfase in productie van grondstoffen voor mengvoer.

De bijdrage van mengvoeders op de totale carbon-footprint van dierlijke producten verschilt sterk per dierhouderijsector. Zo is bij melkveehouderij de bijdrage van mengvoeder relatief klein (~20%), omdat het rantsoen van melkvee ook veel eigen ruwvoerproductie (gras/mais) bevat en de methaanemissies van pensfermentatie een relatief groot deel van de carbon-footprint bepalen bij melkvee. Bij de kalverhouderij is de bijdrage van mengvoer aan de andere kant relatief groot (~50%), zie figuur 2.



Figuur 2 Bijdrage van voer op de carbon-footprint van verschillende diersystemen, mengvoeders bevat ook kunstmelk

In dit rapport behandelen we een aantal oorzaken van variatie in de resultaten van de klimaatimpact berekening van mengvoeders. Hier gaan we specifiek in op drie oorzaken van variatie in de resultaten:

1. De keuze van statistische bronnen voor herkomst van grondstoffen
2. Het gebruik van meer specifieke data voor de teelt van Nederlandse voedergewassen
3. Het toepassen van een meer specifieke modellering van broeikasgasemissies bij de teelt van voedergewassen

In hoofdstuk 2 wordt een meer compleet beeld gegeven van variabiliteit in de klimaatimpact van mengvoeders, aangezien er meer oorzaken kunnen zijn voor variatie dan dat we in dit rapport in detail behandelen. In hoofdstuk 3 verkennen we de drie bovengenoemde onderwerpen van variabiliteit. In hoofdstuk 4 tenslotte wordt een samenvattend beeld gegeven van hoe groot de impact is van de variabiliteit van de onderwerpen die we hier hebben bestudeerd. Ook wordt aangegeven wat een meer gedetailleerde aanpak in dataverzameling en emissieberekening kan opleveren op deze onderwerpen. Ook wordt gereflecteerd op wat dit betekent in de totale context van variabiliteit in de klimaatimpact van mengvoeders.

Deze rapportage is tot stand gekomen samen met onderzoekers van Wageningen UR. Joan Reijs (Wageningen Social & Economic Research) en Pim Mostert (Wageningen Livestock Research) hebben bijgedragen aan de conceptualisatie, alsook de resultaten en rapportage meermaals kritisch geredigeerd. Sinne van der Veer (Wageningen Social & Economic Research) heeft de selectie en analyse van data uit het BIN uitgevoerd.

2. Carbon footprint van mengvoeders in Nederland

2.1 Ontwikkeling in de industrie

De klimaatimpact van mengvoeders heeft al jaren de aandacht van de mengvoederindustrie en de dierlijke productiesector in Nederland. Al vóór 2010 werden de eerste studies gemaakt over de carbon-footprint van dierlijke productie en werd er al benadrukt dat er een geharmoniseerde systematiek nodig is om deze berekeningen goed en fair uit te voeren (Blonk & Ponsioen, 2009). Ook werden de eerste studies gedaan over de verschillen die er kunnen bestaan tussen mengvoeders afhankelijk van de samenstelling van mengvoeders en hoe die samenstelling kan variëren over het jaar en tussen mengvoederfabrikanten (Blonk et al., 2009).

Door de jaren heen zijn er verschillende, eerst nationale maar later internationale, standaardisatieprojecten geweest en inmiddels is voor Nederland de Europese Feed PEFCR de leidende standaard ((FAO, 2016) , (FEFAC, 2016)). In lijn met de standaarden zijn er ook databases ontwikkeld met de LCA carbon-footprint data voor de diverse grondstoffen die in Nederland worden gebruikt. Allereerst werd er gekoppeld aan de Nederlandse systematiek (Vellinga et al., 2013), later is dat geëvalueerd naar een koppeling met de Global Feed Lifecycle Institute (GFLI) database (GFLI, 2023).

De Nevedi (Nederlandse Vereniging Diervoederindustrie) heeft in Nederland al geruime tijd een faciliterende rol in de standaardisatie van carbon-footprint berekeningen¹ van mengvoeder. Zo brengt ze jaarlijks de Nevedi-lijst uit. Hierin staan de diverse carbon-footprint waarden voor de productie en het transport van mengvoedergrondstoffen die in Nederland het meest worden gebruikt. Deze waarden zijn opgesteld volgens de GFLI richtlijnen (die de Feed PEFCR volgen) en zijn specifiek bedoeld voor de Nederlandse mengvoederbedrijven. Deze waarden worden bijvoorbeeld gebruikt door mengvoederbedrijven om specifieke carbon-footprint informatie te delen van het mengvoeder dat zij hebben geproduceerd en geleverd aan veehouders. Allereerst gebeurde dit alleen voor de melkveehouderij via de Kringloopwijzer maar deze data worden ook steeds meer in andere sectoren gebruikt.

In Nederland worden er relatief veel verschillende mengvoedergrondstoffen gebruikt in het voer. Dat komt onder andere door de grote Nederlandse agro-verwerkende industrie waardoor er veel co-producten en restproducten beschikbaar komen en het aanbod van grondstoffen verrijkt. Het gebruik van co- en restproducten in de mengvoederindustrie draagt bij aan de mate van circulariteit van het agrosysteem. Vaak hebben deze producten een lagere klimaatimpact dan hele gewassen die als veevoer worden gebruikt. Uiteindelijk zijn de prijzen van het hoofd- versus het co-product/restproduct bepalend voor hoeveel klimaatimpact aan de voergrondstof worden toegerekend. Dit kan op zich al een bron zijn van (methodiek) variatie. Deze is behandeld in een ander rapport en wordt hier verder niet meegenomen (Draijer et al., 2024).

Mengvoedergrondstofproducenten worden ook actiever in het opstellen van carbon-footprint-waarden voor hun producten. Zij kunnen deze eigen specifieke waarden direct communiceren of plaatsen op een platform zoals in de GFLI-database of direct in de Nevedi database².

De carbon-footprint data van mengvoedergrondstoffen worden nu vooral gebruikt in de Nederlandse industrie voor rapportage doeleinden. Diverse zuivelbedrijven en vleesverwerkers publiceren de footprint van hun keten en hoe die zich over de tijd ontwikkelt. De tendens is om daarbij steeds meer

¹ Carbon-footprint wordt hier gebruikt als synoniem van klimaatimpact. Het gaat om de opgetelde emissies van broeikasgassen vermenigvuldigd met de Global Warming Potential Factoren per broeikasgas

² Zie verder <https://nevedi.nl/standpunten/carbon-footprint-diervoeders/uniforme-gestandaardiseerde-en-geborgde-carbon-footprint-data/>

specifieke data te gebruiken van hun leveranciers. Specificiteit kan op veel verschillende elementen betrekking hebben, zoals de samenstelling van het mengvoeder, het gebruik van specifieke energiegebruiksdata voor productie of ten aanzien van transportafstanden en herkomst van voedergewassen. Meer specifieke data geeft over het algemeen een beter beeld van de carbon-footprint van een mengvoergrondstof. Om de noodzaak van meer specificiteit goed te begrijpen is het van belang om de mogelijke oorzaken en de mate van variabiliteit in de carbon-footprints beter te doorgronden. Meer specifieke data verzamelen gaat immers gepaard met een verhoogde inspanning.

2.2 Oorzaken van variabiliteit

Er zijn vele variaties in het huidige mengvoederproductiesysteem die min of meer continu plaats vinden, gedreven door economische factoren zoals prijsoptimalisatie en inkoopstrategieën van mengvoederbedrijven.

Ook is er natuurlijke variatie in oogsten, wat zich vertaalt in een prijseffect en verschillen in klimaatimpact van voedergewassen. Tenslotte zijn er variaties en trends in de landbouwpraktijk en processingindustrie die zich weer door vertalen in de broeikasgasemissies in de landbouwfase, transport en processing van voedergrondstoffen.

Prijsoptimalisatie bij bepaling mengvoedersamenstelling

Een mengvoederfabrikant wil nutritioneel een adequaat voer maken voor gezonde groei en productie van het landbouwhuisdier maar tegen de laagste kosten. Hij heeft op een zeker moment grondstoffen beschikbaar voor een bepaalde prijs. Met behulp van optimalisatiesoftware zal hij zoeken naar de mix van beschikbare grondstoffen waarmee voor de laagste prijs een mengvoeder kan worden gemaakt. Omdat de prijzen van grondstoffen variëren, varieert de samenstelling van mengvoer over de tijd heen. In veel gevallen zit daar een meerjarige dynamiek in omdat de prijzen van grondstoffen bepaald worden door beschikbaarheid, handel en (te verwachten) oogsten die per continent verschillen. In bepaalde periodes is bijvoorbeeld soja relatief duur ten opzichte van granen en in andere periodes is dit omgekeerd. Het sojagehalte in een mengvoeder zal dan op en neer gaan, gekoppeld aan deze prijsverhoudingen. Dit effect kan een variatie van meer dan 20% hebben op de carbon-footprint van mengvoer. In eerder gepubliceerd werk voor zuivel, met meerdere mengvoederbedrijven, is per type voer, per mengvoederbedrijf een analyse gemaakt van deze variatie door op verschillende tijdstippen door het jaar de carbon-footprint van de samenstelling te berekenen (Blonk et al., 2009). Overigens wordt in het geval van optimalisatie van melkveemengvoer ook nog rekening gehouden met de samenstelling van het ruwvoer, die door het jaar varieert.

In ander niet gepubliceerd werk dat Mérieux NutriSciences | Blonk heeft gedaan voor varkensvoerproducenten zijn lange tijdreeksen geanalyseerd van de samenstelling van verschillende typen voer (compleet voer en aanvullend voer in geval van gebruik vochtrijke bijproducten). Ook daar bleek de hoogste carbon-footprint van het voer 20% hoger te zijn dan de laagste.

Omvang van mengvoederbedrijven

Grote mengvoederbedrijven hebben meer silo's dan kleine en kunnen daardoor meer grondstoffen in de optimalisatie betrekken. Dit betekent dat kleinere bedrijven over het algemeen gebruik maken van de meer beschikbare grote grondstofstromen en dat grote mengvoederbedrijven, meer exotische grondstofstromen kunnen verwerken. Theoretisch hebben grote mengvoederbedrijven daarmee meer potentieel om tot een lagere footprint te komen.

Inkoop en grondstofvoorkeuren van mengvoederbedrijven

Mengvoederbedrijven hebben ook hun specifieke voorkeuren vanuit welke grondstoffen ze willen werken, eventueel gekoppeld aan kwaliteitsclaims. Dit betekent dat bij gelijke marktcondities (prijzen van grondstoffen) de optimale grondstofsamenstelling van mengvoeders toch kunnen verschillen tussen bedrijven, wat zich ook weer vertaalt in variaties in de carbon-footprint tussen leveranciers

Variaties in de teelt

Er zijn twee type variaties in de landbouwpraktijk te onderscheiden. Allereerst de variatie in oogsten die gerelateerd zijn aan externe factoren zoals het weer, bodemkwaliteit, waterbeschikbaarheid en plaagdruk. Een tweede type variatie is terug te voeren op de verschillen in de bedrijfsvoering van de boer. Bij gelijke externe factoren zal niet iedere boer dezelfde hoeveelheid meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen gebruiken.

Oogsten van gewassen die gebruikt worden als mengvoedergrondstoffen variëren over de tijd. Dit kan een effect op de prijs hebben wanneer de oogstvariatie zo groot is dat het een (verwacht) effect heeft op de beschikbaarheid. Dit kan in de markt betekenen dat de voorkeur van grondstoffen of eventueel herkomst kan gaan schuiven in de optimalisatie.

Uiteraard heeft oogstvariatie ook een direct effect op de carbon-footprint van gewassen. Bij bemesting wordt over het algemeen uitgegaan van een bepaalde optimale oogstverwachting. Wanneer deze tegenvalt is er al (ten dele) bemest. Dat betekent dat de broeikasgasemissies per hectare ongeveer gelijk blijven terwijl de emissies per eenheid geoogst product omhooggaan. Bij het opstellen van een carbon-footprint voor de teelt van mengvoergrondstoffen moet daarom over meerdere jaren gemiddeld worden (minimaal 3, maar liever 5 jaar). Over het algemeen zal oogstvariatie als oorzaak van variatie in de carbon-footprint meestal worden uitgemiddeld.

De variaties in de carbon-footprint door verschillen in gedrag van boeren zijn moeilijk te abstraheren uit de data. Veel verschillen in de landbouwpraktijk zijn namelijk een combinatie van variatie in omstandigheden en gedrag. In **dit rapport gaan** we in ieder geval nader in op de vraag hoe groot het verschil kan zijn tussen Nederlandse telers die data aanleveren in het Bedrijveninformatienet (BIN) van Wageningen Social & Economic Research.

2.3 Variatie in carbon footprint door keuzen in methodiek en databronnen

Een ander soort van variatie heeft te maken met hoe de carbon-footprint berekeningen worden uitgevoerd. Dit is in grote mate gestandaardiseerd, maar keuzes in specificiteit van modellering en keuzes in databronnen, bijvoorbeeld gerelateerd aan beschikbaarheid van data, kunnen een groot effect hebben. De keuzes in databronnen en in methodiek zijn overigens in hoge mate bepaald in de Feed PEFCR (European Commission, 2018) en de GFLI guidelines ((GFLI, 2023) zodat in de uitvoering van de berekening dezelfde keuzes gemaakt moeten worden. Een leidend principe daarbij is dat meer specifieke modellering en gebruik van data wordt aangemoedigd. In dit rapport gaan we met name voor de Nederlandse teelten verkennen wat dat betekent. We kiezen hier voor Nederlandse teelten vanwege de relatie met de NIR berekeningen die we in dit project bestuderen (zie hoofdstuk 3.3).

Ook kunnen er ontwikkelingen zijn in de methodiek die effect hebben op de carbon-footprint berekening en in hoeverre methodiekwijzigingen zijn doorgevoerd in achtergronddata. Bij gelijke data van de teelt kan de carbon footprint dan toch veranderen. Recent is dat bijvoorbeeld gebeurd met de overgang van EF 2 naar de EF 3 methodiek waardoor veen-emissies worden meegerekend (zie Hoofdstuk 3.4)

Als uitgangspunt voor deze studie nemen we de Agri-footprint database (Blonk Sustainability Tools, 2022) omdat deze alle data bevat die we hier beschouwen en de bron is voor de EF en GFLI-database. Vanuit dat startpunt verkennen we hoe keuzes in de specificiteit van modellering effect hebben op de resultaten.

3. Variatie in het broeikaseffect van mengvoedergrondstoffen

3.1 Opbouw van de carbon footprint van voer

Voor de carbon-footprint berekening van een mengvoeder is veel data nodig. Voor de wieg tot uitgang fabriekspoort van het mengvoederbedrijf gaat het om:

- De samenstelling van het mengvoeder (de mengvoedergrondstoffen en droge stofgehalte in de verhouding zoals ze worden ingemengd)
- Gegevens over het productieproces van de productie van het mengvoeder in de mengvoederfabriek (voornamelijk energiegebruik en verpakking wanneer niet in bulk wordt afgeleverd)
- De herkomstmix van mengvoedergrondstoffen
- De transportafstanden en vervoerswijzen in de productieketen van de mengvoedergrondstof.
- De productie van de grondstoffen, waarbij het kan gaan om:
 - Teelt data (oogst, (kunst)mest, etc.)
 - (tussen)opslag data
 - Data van verwerking

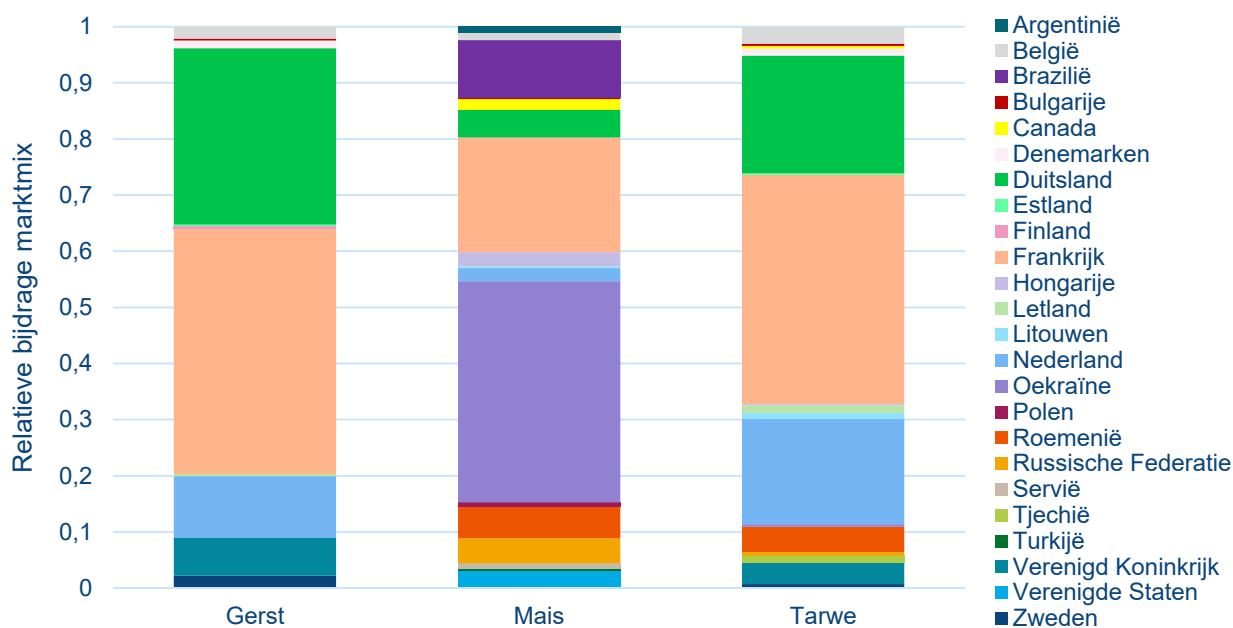
Het is in de praktijk meestal niet mogelijk om voor iedere mengvoedergrondstof specifieke data op te halen bij producenten. Daarom wordt er op grote schaal gebruik gemaakt van databases met zogenaamde secundaire data. In standaarden wordt daar expliciet naar verwezen. De GFLI-database kan beschouwd worden als de meest gezaghebbende database voor de mengvoedersector. Deze database kan ook gebruikt worden voor PEF-compliant studies. Deze database is weer voor een groot deel gebaseerd op de Agri-footprint database van Mérieux NutriSciences | Blonk. Deze database is ook weer onderdeel van belangrijke LCA-software platforms. Dat betekent dat in de praktijk wereldwijd de meeste milieufootprint berekeningen van mengvoeder direct of indirect worden gemaakt met Agri-footprint data. Bij het genereren van de Agri-footprint database zijn veel statistische data gebruikt voor de teelt en herkomst van mengvoedergrondstoffen. In hoofdstuk 3.2 onderzoeken we hoe de resultaten veranderen wanneer andere bronnen worden gebruikt voor de herkomst van de mengvoedergrondstoffen.

3.2 Variatie herkomst grondstoffen

De herkomst van mengvoedergrondstoffen beïnvloedt de carbon-footprint van mengvoeder door zowel verschillen in de carbon-footprint van de teelt per land, alsook verschillen in transportimpact door afstand en vervoerswijze.

Wanneer er primaire data (specifieke data voor de productie) beschikbaar is, kan de daadwerkelijke herkomst van grondstoffen direct gemodelleerd worden. Zo niet, dan moet er een inschatting gemaakt worden van realistische herkomst van een voedergrondstof. Dit kan door middel van statistieken over productie en handel zoals beschikbaar in Agri-footprint, GFLI of de Nevedi database of op basis van data over herkomst, specifiek voor het mengvoeder bedrijf waar het voer wordt geproduceerd (zoals beschreven in de Feed PEF-CR). Per grondstof kan een “marktmix” worden bepaald, die de gemiddelde herkomst van een grondstof in een consumptieland, in dit geval Nederland, weergeeft. Doorgaans worden vijfjaar-gemiddeldes toegepast om grote schommelingen van de statistieken in de tijd te dempen (Blonk Sustainability Tools, 2022).

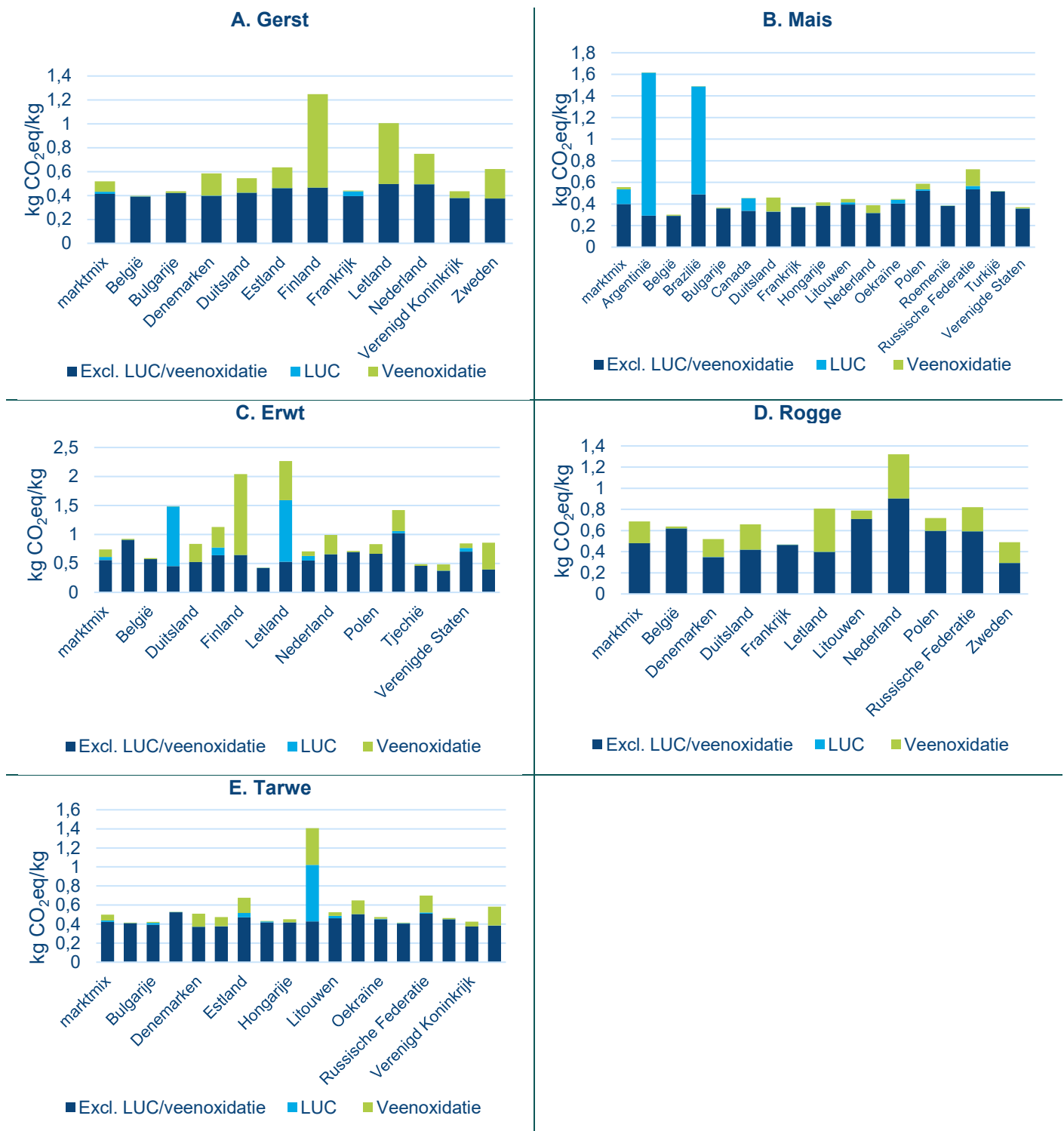
Figuur 3 geeft voorbeelden van een op die wijze berekende marktmix voor enkele gewassen in Nederland. Voor gerst en tarwe zien we dat herkomstlanden Duitsland, Frankrijk en Nederland dominant zijn, waar voor mais Brazilië en Oekraïne belangrijke productielanden zijn.



Figuur 3 Marktmixen van verschillende materialen in Nederland, 5-jarig gemiddelde (2014-2018) op basis van handels- en productiestatistieken van FAOSTAT zoals toegepast in de AFP-database.

3.2.1 Invloed van herkomstland op de carbon footprint van mengvoergrondstoffen

Het effect van de selectie van herkomstland op de carbon-footprint van een mengvoedergewas kan groot zijn. Onderstaand figuur (Figuur 4A-E) laat voor enkele gewassen zien wat de verschillen in carbon-footprint zijn per herkomstland. De eerste kolom in de figuren geeft per gewas de carbon-footprint van de marktmix weer voor Nederland, die een gemiddelde statistische herkomst representeert gebaseerd op FAO-statistieken.



Figuur 4A-E. Vergelijking van de carbon-footprint (kg CO₂eq/kg) van enkele gewassen afkomstig uit verschillende herkomstlanden, inclusief transport naar Nederland. Landen zijn weergegeven als er teeltdata beschikbaar is en het betreffende gewas volgens de statistiek naar Nederland wordt getransporteerd. De carbon-footprint van de marktmix die de gemiddelde herkomst voor dat gewas in Nederland representeert is ook weergegeven. Carbon-footprint is opgedeeld in algemene carbon-footprint, carbon-footprint als gevolg van landsgebruiksverandering (LUC: Land Use Change) en carbon-footprint als gevolg van veenoxidatie.

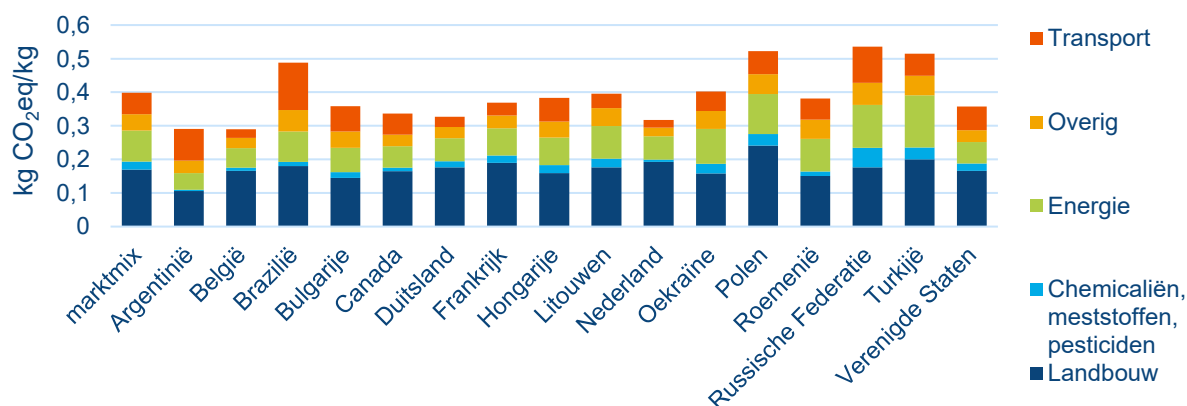
We zien grote verschillen met name in impact als gevolg van landsgebruiksverandering (LUC: Land Use Change) en veenoxidatie-emissies. In Tabel 1 worden gemiddeldes en standaarddeviaties voor deze granen zoals gebruikt in Nederland voor mengvoedertoepassingen vermeld. We zien voor totale

carbon-footprint een standaarddeviatie van 24-54% van het gemiddelde. Voor de carbon-footprint exclusief LUC en veenoxidatie is dit 9-26%.

Tabel 1 Gemiddeldes (μ) en standaarddeviaties (σ) van carbon-footprint (kg CO₂eq/kg) van granen in Nederland afkomstig van verschillende herkomstlanden (voor relevante landen zie Figuur 4).

	Excl. LUC/veenoxidatie			LUC			Veenoxidatie			Totaal		
	μ	σ	σ %	μ	σ	σ %	μ	σ	σ %	μ	σ	σ %
Erwt	0.59	0.14	24%	0.11	0.28	246%	0.22	0.29	131%	0.92	0.44	47%
Gerst	0.42	0.03	8%	0.01	0.01	111%	0.16	0.18	115%	0.59	0.20	34%
Mais	0.39	0.06	16%	0.14	0.31	214%	0.03	0.04	140%	0.57	0.31	54%
Rogge	0.51	0.13	26%	0.00	0.00	176%	0.20	0.10	50%	0.72	0.17	24%
Tarwe	0.43	0.04	9%	0.03	0.11	353%	0.08	0.08	103%	0.54	0.19	35%

Wanneer we de impacts verder opdelen in specifieke categorieën van activiteiten in de teelt (zie voor mais) dan zien we dat per land de bijdrage van die activiteiten sterk kan verschillen. De bijdrage van transport varieert afhankelijk van vooral de afstand van transport over land. Bij sommige herkomstlanden kan de transport bijdrage tot een derde oplopen. Bij andere landen is de bijdrage van transport minder dan een tiende. Emissies gedurende de teelt, vrijkomend door bemesting, oxidatie en omzetting van land zijn over het algemeen de grootste bron van emissies. In onderstaande figuur zijn alleen de emissies vanwege bemesting te zien (landbouw genoemd in Figuur 5) en zijn de emissies door veenoxidatie en landgebruiksverandering buiten beschouwing gelaten. Hiermee wordt een beeld gegeven van de verschillen in operationele praktijk zonder de veranderingen in koolstofopslag in het land. Energiegebruiksemissies op de boerderij, de volgende belangrijke bron van emissies, variëren vooral door energiegebruik voor irrigatie en droging/opslag van het gewas.



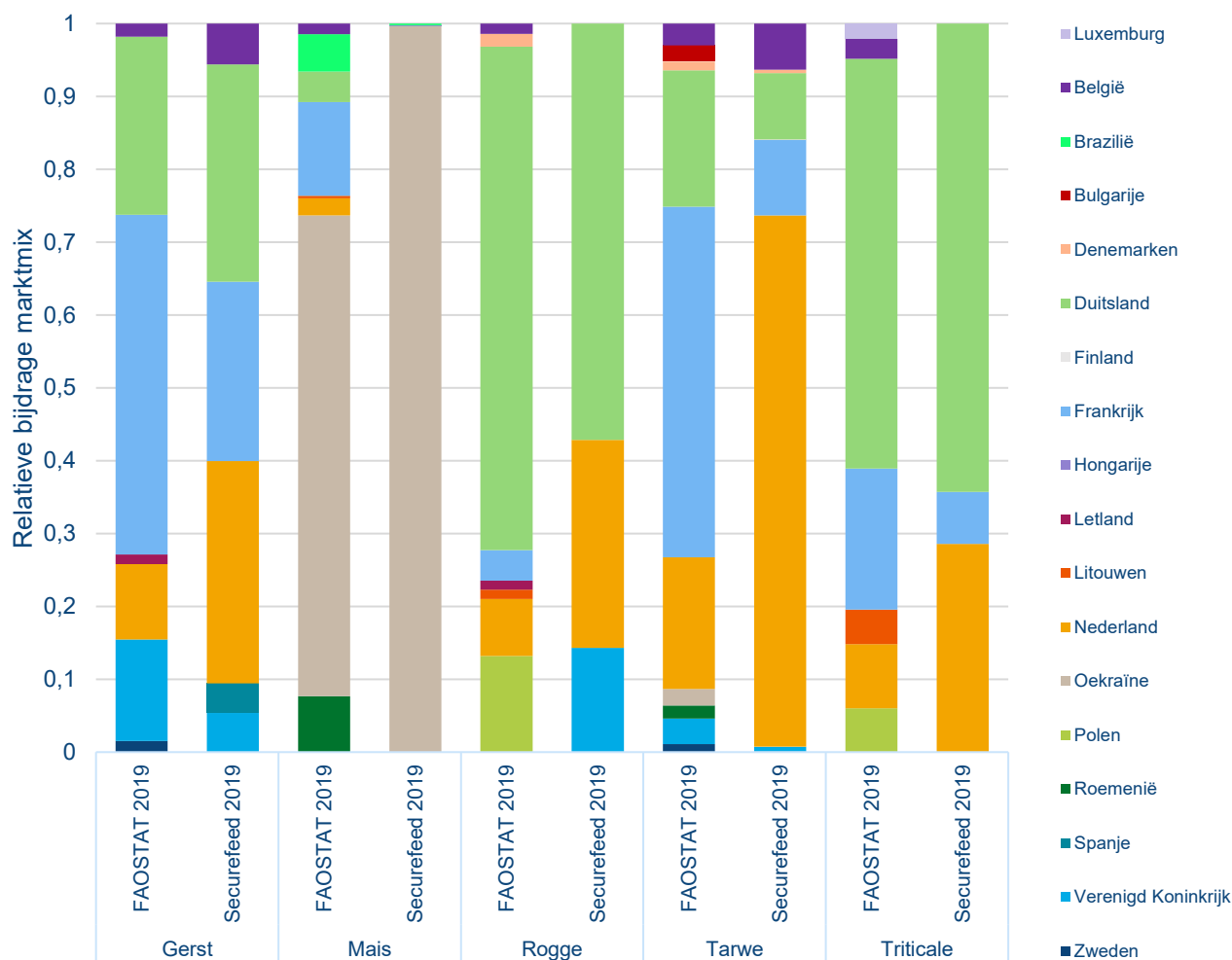
Figuur 5 Verdeling van carbon-footprint (kg CO₂eq/kg, excl. LUC/veenoxidatie) als gevolg van verschillende activiteiten voor de marktmix van mais en mais uit specifieke herkomstlanden. De emissies als gevolg van landsgebruiksverandering (LUC: Land Use Change) en als veenoxidatie zijn hier weggelaten.

3.2.2 Invloed van herkomststatistieken op carbon footprint mengvoer

Idealiter gebruikt men bij het bepalen van een carbon-footprint van een mengvoedergrondstof, specifieke informatie over de herkomst van de grondstof. Wanneer hier geen kennis over beschikbaar is, kan de herkomst van een grondstof bepaald worden op basis van verschillende statistische bronnen. FAOSTAT (FAO, 2024) publiceert openbaar beschikbare data over wereldwijde productie en handel van vele grondstoffen en is daarmee een consistente databron. Binnen industrieën en sectoren zijn ook data beschikbaar, die vaak specifieker zijn maar niet consistent wereldwijd worden gepubliceerd. Voor deze studie hebben wij van de stichting SecureFeed data gekregen over herkomst

van granen in Nederland in 2019³. SecureFeed borgt de veiligheid van diervoeders, onder andere door graantransporten te monstern en testen op bijvoorbeeld mycotoxines. Het voordeel van deze data ten opzichte van FAOstat data is dat ze diervoeder-specifiek zijn, terwijl de data voor granen in FAOstat algemeen zijn en dus ook bestemd voor bijvoorbeeld humane voeding.

In onderstaande figuren kijken we naar de verschillen in herkomstmix en de carbon-footprint als gevolg daarvan.



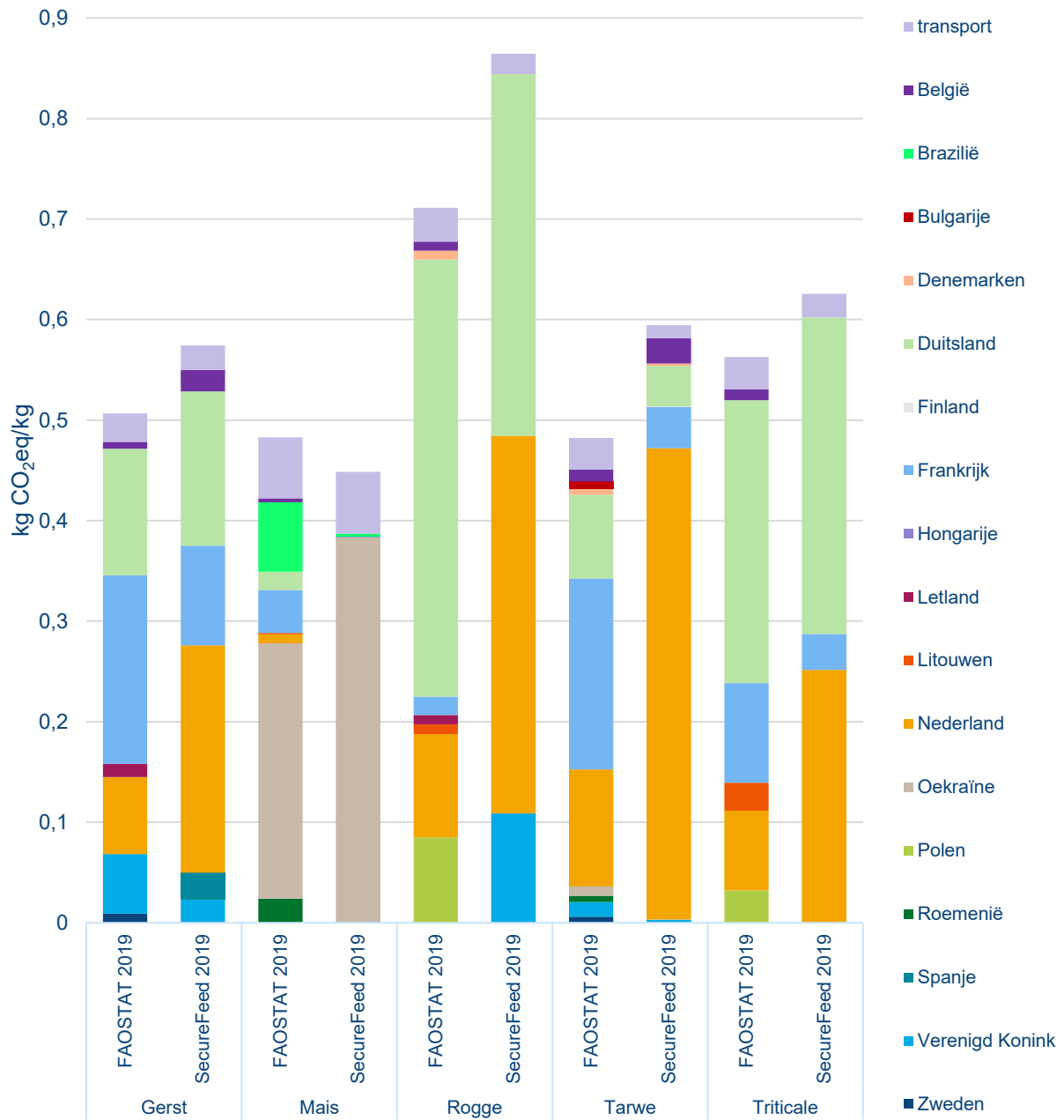
Figuur 6 Marktmixen van verschillende materialen in Nederland. Vergelijking handels- en productiestatistieken van FAOstat versus data van SecureFeed monsterning in het jaar 2019.

Uit Figuur 6 blijkt dat de SecureFeed data een lager aantal herkomstlanden laten zien dan de FAO-statistieken. Ook is voor veel granen (maïs uitgezonderd) het aandeel Nederlandse herkomst groter dan de algemene statistieken doen vermoeden.

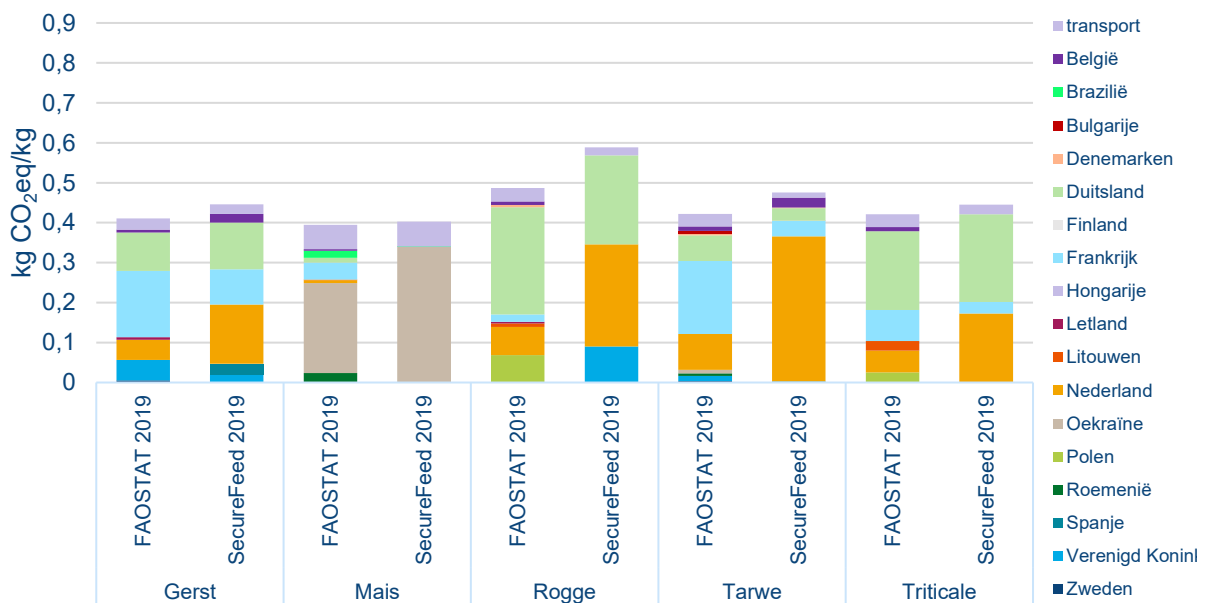
De carbon-footprint van de marktmixen van FAOstat en Securefeed, inclusief transport naar Nederland, is vergeleken in Figuur 7. We maken een vergelijking inclusief (Figuur 7A) en exclusief (Figuur 7B) LUC en veenoxidatie emissies.

³ Persoonlijke communicatie, data van Securefeed

A. Carbon-footprint inclusief LUC en veenoxidatie



B. Carbon-footprint exclusief LUC en veenoxidatie



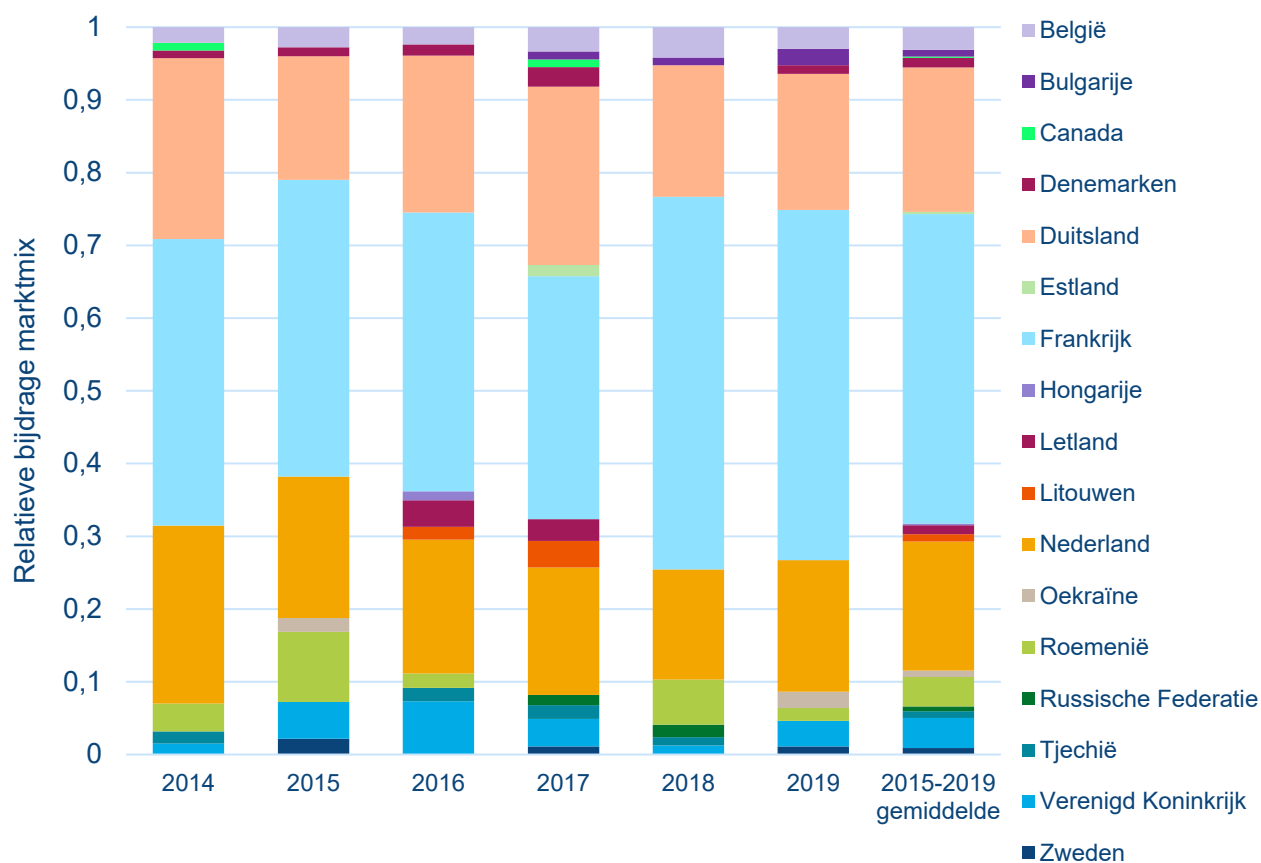
Figuur 7A&B. Carbon-footprint inclusief (A) en exclusief (B) LUC & veenoxidatie-emissies. Marktmixen van verschillende materialen in Nederland, inclusief teelt in verschillende herkomstlanden en transport naar Nederland. Herkomstlanden op basis van handels- en productiestatistieken van FAOSTAT versus data van SecureFeed monitoring in het jaar 2019. N.B.: omdat er geen impact data voor triticale uit Luxemburg beschikbaar is, is de marktmix voor de FAOSTAT 2019 marktmix herschaald zonder Luxemburg.

De marktmixen berekend op basis van de SecureFeed statistieken, die dus representatiever zijn voor de daadwerkelijke voedergrondstoffenmixen in Nederland, hebben een carbon-footprint van -7% tot +22% ten opzichte van de FAO-statistieken. Wanneer we LUC en Veenoxidatie emissies weglaten, is dit +2% tot +21%. Dit betekent in dit geval dat meer specifieke data leidt tot een hogere carbon-footprint van het mengvoeder.

Deze data zijn natuurlijk beperkt (slechts 5 grondstoffen en op basis van 1 jaar), maar ze geven wel een indicatie van ordegrrootte van verschillen bij gebruik van verschillende bronnen voor grondstofherkomst.

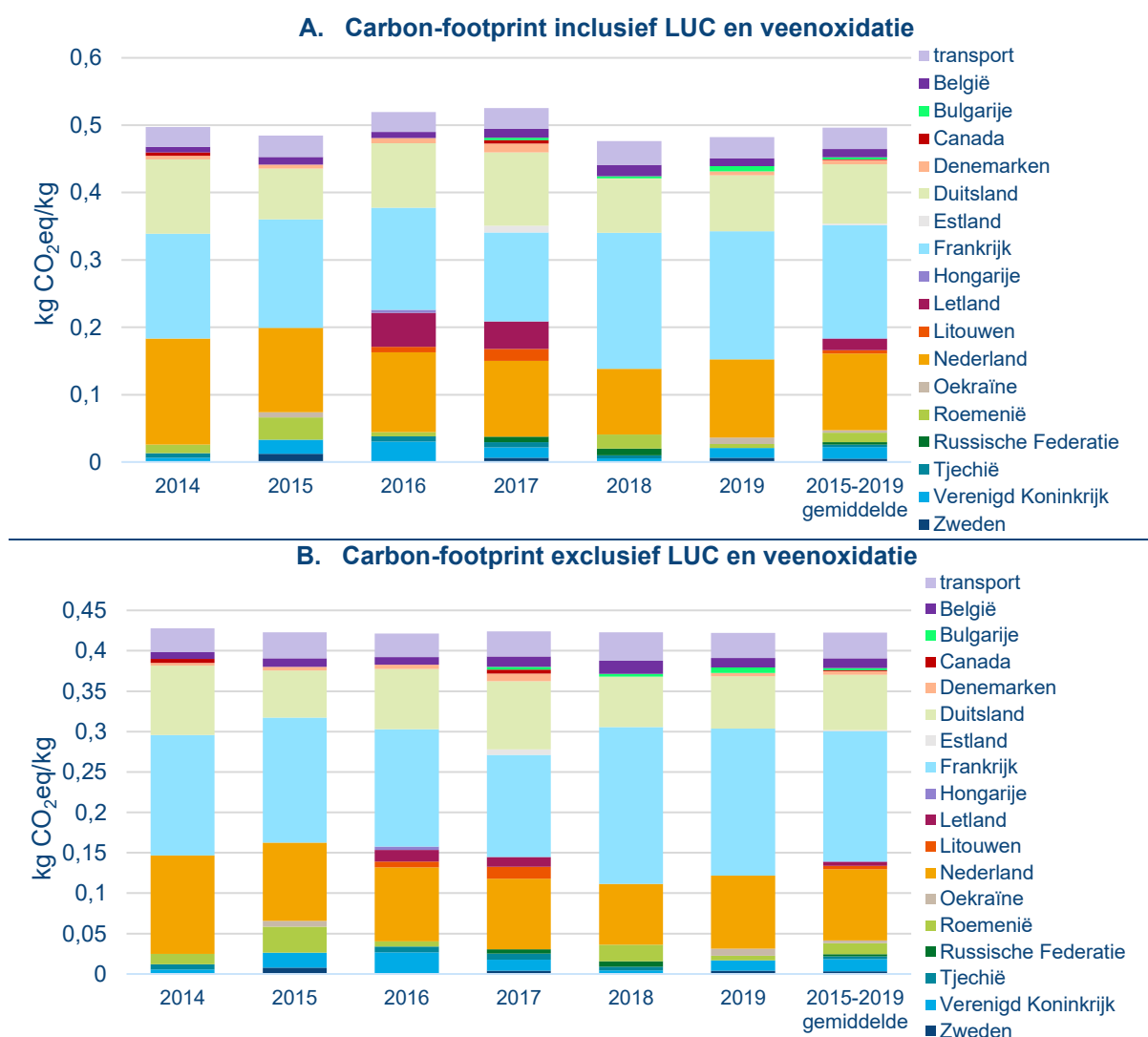
Omdat we maar voor een beperkte selectie van alle voedergrondstoffen in de gemodelleerde mengvoerders data voor herkomst van SecureFeed hebben, kunnen we niet de totale mengvoeder carbon-footprints doorrekenen op basis van SecureFeed herkomst.

Naast de keuze voor welke bron gebruikt wordt voor herkomststatistieken, zijn er ook verschillende manieren om deze statistieken te verwerken. Het gebruik van 5-jaarsgemiddeldes is al aangestipt, en roept de vraag op hoeveel jaarlijkse variatie algemene statistieken laten zien. Figuur 8 geeft de marktmixen voor tarwe in Nederland weer voor 6 opeenvolgende jaren, alsook een 5-jaarsgemiddelde.



Figuur 8 Marktmixontwikkeling van tarwe in Nederland over tijd, op basis van handels- en productiestatistieken van FAOSTAT.

We zien dat de dominante landen in de berekende marktmixen redelijk stabiel zijn. Wanneer we dit doorrekenen naar carbon-footprint, krijgen we resultaten zoals weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9. Carbon-footprint (kg CO₂eq/kg) van tarwe marktmix in Nederland over tijd, inclusief (A) en exclusief (B) LUC & veenoxidatie-emissies. Herkomstmix op basis van handels- en productiestatistieken van FAOSTAT.

De standaarddeviatie van de carbon-footprint voor tarwe marktmixen voor de jaren 2014-2019 is slechts 4%, zonder LUC en veenoxidatie-emissies en zelfs maar 0,5% inclusief. In Tabel 2 geven we de gemiddeldes en standaarddeviaties voor 5 relevante granenmixen in Nederland.

Tabel 2 Gemiddeldes (μ) en standaarddeviaties (σ) van carbon-footprint (kg CO₂eq/kg) van granen marktmixen in Nederland van de jaren 2014-2019

	Excl. LUC/veenoxidatie		Incl. LUC/veenoxidatie	
	M	σ %	μ	σ %
Erwt	0.75	6.3%	0.56	6.7%
Gerst	0.52	1.4%	0.41	0.7%
Mais	0.54	11.1%	0.40	2.5%
Rogge	0.70	2.3%	0.48	1.5%
Tarwe	0.50	4.2%	0.42	0.5%

Het tijdseffect in de 5 granen is dus minder groot dan het verschil in carbon-footprint van materialen tussen landen, of de keuze voor de ene statistische bron voor herkomst ten opzichte van de andere.

3.3 Gebruik van meer specifieke teelt data

Bij de berekening van de carbon-footprint van mengvoergrondstoffen zijn de data van activiteiten gedurende de teelt cruciaal. Denk hierbij aan data van gewasopbrengst, kunstmestgebruik en energiegebruik. Bij de ontwikkeling van de Agri-footprint database (en andere LCA-databases) wordt dit soort teeltdata gemodelleerd op basis van verschillende bronnen, zoals statistische data vanuit publiek beschikbare bronnen of (wetenschappelijke) publicaties. De teeltdata in achtergrond databases geeft daarmee slechts een benadering van de teeltdata van een individueel bedrijf.

Om te onderzoeken wat de impact op de carbon-footprint is bij het gebruik van primaire teeltdata hebben we de teeltdata van 2010-2021 vanuit het Bedrijven Informatienet (BIN) ontsloten voor gerst, tarwe en aardappels. Om de privacy te waarborgen is de data van agrarische bedrijven uit BIN per jaar en gewas geclusterd in sets van 10 bedrijven⁴. Per gewas per jaar zijn er voor elk jaar zo'n 5-15 clusters gevormd. De gemiddelde teeltdata van ieder cluster van 10 bedrijven is ingevoerd in hetzelfde model waarmee datasets voor de Agri-footprint database zijn ontwikkeld. Hiermee kunnen we uitsluiten dat de verschillen in de carbon-footprint resultaten een gevolg zijn van verschillen in modellering; zij zijn dus enkel een gevolg van meer specifieke teeltdata.

⁴ Meer informatie over deze data en de methode van clustering is terug te vinden in de Appendix - Beschrijving BIN-data.



Figuur 10 A1-C3: Overzicht van de carbon-footprint resultaten van Gerst, Tarwe en Aardappelen op basis van BIN data. De rode lijn representeert de carbon-footprint voor het betreffende gewas (uit Nederland) in LCA database Agri-footprint.

Figuur 10 geeft een overzicht van de carbon-footprints die gegenereerd zijn met behulp van de BIN-data. Hierbij zijn emissies ten gevolge van veenoxidatie buiten beschouwing gelaten. Subfiguren A1, B1 en C1, aan de linkerkant, geven per gewas de spreiding weer van de carbon-footprints van de verschillende clusters. Bij deze analyse is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende jaren. De blauwe rechthoek geeft de hoogte van de carbon-footprint weer voor 50% van clusters in het midden van de verdeling. Voor gerst en tarwe ligt de carbon-footprint van deze mediane bedrijven op

respectievelijk 0.27-0.33 kg CO₂-eq/kg en 0.33-0.40 kg CO₂-eq/kg. Voor aardappelen ligt deze op 0.10-0.12 kg CO₂-eq/kg. De totale spreiding van de carbon-footprint resultaten van de clusters is een stuk breder en wordt gerepresenteerd door de blauwe haken. Daarbij valt het met name op dat voor gerst en tarwe een scheve spreiding in carbon-footprint resultaten bestaat, waarbij de uitschieters naar boven groter zijn dan naar beneden. De “stippen” zijn carbon-footprint resultaten die statistisch gezien als ‘outlier’ worden geclassificeerd. Voor tarwe zijn er geen ‘outliers’ en voor gerst en zijn er slechts 2 ‘outlier’; voor aardappelen zijn er in totaal 8, waarvan 6 met een hogere carbon-footprint en 2 met een lagere carbon-footprint. De ‘outliers’ met een hoge carbon-footprint voor aardappelen stammen vrijwel allemaal uit het jaar 2018 toen er sprake was van lage opbrengsten ten gevolge van de extreme droogte in de zomer- en herfstperiode.

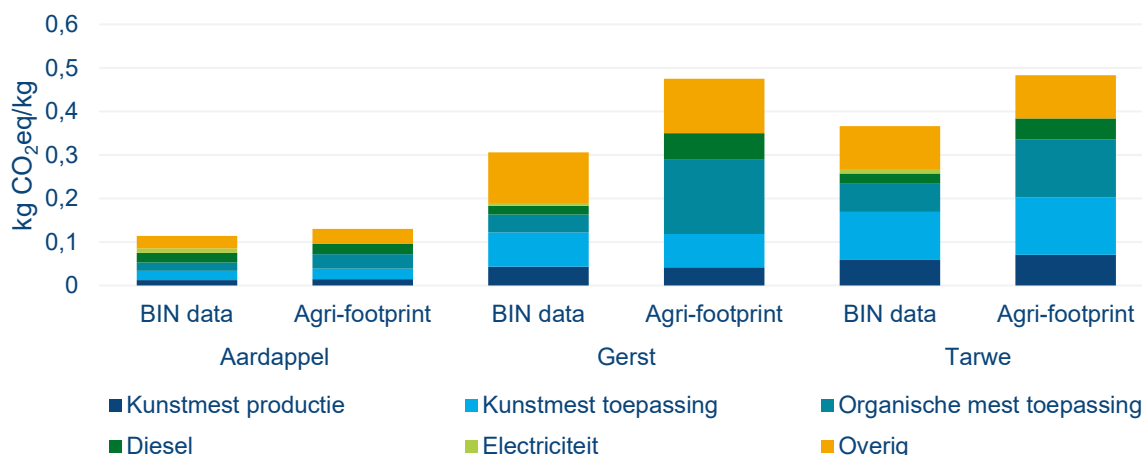
Aan de rechterkant van Figuur 10 is in de sub-figuren A2, B2 en C2 per gewas per jaar de gemiddelde carbon-footprint weergegeven zoals berekend met de BIN-data. Voor geen van de gewassen is een duidelijke trend waar te nemen in de carbon-footprint. Wel zijn er per gewas verschillen waar te nemen tussen jaren. Zo was de carbon-footprint voor aardappelen in 2018 flink hoger door extreme droogte en was de carbon-footprint voor gerst en tarwe in 2011 en 2016 hoger dan in andere jaren. Ook daar liggen relatief lage opbrengsten ten grondslag aan de hogere carbon-footprint.

In ieder sub-figuur is per gewas met een rode lijn de carbon-footprint van de Nederlandse dataset uit Agri-footprint weergegeven (exclusief de emissies ten gevolge van veenoxidatie). Voor tarwe en aardappelen ligt de carbon-footprint van de achtergrond dataset hoger dan het gemiddelde van de BIN-data, maar binnen de range waarin dit niet als een ‘outlier’ gezien zou worden als het een BIN-dataset geweest zou zijn. Voor gerst ligt de carbon-footprint iets boven deze ‘outlier’ grens.

De onderliggende oorzaken van deze verschillen worden verder uitgediept aan de hand van Figuur 11. Deze figuur toont per gewas een gedetailleerdere opsplitsing van de carbon-footprint van zowel het gemiddelde BIN-resultaat als het resultaat van Agri-footprint. Hierbij zijn emissies ten gevolge van veenoxidatie buiten beschouwing gelaten, aangezien hier geen primaire data voor beschikbaar was binnen BIN.

De meest opvallende verschillen zijn waar te nemen bij gerst en tarwe, waar de carbon-footprint van organische mest toepassing flink hoger is in de statistische/modelmatige benadering van Agri-footprint dan in de BIN-data. De oorzaak hiervan is dat er een groot verschil bestaat in de hoeveelheid stikstof uit organische mest die gebruikt is als input bij de teelt tussen beide bronnen. In Agri-footprint wordt de hoeveelheid mest geschat aan de hand van statistieken over het totale aantal dieren, de geproduceerde mest en het totale areaal waarop mest kan worden toegepast in Nederland⁵. Deze schatting resulteert in een gemiddelde hoeveelheid mest die per hectare wordt toegediend van 194 kg N/ha (onafhankelijk van het gewas dat wordt verbouwd). Uit de BIN-data van 2010-2021 komt respectievelijk voor gerst en tarwe een gemiddelde van 42 en 90 kg N/ha naar voren. Deze waarden uit het BIN sluiten beter aan bij de praktijk in Nederland. Ook voor aardappelen is het gebruik van organische mest het grootste verschil qua teeltdata tussen Agri-footprint (194 kg N/ha) en BIN (110 kg N/ha).

⁵ Gegeven het mestoverschot is deze aanpak voor Nederland niet volledig representatief. Zo wordt een aanzienlijk deel (~20%) van de totale mest geëxporteerd of verwerkt ([bron](#)).



Figuur 11 Opsplitsing van de carbon-footprint van BIN data (gemiddeld) en Agri-footprint voor Nederlandse gewassen. Emissies als gevolg van veenoxidatie zijn in dit figuur buiten beschouwing gelaten.

Een tweede oorzaak van het verschil in carbon-footprint bij tarwe en gerst is het dieselgebruik. Bij tarwe is dit voor de BIN-data ongeveer 50% lager dan in Agri-footprint, en voor gerst zelfs 70%. Voor aardappelen is het dieselgebruik daarentegen weer vergelijkbaar. Het verschil in dieselgebruik kan voor een belangrijk deel weer verklaard worden door het verschil in toepassing van dierlijke mest. Tenslotte is ook de hoeveelheid co-producten (stro) een datapunt waarin de BIN-data verschillen van Agri-footprint. Deze hoeveelheid co-producten beïnvloedt de allocatiefactor naar graan en dit kan enkele procenten verschil maken op de carbon-footprint⁶.

3.4 Verschillen door LCA methodiek

Er zijn 4 methodologische aspecten die bij de berekening van broeikasgasemissies van mengvoeders tot grote verschillen kunnen leiden:

- 1) Emissiefactoren en 'tier'-niveaus
- 2) Karakterisatiefactoren (GWP emissiefactoren per broeikasgas)
- 3) Achtergrond datasets
- 4) Landgebruiksverandering (LUC)

Binnen de bestaande methodologische kaders is er ruimte om verschillende keuzes te maken. En deze keuzes hebben effect op de uitkomsten van de carbon-footprint berekeningen. Voor mengvoeders worden deze verschillen onderstaand verder uitgediept, waarbij een indicatie wordt gegeven van de orde van grootte van de variatie.

3.4.1 Emissiefactoren en 'tier'-niveaus

Bij de teelt van voedergewassen vinden lachgas (N₂O) emissies plaats op het veld. Deze lachgasemissies zijn een gevolg van microbiologische nitrificatie en denitrificatie processen in de bodem. De hoeveelheid lachgas die hierbij geproduceerd wordt, is van vele factoren afhankelijk en moeilijk op grote schaal precies te modelleren. In LCA wordt daarom veelal gebruik gemaakt van vereenvoudigde formules van het IPCC. Deze formules zijn ontwikkeld om landen te ondersteunen bij hun rapportage van broeikasgasemissie aan de Verenigde Naties (VN). In deze formules wordt de aangebrachte hoeveelheid stikstof vanuit verschillende bronnen vermenigvuldigd met bijbehorende

⁶ In dit rapport zijn we niet verder ingegaan op de verschillen die door allocatie kunnen worden veroorzaakt. Meer hierover in een andere publicatie in dit PPS project "De invloed van allocatie in levenscyclusanalyse op het berekenen van broeikasgasemissies van de Nederlandse agrosector, 2022"

emissiefactoren. De emissiefactoren kunnen op 3 verschillende 'tier'-niveaus worden gekozen. Voor het laagste niveau (tier 1) schrijft het IPCC gestandaardiseerde emissiefactoren voor. Echter voor tier 2 en tier 3 kan/mag ieder land eigen emissiefactoren hanteren, mits deze goed wetenschappelijk onderbouwd zijn. Er kunnen grote verschillen zijn tussen de emissiefactoren op tier 1 en emissiefactoren op tier 2 of tier 3 (tussen de 0,03 en 6 keer van de standaard emissiefactor). Ter illustratie hiervan zie onderstaande tabel uit de Nederlandse NIR rapportage (2024).

Table 5.9 EFs for direct N₂O emissions from agricultural soils (kg N₂O-N per kg N supplied, except Mineralisation/immobilisation associated with losses/gains of soil organic matter, which is expressed in kg N₂O-N per kg CO₂)

Source	Default IPCC	EF used	Reference
Inorganic N fertiliser	0.01	0.013	1
Mineral soils grassland		0.008	1
Organic soils grassland		0.030	1
Mineral soils arable land		0.007	1
Organic soils arable land		0.030	1
Animal manure application	0.01		
Surface spreading average		0.004	1
Mineral soils grassland		0.001	1
Organic soils grassland		0.005	1
Mineral soils arable land		0.006	1
Organic soils arable land		0.005	1
Incorporation into soil average		0.009	1
Mineral soils grassland		0.003	1
Organic soils grassland		0.010	1
Mineral soils arable land		0.013	1
Organic soils arable land		0.010	1
Sewage sludge	0.01		
Surface spreading		0.004	1
Incorporation into soil		0.009	1
Compost	0.01	0.004	2
Animal manure during grazing (cattle/swine/poultry)	0.02	0.033	1
Mineral soils		0.025	1
Organic soils		0.060	1
Animal manure during grazing (sheep/other animals)	0.01	0.033	1
Mineral soils		0.025	1
Organic soils		0.060	1
Crop residues	0.01	0.01	3
Grassland renewal		5.5*	5
Mineralisation/immobilisation associated with losses/gains of soil organic matter	0.01		
Cultivation of organic soils		0.02	3, 4

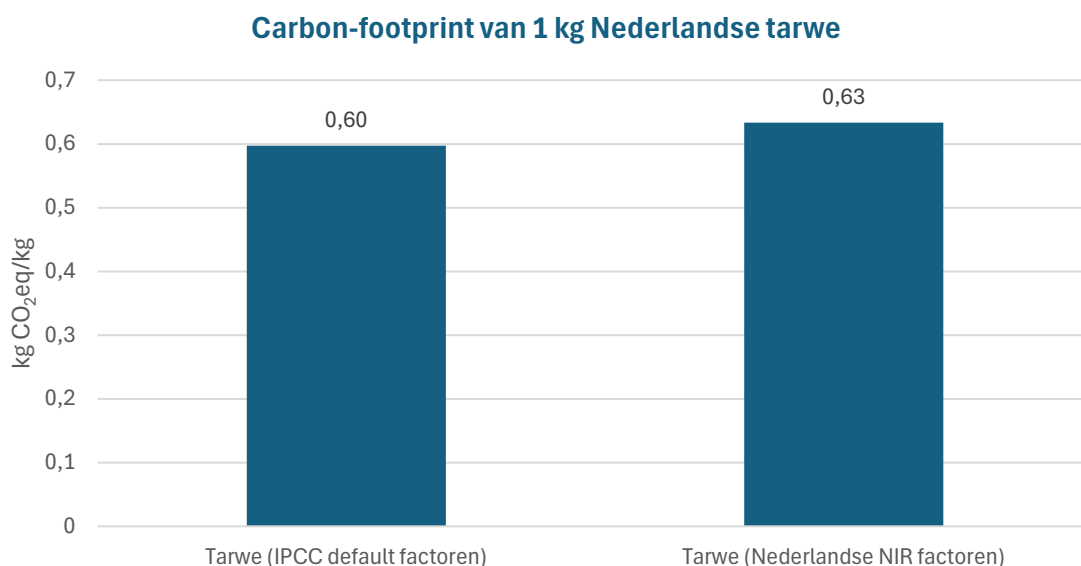
*kg N₂O-N per ha grassland renewed
References: 1 = Velthof et al. (2010), Velthof and Mosquera (2011), Van Schijndel and Van der Sluis (2011); 2 = equal to that of surface-applied manure (Velthof and Mosquera, 2011); 3 = Van der Hoek et al. (2007); 4 = Kuikman et al. (2005); 5 = Velthof et al. 2010b.

Figuur 12 Emissiefactoren uit de Nederlandse NIR in vergelijking met de default IPCC waardes.

In LCA en carbon-footprint studies wordt de keuze van het tier-niveau bepaald op basis van het specifieke doel van de studie. In gestandaardiseerde LCA-databases zoals Agri-footprint worden voor de berekening van de carbon-footprint van mengvoergroeistoffen tier 1 emissiefactoren voor de teelt gebruikt, om zo een consistente modellering te waarborgen voor verschillende landen. In individuele studies of tools kunnen echter ook andere tier-niveaus gehanteerd worden. Zo worden in KringloopWijzer tier 2 emissiefactoren gehanteerd voor het voer dat op de melkveehouderij wordt verbouwd. Tegelijkertijd worden in KringloopWijzer achtergrond datasets voor aangekochte enkelvoudige- en mengvoeren gebruikt gebaseerd op tier 1 emissiefactoren, ook voor ruwvoer.

In Figuur 13 worden twee variaties van de carbon-footprint van tarwe geteeld in Nederland getoond, het belangrijkste voedergewas (voor gerst, het tweede belangrijkste voedergewas zijn de resultaten sterk vergelijkbaar). De linker kolom representeert het originele Agri-footprint (versie 6) proces, waarin tier 1 emissiefactoren gehanteerd worden. De rechterkolom is een aanpassing van het Agri-footprint

proces, waarbij de lachgasemissies zijn berekend met tier 2 modellering op basis van NIR-waardes (incorporation into soil) uit bovenstaande tabel. Bij deze berekening is uitgegaan van een fractie van 15% organische bodems en 85% minerale bodems. Voor Nederlandse tarweproduktie leidt het gebruik van tier 2 emissiefactoren voor lachgas tot een 6% hogere carbon-footprint voor tarwe.

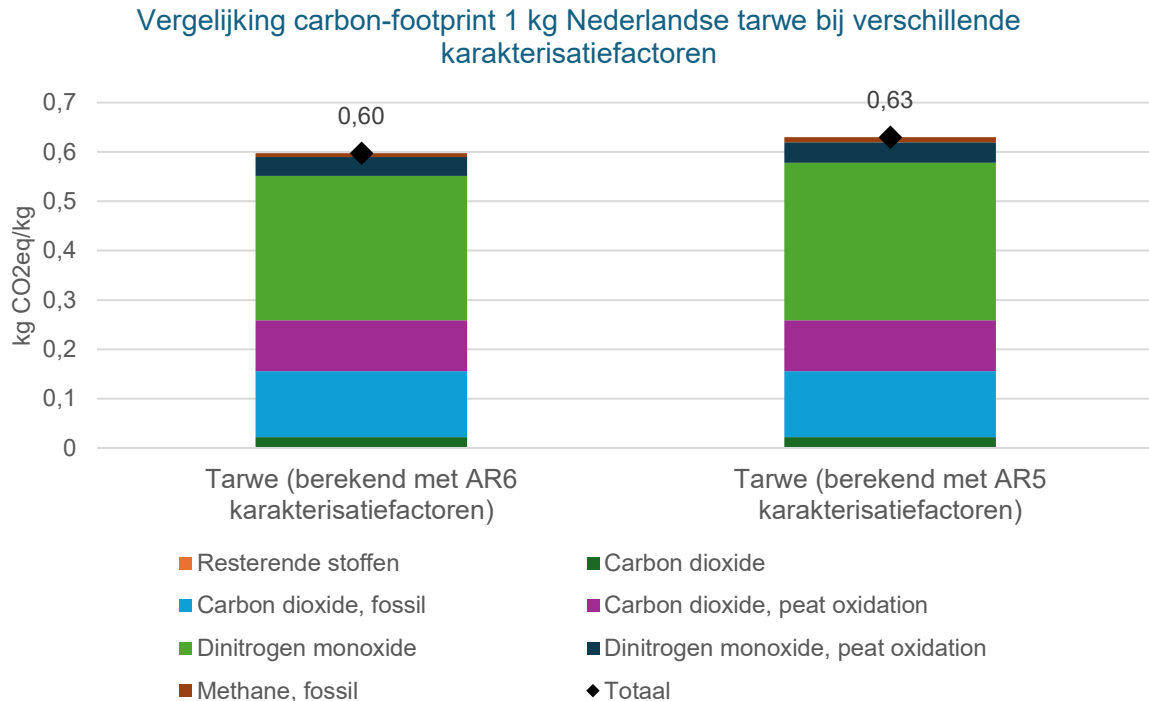


Figuur 13 Vergelijking van de carbon-footprint van 1 kg Nederlandse tarwe wanneer berekend met IPCC default emissiefactoren (links) en met Nederlandse NIR Factoren (rechts)

3.4.2 Karakterisatiefactoren

Gedurende de productieketen van mengvoeders worden verschillende broeikasgassen uitgestoten. Om tot een carbon-footprint van mengvoeders te komen worden alle broeikasgassen omgerekend naar een hoeveelheid CO₂-equivalenten met een karakterisatiefactor. In carbon-footprint studies worden normaliter de Global Warming Potentials (GWP) over een tijdsspanne van 100 jaar (GWP-100) gebruikt als karakterisatiefactoren voor de verschillende broeikasgassen. Deze GWP-100 waardes worden door het IPCC opnieuw vastgesteld bij ieder nieuw assessment report. Voor mengvoeders is met name de karakterisatiefactor voor lachgas (N₂O) van belang. In het zesde assessment report (AR6) van het IPCC is de GWP-100 voor lachgas vastgesteld op 273 kg CO₂-eq/kg N₂O. In eerdere assessment reports was hierin met 298 (AR4) en 265 (AR5) zo'n 10% variatie.

Wanneer we de carbon-footprint van 1 kg tarwe uit Nederland, zoals gemodelleerd in Agri-footprint, berekenen met GWP-100 waardes van AR5 ligt deze 5% hoger dan wanneer we deze berekenen met GWP-100 waardes van AR6 (zie Figuur 14). Uiteraard is het aan te raden om altijd de laatste karakterisatiefactoren te hanteren. Echter, zowel bedrijven als overheden implementeren nieuwe karakterisatiefactoren met een zekere vertraging in verband met project- en rapportagecycli en blijven in de praktijk soms nog enkele jaren rekenen/rapporteren met verouderde karakterisatiefactoren.



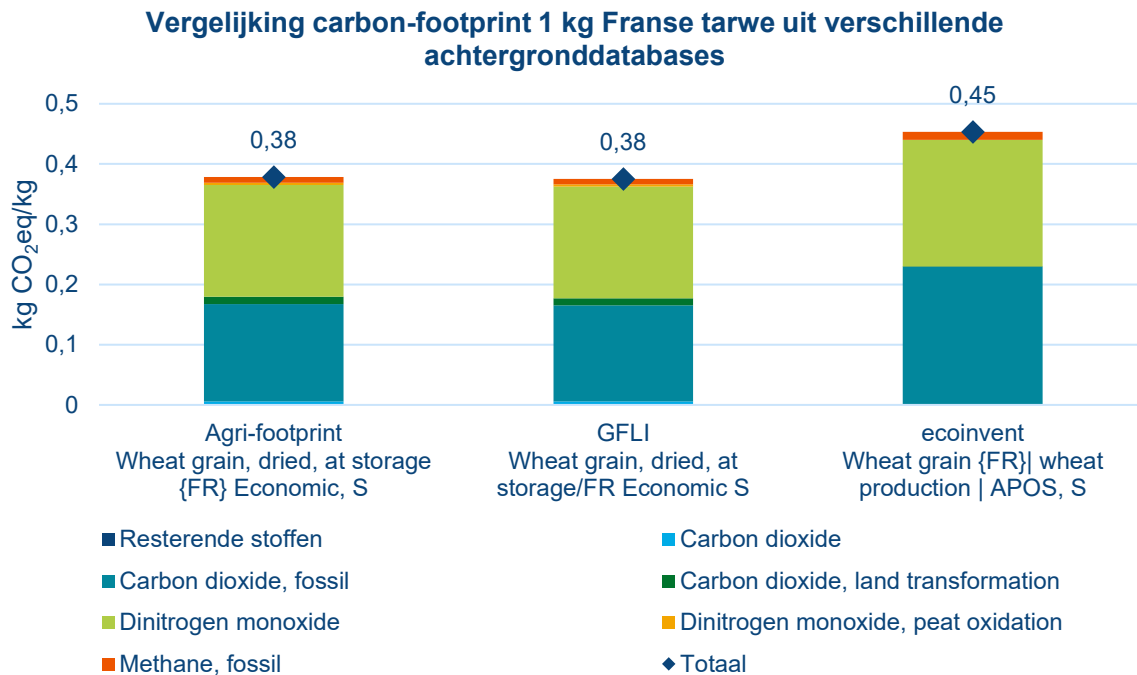
Figuur 14 Vergelijking van carbon-footprint van 1 kg Nederlandse tarwe wanneer berekend met karakterisatiefactoren van AR6 (links) en AR5 (Rechts)

3.4.3 Gebruik van andere databases

In dit rapport is steeds uitgegaan van de Agri-footprint database als referentiedatabase. Deze database is ook de basis voor de GFLI-data en de EF-database die door de Europese Commissie wordt gepubliceerd. Er zijn kleine verschillen voor een paar processen en in de EF-database worden andere achtergrond data gebruikt voor energie en transport. Daarnaast zijn er andere LCA-databases waarin landbouwdata terug te vinden zijn. De meest gebruikte is ecoinvent en voor Frankrijk is Agribalyse een bekende database. In de Nederlandse context zijn er daarnaast nog WUR-feedprint en de Nevedi-lijst, die beide bedoeld zijn voor carbon-footprint berekeningen voor (meng)voeders.

Tussen sommige databases bestaan naast verschillen in gebruikte achtergrond data ook verschillen in modelleringswijze. Een uitgebreide beschrijving van al deze verschillen ligt buiten de scope van de huidige studie. Ter illustratie van de grootte van het effect hebben we in Figuur 15 de carbon-footprint van tarweproductie in Frankrijk⁷ vergeleken voor achtergrond datasets uit Agri-footprint, GFLI en ecoinvent. Tussen Agri-footprint en GFLI zijn de verschillen minimaal. Dit is logisch aangezien beide ontwikkeld zijn door Mérieux NutriSciences | Blonk en ontwikkeld zijn met dezelfde modellering en in dit geval vergelijkbare brondata. Echter, de carbon-footprint berekend met de ecoinvent achtergrond dataset ligt 20% hoger dan die voor Agri-footprint en GFLI. De gemodelleerde hoeveelheid lachgasemissies is voor dit proces hoger in ecoinvent en verantwoordelijk voor eenderde van het waargenomen verschil. De overige tweederde van het verschil wordt veroorzaakt binnen de modellering van koolstofdioxide. Belangrijkste oorzaken van dit verschil zijn een andere aanpak bij de modellering van de activiteiten van landbouwmachines en de productieprocessen van kunstmest. Dit voorbeeld laat zien dat een consistente modellering over gewassen heen uitermate belangrijk is voor de interpretatie van de resultaten op mengvoederniveau.

⁷ Er is gekozen voor tarwe uit Frankrijk, aangezien voor tarwe uit Nederland geen informatie beschikbaar was in ecoinvent.



Figuur 15 Vergelijking van carbon-footprint van 1 kg Franse tarwe op basis van 3 verschillende achtergrondatabases. Links=Agri-footprint, Midden=GFLI, Rechts=ecoinvent

3.4.4 Landgebruiksverandering (LUC)

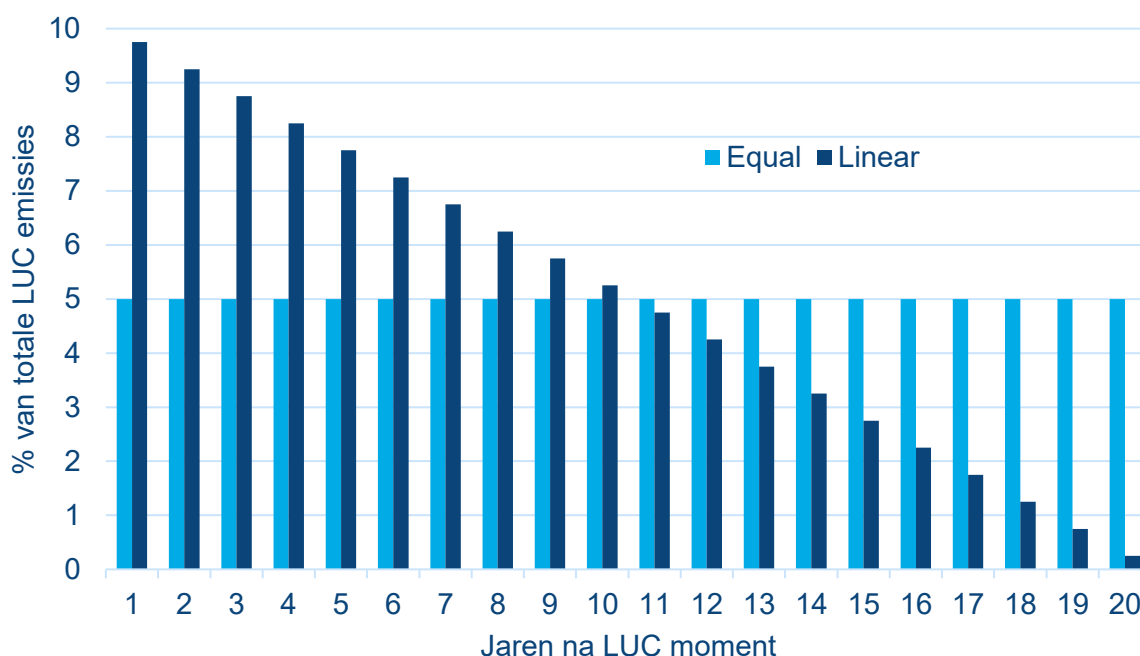
Landgebruiksverandering (LUC) is een belangrijke bron van broeikasgasemissies in de landbouw. Bij de conversie van bos en natuurlijk grasland naar landbouwgrond komen broeikasgassen vrij die meegenomen moeten worden bij de berekening van de carbon-footprint van mengvoergrondstoffen. Er zijn echter verschillende methodes om emissies van landgebruiksverandering mee te nemen binnen carbon-footprint berekeningen:

1. **sLUC (Statistical Land-Use Change):** sLUC baseert emissieberekeningen op statistische gegevens over landgebruik op nationale of regionale schaal. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gemiddelde emissiefactoren voor verschillende landgebruikstypen (bijvoorbeeld akkers, graslanden, of bossen). sLUC is geschikt voor situaties waarin directe gegevens over landgebruiksveranderingen ontbreken, maar er wel statische informatie beschikbaar is. Achtergrondatabases zoals Agri-footprint en de EF-database gebruiken daarom een sLUC-methodiek.
2. **dLUC (Direct Land-Use Change):** Bij dLUC worden emissies berekend op basis van directe veranderingen in landgebruik die verband houden met een specifiek product of proces. Bijvoorbeeld, de conversie van tropisch regenwoud naar een plantage voor de productie van palmolie. dLUC maakt vaak gebruik van specifieke emissiefactoren en ruimtelijke data om de koolstofveranderingen in bodem en biomassa te kwantificeren.
3. **iLUC (Indirect Land-Use Change):** iLUC richt zich op de indirecte effecten van landgebruiksveranderingen, zoals wanneer de vraag naar landbouwgrond voor biobrandstoffen leidt tot de ontginning van bossen of graslanden elders. iLUC-emissies worden vaak geschat met behulp van complexe economische modellen die mondiale marktdynamieken en landverschuivingen simuleren.

Bij de berekening van carbon-footprints van mengvoerders worden vrijwel altijd datasets uit achtergrond databases gebruikt. In dergelijk achtergrond databases wordt de sLUC methodiek gehanteerd, omdat gemiddelde footprints voor regio's of gehele landen worden berekend over een tijdsperiode van 20 jaar.

Binnen alle LUC methodieken is de manier van afschrijving over de tijd een belangrijke methodologische overweging. Deze afschrijving of “amortization” is nodig om de emissie van landgebruiksverandering toe te kunnen schrijven aan de teelt van gewassen. De emissies van ontbossing komen immers grotendeels vrij bij het ontbossingsproces zelf doordat in biomassa opgeslagen koolstof in de atmosfeer terecht komt en niet direct bij de teelt van de daaropvolgende gewassen. Wat betreft de lengte van deze afschrijvingsperiode wordt bij LCA-studies vrijwel altijd een periode van 20 jaar gehanteerd in navolging van de PAS 2050 (BSI, 2012).

Voor de afschrijvingswijze zijn er 2 gangbare methodes in omloop: gelijke afschrijving, zoals voorgeschreven in de PEF en lineair afnemende afschrijving, zoals aanbevolen in het concept GHG-protocol, vooral gebruikt in het kader van Science Based Target Initiative (SBTi) rapportages. Het verschil tussen beiden is weergegeven in Figuur 16. Bij gelijke afschrijving wordt voor alle 20 jaren na het moment van landgebruiksverandering dezelfde hoeveelheid emissies toegeschreven. Bij lineair afnemende afschrijving neemt de hoeveelheid emissies ieder jaar lineair af. Beide methodes hebben voor- en nadelen en in de (wetenschappelijke) discussie hierover is nog geen definitieve consensus bereikt.

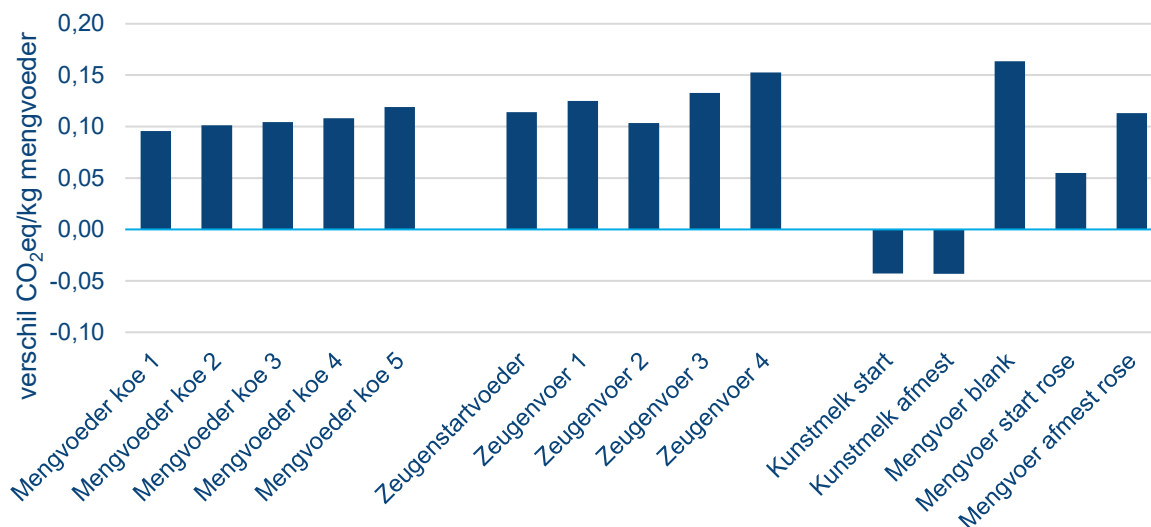


Figuur 16 Vergelijking tussen de jaarlijkse afschrijving van emissies ten gevolge van Landgebruiksverandering bij een Gelijke (Equal) en Lineair (Linear) afnemende afschrijvingsmethode

In Figuur 15 wordt het effect van de keuze tussen een gelijke of lineair afnemende afschrijvingsmethode weergegeven voor 15 verschillende mengvoeders die in het kader van de PPS zijn bestudeerd. Als basis is daarbij een gelijke afschrijving gehanteerd. Voor 13 van 15 krachtvoerders leidt het gebruik van lineaire afschrijving tot een hogere carbon-footprint van het mengvoeder. Het verschil van 0.05-0.15 kg CO₂-eq/kg mengvoeder komt overeen met zo'n 5-20% van de totale carbon-footprint van de mengvoeders. De impact van deze methodologische keuze is daarmee dus vrij groot. Op dit moment wordt door de Europese Commissie nagedacht welke methode de voorkeur verdient en een publicatie hierover kan worden verwacht in het najaar van 2025.

We hebben vanwege de onduidelijkheid hoe Round Table on Responsible Soy (RTRS) certificaten voor soja moeten worden doorgerekend in LCA, geen andere aannamen gemaakt over wanneer de landconversie heeft plaatsgevonden. Zou een producent aantoonbaar kunnen maken wanneer landconversie heeft plaatsgevonden, voor of in de afgelopen 20 jaar, dan kan een meer specifieke

berekening worden gedaan. Het is niet zo dat deze automatisch beter uitkomt dan de standaard berekening die we hier hebben gehanteerd, waarbij slechts een deel van het land is geconverteerd.



Figuur 17 Weergave van de impact op de carbon-footprint van 15 verschillende mengvoeders wanneer lineaire afschrijving wordt gebruikt in plaats van gelijke afschrijving. Een positieve waarde betekent dat de carbon-footprint bij lineaire afschrijving hoger is dan bij gelijke afschrijving

4. Conclusies en discussie

Deze studie bevestigt dat het gebruik van meer specifieke data en methodiek effect heeft op de uitkomsten van de carbon-footprint berekening van mengvoeders en dierlijke productiesystemen. Daarbij hebben we specifiek ingezoomd op het gebruik en de productie van hele granen in Nederland. We hebben daarbij drie onderwerpen onderzocht:

1. De keuze van statistische bronnen voor herkomst van grondstoffen
2. Het gebruik van meer specifieke data voor de teelt van Nederlandse voedergewassen
3. Het toepassen van een meer specifieke modellering van broeikasgasemissies bij de teelt van voedergewassen

We hebben de Agri-footprint (versie 6) database als referentie gebruikt om deze drie onderwerpen te onderzoeken omdat dit wereldwijd de meest gebruikte database is voor in GFLI of PEF-conforme studies naar mengvoeder en dierlijke productiesystemen.

1. Herkomst van mengvoedergrondstoffen gewassen

De carbon-footprint van een mengvoedergrondstof geteeld in verschillende herkomstlanden kan aanzienlijk verschillen. Voor de vijf granen die we hier in beschouwing hebben genomen zien we grote verschillen met name als gevolg van landsgebruiksverandering (LUC: Land Use Change) en veenoxidatie-emissies. We zien voor de totale carbon-footprint van deze grondstoffen een standaarddeviatie van 24-54% van het gemiddelde. Voor de carbon-footprint exclusief LUC en veenoxidatie is dit 9-26%. Het is daarom zeer relevant om precieze herkomstdata te gebruiken. Het gebruik van specifieke herkomstdata voor mengvoederbedrijven is overigens niet verplicht gesteld in de Europese PEF-Feed for Food Producing Animals wanneer het mengvoederbedrijf dit niet zou kunnen weten door het type contract met de leveranciers. Wanneer deze informatie wel bekend is, moet de specifieke herkomst informatie wel gebruikt worden.

Het gebruik van herkomstaandelen van granen berekend op basis van de voor Nederland meer representatieve SecureFeed statistieken in plaats van FAO-statistieken zoals gebruikt in Agri-footprint, resulteert in een carbon-footprint van -7% tot +22% ten opzichte van de Agri-footprint herkomstmix aannames. Wanneer we LUC en Veenoxidatie emissies weglaten, is dit +2% tot +21%. Deze resultaten betreffen slechts vijf gewassen en één vergelijkingsjaar, maar ze geven wel een indicatie van ordegrrootte van verschillen bij gebruik van verschillende bronnen voor grondstofherkomst. Op dierniveau kunnen de verschillen -4 tot +2 % zijn. Hierbij moet aangetekend worden dat de bijdrage van de onderzochte granen in de mengvoedermixen beperkt is. Het effect kan dus groter zijn wanneer herkomst van meerdere grondstoffen specifieker gemaakt kan worden. Het effect is in specifieke gevallen groot genoeg om te pleiten voor gebruik van meer specifieke data over herkomst in footprinting studies. Overigens moet daarbij ook de variatie/trend over de jaren heen in beschouwing worden genomen.

2. Gebruik van meer specifieke teeltdata

Gebruik van meer specifieke teelt data (op basis van het Bedrijveninformatienet (BIN)) voor drie Nederlandse gewassen geeft in deze studie over het algemeen een lagere carbon-footprint (meer dan 10% lager) dan de waarden uit de Agri-footprint database. Belangrijkste verschillen zijn er in data voor organische bemesting en energiegebruik. In dit geval geeft het gebruik van meer specifieke data een duidelijk lagere carbon-footprint wat motiverend kan werken om deze informatie ook te gaan verzamelen. Ook zijn er duidelijke verschillen in resultaten per teler.

3. Methodologische keuzes

Het gebruik van hogere Tier niveaus in de berekening van lachemissies in de teelt zou voor het belangrijkste Nederlandse voedergewas als mengvoedergrondstof, tarwe, tot een 5%

hogere carbon-footprint leiden. Daarentegen geeft het gebruik van de meer recente AR6 GWP100 factoren voor tarwe een 5% lagere carbon-footprint. Meer specificiteit in methodiek kan leiden tot zowel verhoging als verlaging van de impact. Uiteraard is het streven naar een meer specifieke en actuele methodiek wel aan te bevelen.

Het combineren van data uit verschillende databases is niet aan te bevelen, zoals de vergelijking tussen de Agri-footprint en ecoinvent database laat zien. Tenslotte kunnen nieuwe methodieккеuzen ten aanzien van de LUC berekening (zoals mogelijk worden opgenomen in het nieuwe GHG-protocol) een groot effect hebben op de resultaten.

In deze studie hebben we een aantal oorzaken van variatie in de uitkomsten van de carbon-footprint van mengvoeder meer in detail onderzocht. Het gebruik van meer specifieke data of modellering leidt tot andere uitkomsten. Hier hebben we gekeken naar Nederlandse voedergewassen die een beperkt aandeel vormen van de totale mix van mengvoedergrondstoffen. Het is aannemelijk dat dergelijke verschillen ook gevonden zullen worden in andere grondstoffen die voornamelijk geïmporteerd worden. Hoewel we niet de volledige impact kunnen berekenen, kunnen we indicatief stellen dat grofweg 20% andere carbon-footprint uitkomsten op mengvoederniveau mogelijk zijn en daarmee tot ca. 10% op dierlijk productieniveau voor varkens en blank kalfsvlees waar de mengvoeder impact de helft kan zijn van de totale impact.

Een andere 20% variatie was ook al gevonden in eerdere studies waarbij de seizoenfluctuaties in mengvoedersamenstelling zijn berekend, gekoppeld aan prijsoptimalisaties. Het is overigens niet zo dat deze percentages zomaar bij elkaar opgeteld kunnen worden. Want wat we ook in deze studie zagen, is dat aanpassingen in detailniveau van datagebruik en methodieккеuzen, soms tot een verhoging en soms tot een verlaging van de carbon-footprint van mengvoeder kunnen leiden.

Verbetering van specificiteit van data en methodiek moet uiteraard verder worden nagestreefd. Dit leidt op de korte termijn tot een grote inspanning in de gehele keten die carbon-footprint informatie moet gaan verzamelen en distribueren. Het leidt ook tot continue adaptatie van databaseleveranciers zoals de Europese Commissie, GFLI, Nevedi en Agri-footprint. Voor de databaseleveranciers zijn er telkens uitdagingen wanneer standaarden en richtlijnen nieuwe methodieккеisen stellen. Op de korte termijn (najaar 2025) zal een update van de landbouwmethodeккеisen van de Europese Commissie te verwachten zijn. Hoe groot het effect is, is nu nog onbekend. De implementatie in databases (EF4 van de Europese commissie en GFLI) zal waarschijnlijk pas medio 2027 gereed zijn.

In zijn algemeenheid kunnen we concluderen dat voor het berekenen van carbon-footprints van mengvoeder een consistente methodiek cruciaal is. Deze methodiek moet dan zowel worden toegepast voor het berekenen van de footprint op basis van primaire (specifieke) data als op basis van secundaire data. Hoe specifiek de data over herkomst, teelt, transportmix en andere processen hoe accurater de uitkomsten zullen zijn.

Wat we in deze studie niet hebben aangetoond is dat het gebruik van de huidige standaard databases gebaseerd op consistente secundaire databases zoals Agri-footprint, GFLI of de Nevedi database tot niet bruikbare resultaten leidt. We hebben alleen geconstateerd dat een meer accuraat resultaat, berekend op basis van meer specifieke data of methodiek, behoorlijk kan afwijken. Een cruciaal vraagstuk is vervolgens of dat het huidige gebruik van niet perfecte secundaire data, leidt tot het nemen van verkeerde beslissingen ten aanzien van wijzigingen in de mengvoederketens en mengvoedersamenstelling. Dit hebben we hier niet onderzocht en vereist een ander type onderzoek. Het is in zijn algemeenheid aan te bevelen om verbeterstrategieën die moeten leiden tot een structureel lagere carbon-footprint van mengvoeder te definiëren op basis van consequentieel LCA-onderzoek waarbij grotere systeemeffecten in acht worden genomen.

5. Referenties

- Blonk, H., Kool, A., & Ponsioen, T. (2009). *Duurzaam voeren voor duurzame kaas* (Issue November).
- Blonk, H., & Ponsioen, T. (2009). *Towards a tool for assessing carbon footprints of animal feed* (Issue November). Blonk Milieu Advies, Gouda.
- Blonk Sustainability Tools. (2022). *Agrifootprint 6.3 database*.
- BSI. (2012). *PAS 2050-1: 2012 Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products*. BSI.
- Draijer, N., Blonk, H., Mostert, P., & Reijs, J. (2024). *De invloed van allocatie in levenscyclusanalyse op het berekenen van broeikasgasemissies van Nederlandse agrosector*.
- European Commission. (2018). *PEFCR Feed for food-producing animals* (Vol. 2020, Issue February). https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Feed_Feb_2020.pdf
- FAO. (2016). *Environmental performance of animal feeds supply chains (version 1)*. <http://www.fao.org/3/a-i6433e.pdf>
- FAO. (2024). *FAOstat*. Annual Crop Production Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- FEFAC. (2016). *PEFCR Feed for food producing animals* (Issue July). https://www.mr.gov.pl/media/23552/pasza_metodyka.pdf
- GFLI. (2023). *GFLI methodology and project guidelines, v2*. <https://globalfeedlca.org/wp-content/uploads/2023/01/GFLI-Methodology-and-Project-Guidelines.V2.pdf>
- Vellinga, Th. V., Blonk, H., Marinussen, M., Zeist, W. J. van, Boer, I. J. M. de, & Starmans, D. (2013). Methodology used in FeedPrint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization. In *Livestock Research Wageningen* (Issue September, report 674).

Appendix - Beschrijving BIN-data

De data in dit onderzoek zijn afkomstig uit het Bedrijven Informatienet (BIN), dat beheerd wordt door Wageningen Social & Economic Research. Het BIN bevat gedetailleerde boekhoudkundige gegevens van ongeveer 1500 agrarische bedrijven in Nederland. De dataset is gebruikt om het Blonk CROP-model te draaien en richt zich specifiek op akkerbouwbedrijven die aardappelen, gerst, korrelmaïs en tarwe telen in de periode van 2010 tot en met 2021.

Beschikbare Gegevens

De volgende gegevens uit het BIN zijn gebruikt voor de analyses:

- Fysieke gewasopbrengsten:
 - Hoofdproduct (kg/ha)
 - Bijproduct (kg/ha)
- Energieverbruik:
 - Elektriciteit, gealloceerd op basis van gewasopbrengsten.
 - Diesel, gealloceerd op basis van areaal (hectares).
- Berekening (m³/ha)
- Pesticidegebruik:
 - Herbicide, fungicide, en andere middelen (werkzame stof per ha).
- Mesttoepassingen (per ha):
 - Dierlijke mest (stikstof - N, fosfaat - P, en kalium - K).
 - Kunstmest (N, P, en K).
 - Overige organische mest, zoals compost en champost (N, P, en K).

De meeste gegevens zijn beschikbaar op gewasniveau. Uitzondering zijn energiegegevens, welke alleen op bedrijfsniveau beschikbaar zijn. Elektriciteit- en dieserverbruik zijn gealloceerd naar gewassen op basis van respectievelijk fysieke opbrengsten (elektriciteit) en areaal (diesel).

Clusterindeling

Om individuele bedrijfsgegevens te beschermen en tegelijkertijd relevante variaties te behouden, zijn de data gegroepeerd in clusters. Deze clusters zijn gevormd op basis van twee kernindicatoren:

1. Gewasopbrengst (kg/ha).
2. Stikstoftoepassing (kg N/ha).

Deze indicatoren zijn geschaald door het gemiddelde af te trekken en te delen door de standaardafwijking. Vervolgens is een *principal component (PC) analyse* gedaan van deze twee geschaalde waarden (Zhou, 2021, pp. 247-249). Op basis van deze PCs zijn bedrijven gegroepeerd in clusters van 10 observaties, gesorteerd per jaar en gewas. Per cluster is een gemiddelde genomen van de genoemde gegevens, gewogen naar areaal (ha). Zo tellen observaties met groter areaal zwaarder mee in de bepaling van het cluster gemiddelde dan observaties met een klein areaal.

De clustering is gekozen omdat gewasopbrengst en stikstoftoepassing waarschijnlijk de grootste invloed hebben op broeikasgasemissies. Hierdoor blijft de variatie die relevant is voor de emissieberekeningen grotendeels behouden.

Overzicht van de Dataset

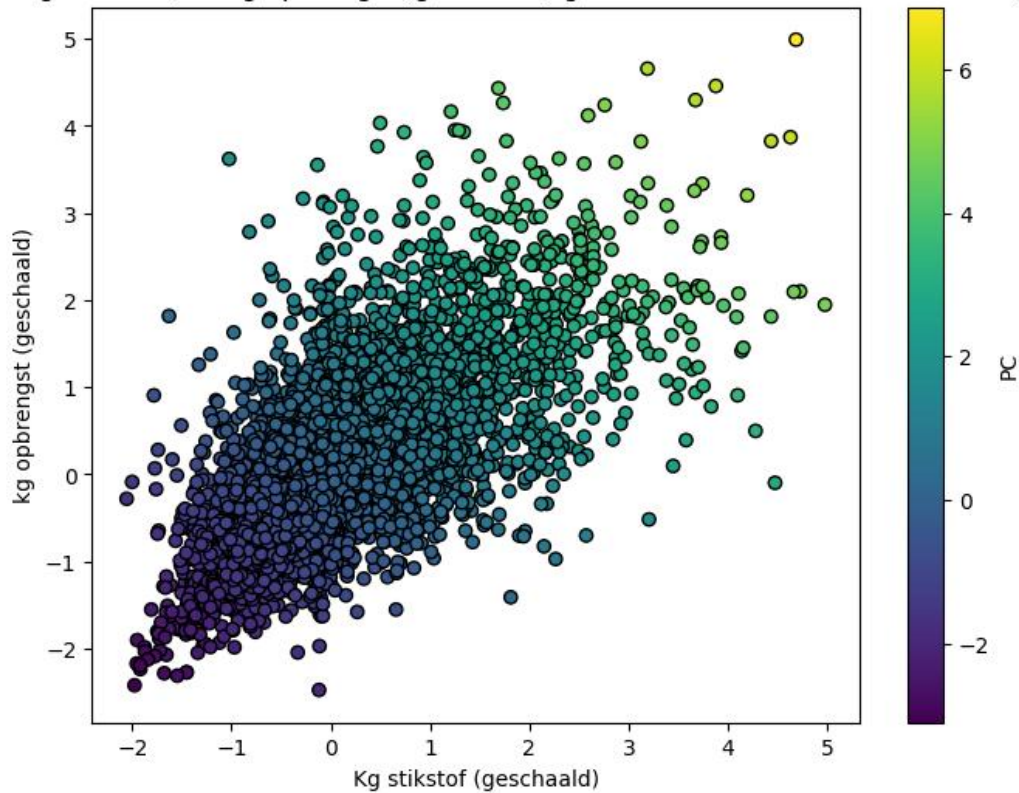
- Jaren: 2010–2021.

- Gewassen: Aardappelen, gerst, korrelmaïs, en tarwe.
- Observaties: 413 jaar/gewas/cluster-combinaties.

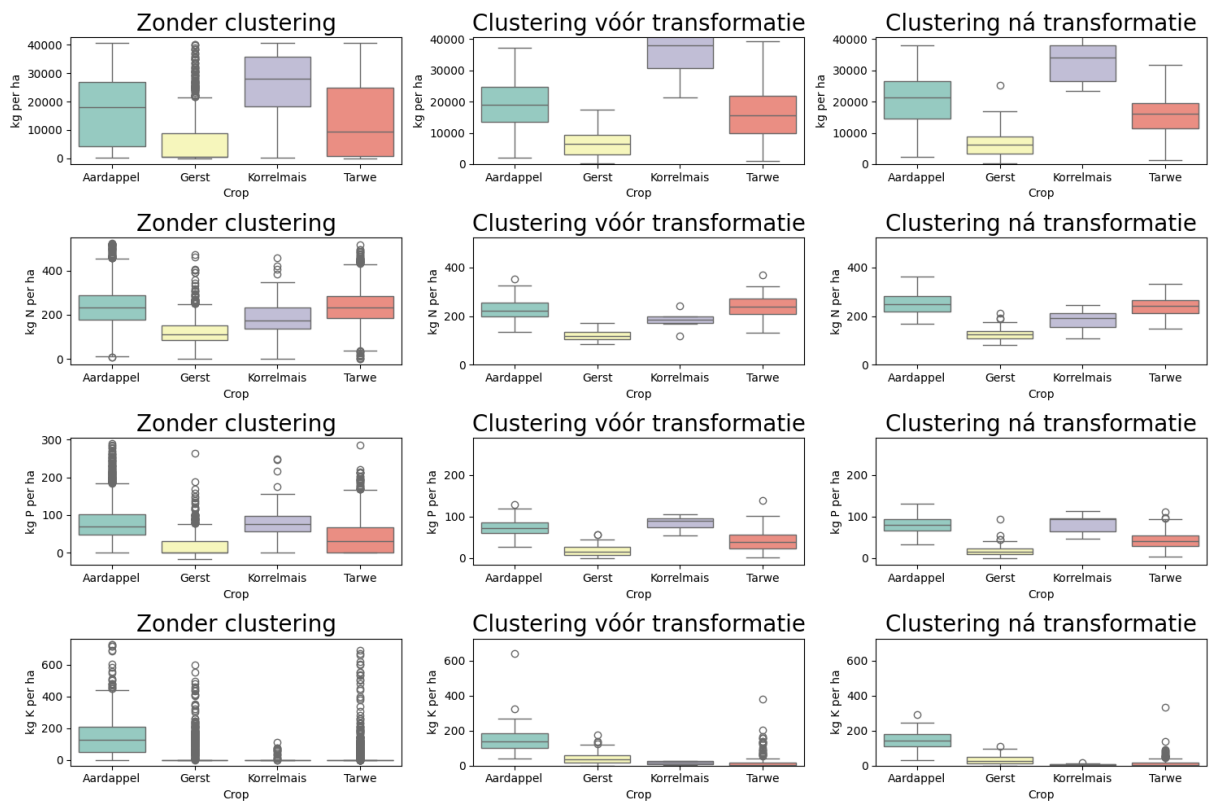
Door deze aanpak wordt privacy gewaarborgd en kunnen tegelijkertijd robuuste analyses worden uitgevoerd op basis van representatieve data van Nederlandse akkerbouwbedrijven.

PC analyse

Kg stikstof (geschaald) vs Kg opbrengst (geschaald) gekleurd met de nieuwe variabele (PC)



Clustering



Referenties

Zhou, Z. H. (2021). *Machine learning*. Springer nature.

Marten Meesweg 8

3068 AV Rotterdam

www.blonksustainability.nl

Better Food. Better Health. Better World