



Vlaanderen
is open ruimte



PLATTELAND EN MESTBELEID

**Klimaatadaptieve praktijken voor
het terugdringen van
nutriëntenverliezen: een gerichte
verkenning**

**VLAAMSE
LAND
MAATSCHAPPIJ**

VLM.be

2021

EINDRAPPORT

Klimaatadaptieve praktijken voor het terugdringen van nutriëntenverliezen: een gerichte verkenning

Datum rapport: 02/06/2021

Projectconsortium:



Opdrachtgever: Vlaamse Landmaatschappij
VLM bestek nr.: APLM/2019/4
Looptijd: 1/3/2020-28/2/2021

Te citeren als:

Nawara S., Vanden Nest T., Odeurs W., Janssens P., Tits M., Elsen A. (2021). Klimaatadaptieve praktijken voor het terugdringen van nutriëntenverliezen: een gerichte verkenning. Studie uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België en ILVO Plant in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. Eindrapport, 2 juni 2021. 395 p.



INHOUD

Doel en aanpak van het project	5
1. Doel	5
2. Aanpak	5
Luik 1: bepalingen omtrent mestproductie en-gebruik	7
3. Luik 1: Beschrijving van de MAP-bepalingen	7
4. Luik 1: Workshop	12
4.1 Presentatie over het klimaat en de gevolgen voor landbouwpraktijken	12
4.2 Vragenlijst	12
4.3 Groepsdiscussies	25
4.4 Luik 1: Selectie vijf MAP-bepalingen/thema's	30
5. Luik1: Literatuurstudie	32
5.1 Optimalisatie van de N-bemestingspraktijken	32
5.2 Optimalisatie van de opvolging van N-bemestingspraktijken	57
5.3 Vanggewassen en teeltcombinaties	84
5.4 Optimalisatie van mestopslag en stallen	106
5.5 Sluiten van de nutriëntencyclus	129
6. Luik 1: mogelijkheden tot verder onderzoek	144
6.1 Simulatie van het nitraatresidu in de bodem bij klimaatverandering	144
7. Referenties Luik 1	152
7.1 Optimaliseren van de N-bemestingspraktijken	152
7.2 Optimalisatie van de opvolging van N-bemestingspraktijken	154
7.3 Vanggewassen en teeltcombinaties	157
7.4 Optimalisatie van mestopslag en stallen	158
7.5 Sluiten van de nutriëntencyclus	161
7.6 Mogelijkheid tot verder onderzoek	162
8. Bijlage 1 bij Luik 1 - Maatregelen om de nutriëntencyclus te sluiten	164
Luik 2: Gefractioneerde bemesting in aardappelen en maïs	170
9. Stap 1: Overzicht bestaande technieken en mogelijkheden voor het fractioneren van bemesting	170
9.1 Ruimtelijke fractionering	170
9.2 Temporele fractionering	180
10. Luik 2: Stap 2: Opstellen van afwegingskader om de technieken te evalueren	208
11. Luik 2: Stap 3: Aanduiden van de Best beschikbare Fractioneringstechnieken voor aardappelen en maïs	211
12.1 Aardappelen	214
12.2 Maïs	219
12.3 Conclusies	221
12. Luik 2: Stap 4: Opstellen van een overzicht voor goede praktijken rond gefractioneerde bemesting in maïs en aardappelen	223
13. Luik 2: Fiches met technologieën voor het fractioneren van bemesting	224
14. Luik 2: Referenties	225
Luik 3: innovatie	231

////////////////////////////////////
//

15.	Luik 3: Beschrijving van de innovaties	231
16.	Luik 3: Workshop	235
16.1	Vragenlijst	235
16.2	Groepsdiscussies	246
16.3	Luik 3: Voorstel vijf innovaties	251
17.	Luik 3 Literatuurstudie	253
17.1	Innovatie 1 - Vlinderbloemigen	253
17.2	Innovatie 2 — Bodemkwaliteit	271
17.3	Innovatie 3 – Precisielandbouw	305
17.4	Innovatie 4 – Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)	331
17.5	Innovatie 5 - Robuuster teeltsysteem	360
18.	Luik 3 – Innovaties: Conclusies	378
19.	Luik 3 Innovaties: Referenties	379
19.1	Innovatie 1 - Vlinderbloemigen	379
19.2	Innovatie 2 - Bodemkwaliteit	383
19.3	Innovatie 3 – Precisielandbouw	388
19.4	Innovatie 4 - Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)	390
19.5	Innovatie 5 - Robuuster teeltsysteem	394



DOEL EN AANPAK VAN HET PROJECT

1. DOEL

Het doel van deze desktop-studie is na te gaan - voor het beleid en voor de praktijk - op welke manier het best ingespeeld kan worden op veranderende of extremere weersomstandigheden, met als finaliteit een verdere beheersing van nutriëntenverliezen. Hiertoe bekijkt deze studie:

- of de beleidsmaatregelen die te maken hebben met mestproductie en -gebruik klimaat-robuster en -neutraler kunnen worden, om eventueel aanpassingen van de instrumenten, maatregelen en flankerend beleid voor te stellen (luik 1);
- welke de mogelijkheden zijn voor het fractioneren van de stikstofbemesting in de teelt van aardappelen en van maïs in Vlaanderen (luik 2);
- welke kansen innovatie biedt voor een klimaat-adaptieve landbouw in Vlaanderen, om zo verder nutriëntenverliezen te beperken (luik 3).

Deze studie wordt uitgevoerd door de Bodemkundige Dient van België en ILVO-Plant, in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM).

2. AANPAK

Zowel voor de MAP-bepalingen met betrekking tot mestproductie en –gebruik als voor potentiële innovaties werd dezelfde werkwijze gehanteerd. In een eerste stap werd een screening uitgevoerd, waarbij zowel de literatuur als experts geconsulteerd werden. Op basis van een online-enquête werden groepsdiscussies georganiseerd met een vijftal experts per groep met als doel de vijf MAP-bepalingen en de vijf innovaties te selecteren die het meeste potentieel bieden voor een verdere beheersing van nutriëntenverliezen in een veranderend klimaat. In een tweede stap voerden de onderzoekers een diepgaande analyse via literatuuronderzoek uit van de vijf geselecteerde MAP-bepalingen en van de vijf geselecteerde innovaties. Voor elk van de bepalingen werd o.a. onderzocht of eventuele elementen van landbouwtechnische, bodemkundige, infrastructurale, landbouweconomische of andere aard als randvoorwaarde een gunstige of ongunstige invloed hebben op het robuuster maken tegenover de weersomstandigheden. Voor elke innovatie werd onderzocht welke bijdrage ze exact kunnen leveren in het beperken van nutriëntenemissies, welke bijdrage ze hebben tot klimaatmitigatie, in welk stadium ze zich bevinden en op welke termijn ze operationeel kunnen zijn (TRL-score) en welke obstakels of stimulansen er eventueel zijn. Op basis van deze diepgaande analyse werden conclusies getrokken naar beleid, naar kennisvelden, naar onderzoeksnoden, enz.



Voor de mogelijkheden voor fractionering van de stikstofbemesting bij aardappelen en maïs werd een andere aanpak gehanteerd. In een eerste stap werd een overzicht gemaakt van bestaande technieken en mogelijkheden voor het fractioneren van bemesting. In een tweede stap werd een afwegingskader opgesteld waaraan de technieken uit de eerste stap afgetoetst werden om zo te komen tot de beste fractioneringstechnieken. In een laatste stap werd een code voor goede praktijken opgesteld rond gefractioneerde bemesting in maïs en aardappelen.

De literatuurstudie uitgevoerd voor dit project omvat dus vijf thema's betreffende MAP-bepalingen, vijf thema's betreffende innovatie en een thema gewijd aan technieken en mogelijkheden voor het fractioneren van bemesting. De literatuurstudie moet als één geheel bekeken worden, aangezien vele thema's op één of andere manier aan elkaar gerelateerd en overlappend zijn. Zo zijn bijvoorbeeld vanggewassen een thema op zich, maar zijn ze ook van belang bij het opstellen van stikstofbemestingsadviezen en nemen ze ook stikstof op waardoor ze het nitraatresidu mee beïnvloeden.



LUIK 1: BEPALINGEN OMTRENT MESTPRODUCTIE EN-GEbruik

3. LUIK 1: BESCHRIJVING VAN DE MAP-BEPALINGEN

Het geldende MAP kan worden uitgesplitst in 17 bepalingen. Voor het structureren van de vragenlijst en de groepsessies werden deze onderverdeeld in 3 categorieën zoals weergegeven in Tabel 1.

- Categorie 1 – bemestingsnormen en advies**
 - Bemestingsnormen voor stikstof
 - Bemestingsnormen voor fosfaat
 - Derogatie
 - Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen
 - Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11
- Categorie 2 – praktische maatregelen om nutriëntenverliezen te beperken**
 - Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest
 - Aanwendingswijze van meststoffen
 - Vanggewassen en teeltcombinaties
 - Transportregeling
 - Flankerend beleid
- Categorie 3 – mest**
 - Mestproductie
 - Mestopslag
 - Mestbalans
 - Meststaalname
 - Mestverwerkingsplicht
 - Stallen
 - Nutriëntenemissierechten

Tabel 1 Onderverdeling van de 17 MAP-bepalingen in drie categorieën

Voor elk van deze MAP-bepalingen wordt in dit luik geëvalueerd of ze klimaatrobuuster en -neutraler gemaakt kunnen worden. Een overzicht van wat elke bepaling juist inhoudt wordt hieronder weergegeven.

Bemestingsnormen voor stikstof

- Deze komen overeen met de maximaal toegelaten hoeveelheid bemesting op jaarbasis voor teelten/teeltgroepen en voor bepaalde teeltcombinaties daarvan, uitgedrukt in kg/ha dierlijke stikstof en in kg/ha werkzame stikstof op basis van een stikstofwerkzaamheidscoëfficiënt (afhankelijk van de mestsoort inclusief de uitscheiding bij begrazing).



- Deze norm is gekoppeld aan een gebiedstype, aan de afbakening van natuur- en bosgebied, aan waterwingebied, aan een bodemtype, aan de toepassing van derogatie of van een beheersovereenkomst en aan eventuele sancties opgelegd aan een bedrijf.
- Een bedrijfsbenadering van het gebruik van stikstof is toegelaten, waarbij het gebruik van stikstof per hectare dubbel zo hoog kan zijn dan de norm, maar op voorwaarde dat de norm gemiddeld op het bedrijf niet is overschreden.

Bemestingsnormen voor fosfaat

- Deze komen overeen met de maximaal toegelaten bemesting op jaarbasis voor teelten/teeltgroepen en voor bepaalde teeltcombinaties, uitgedrukt in kg fosfaat/ha.
- Deze norm is gekoppeld aan de fosfaatklasse van het perceel.
- Een bedrijfsbenadering van het gebruik van fosfaat is toegelaten, maar op voorwaarde dat de norm gemiddeld op het bedrijf niet is overschreden.

Derogatie

- Bij bepaalde teelten/teeltcombinaties is een verhoogd aandeel van werkzame stikstof uit dierlijke mest (“derogatiemestsoorten”) mogelijk, mits het respecteren van voorwaarden met betrekking tot meststaalnames, bodemstaalnames, graslandhernieuwing, scheuren van blijven grasland, ...

Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-bemestingsadviezen

- Een bepaald aantal bodemanalyses (bouwvooranalyse en/of N-profielanalyses) is verplicht in het kader van de stikstofbemestingsadvisering voor aardbeien, boom- en sierteelt en groenten I en II, in het kader van de bemesting van groenten met kunstmest tijdens de periode van algemeen uitrijverbod van meststoffen, in het kader van de toepassing van derogatie en ten gevolge van gesloten beheersovereenkomsten waterkwaliteit en de jaarlijkse uitbetaling van de beheersvergoeding.
- Volgende bodemstalen zijn facultatief: stalen voor de bepaling van de textuurklasse en voor de bepaling van de fosfaatklasse.
- De staalnames en analyses moeten gebeuren door erkende staalnemers en laboratoria; de stikstofbemestingsadvisering moet gebeuren door erkende proefcentra.
- Termijnen kunnen bestaan waarin de staalnames moeten gebeuren.
- Indien niet voldoende stalen genomen zijn, worden gevolgen opgelegd: in het kader van de verplichte stikstofbemestingsadvisering voor aardbeien, boom- en sierteelt en groenten I en II wordt een verminderde stikstofbemestingsnorm opgelegd voor die teelten in het daaropvolgende jaar; indien onvoldoende bodemstalen ten gevolge van de toepassing van derogatie genomen zijn, kan geen derogatie toegepast worden het jaar erop.

Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11

- Stalen (zogenaamde “controlestalen”, “opvolgstalen” en stalen voor de bepaling van het “gewogen gemiddeld nitraatresidu” (of “bedrijfsevaluatie”)) worden genomen door erkende laboratoria om de juistheid van de uitgevoerde bemesting(en) na te gaan op één of meerdere percelen van een landbouwbedrijf.

//
//

- Het nitraatresidu is daarnaast ook een uitbetalingscriterium voor de beheersovereenkomst waterkwaliteit.
- De metingen worden getoetst aan vaste drempelwaarden (1^e en 2^e drempelwaarde), verschillend naargelang de teelt en het gebiedstype.
- Diverse maatregelen en gevolgen worden opgelegd aan de landbouwer bij overschrijding van de (1^e of 2^e) drempelwaarde: bemestingsplan, bemestingsfiche verplichte begeleiding, geen toepassing van derogatie.
- Vrijstelling van de gebiedsgerichte maatregelen (in gebiedstype 2 en 3) wordt gegeven aan bedrijven met een positieve bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu, mits jaarlijkse opvolging van het nitraatresidu op één perceel en mits voldaan is aan een aantal voorwaarden.

Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest

- Deze geeft de toegelaten periodes aan waarin deze meststoffen kunnen opgebracht worden, evenals de hoeveelheden van die meststoffen die toegelaten zijn naargelang het tijdstip van opbrengen en de randvoorwaarden die daarbij kunnen gesteld zijn.
- De toegelaten periodes verschillen naargelang het type meststof, de eigenschappen van de meststof, de bemeste teelt (inclusief groenten) en de toepassing van derogatie of van een beheersovereenkomst.
- Het bemesten op drassig, ondergelopen, bevroren of met sneeuw bedekt land is verboden.

Aanwendingswijze van meststoffen

- Dit is de toegelaten wijze van aanwenden van de meststoffen in functie van de N-emissie, afhankelijk van het type meststof, van de eigenschappen van de meststof, van de bemeste teelt, van de hellingsgraad van het perceel en van de dag waarop de bemesting gebeurt (zaterdag of niet) en de te respecteren bufferstroken (teeltvrije strook/bemestingsvrije strook) naast waterlopen, naargelang de klasse van de waterloop en het gebied waarin deze zich bevindt.

Vanggewassen en teeltcombinaties

- Een algemene “basisregel voor vanggewassen en nateelten” bestaat en een doelareaal moet ingevuld worden met vanggewassen in de gebiedstypes 2 en 3, met tijdelijk grasland en/of met bepaalde teeltcombinaties.
- De inzaai van vanggewassen moet gebeuren binnen bepaalde termijnen en een periode van behoud van de vanggewassen moet gerespecteerd worden, naargelang de landbouwstreek.
- Landbouwbedrijven kunnen binnen bepaalde regels (een deel van) het doelareaal binnen gebiedstype 2 en gebiedstype 3 aan elkaar overdragen.
- Daarnaast kan het zaaien van een vanggewas verplicht zijn bij het toedienen van organische meststoffen vanaf augustus; ook kan de toepassing van derogatie de inzaai van een vanggewas en bepaalde teeltcombinaties verplichten.



Transportregeling

- Dit zijn de bepalingen van wie het transport van organische meststoffen kan uitvoeren, welke administratieve verplichtingen in dat kader moeten in acht genomen worden en wat de periode is van geldigheid van de gemaakte overeenkomst voor de mestoverdracht, naargelang de bestemming (teelt/geografische ligging/gebiedstype van het perceel) van de meststoffen en het tijdstip van het transport.

Flankerend beleid

- Het flankerend beleid bestaat nu o.a. uit de uitbouw en werking van mestverwerkingsinstallaties, de uitbouw van mestbewerking, de vergroting van de mestopslagcapaciteit en de opleiding en begeleiding van land- en tuinbouwers.

Mestproductie

- De mestproductie (uitgedrukt in kg N en kg P₂O₅) van de verschillende diersoorten wordt bepaald op basis van forfaitaire uitscheidingsnormen per dier of op basis van een nutriëntenbalansstelsel.
- Dit stelsel houdt rekening met het soort voeder, de voedersamenstelling (o.a. gras, maïs, graan,... gewonnen op het bedrijf) en de verbruikte hoeveelheid (in de huidige klimaatomstandigheden).

Mestopslag

- Specifieke voorwaarden gelden voor de opslag van vaste organische mestsoorten (stalmest, kippenmest, compost, schuimaarde, ...) op de kopakker, in functie van het risico op verlies van stikstof naar de bodem.

Mestbalans

- Op basis van de gegevensverzameling via de mestbankaangifte (staltype, dieraantallen en gekoppelde netto mestproductie, begrazingspercentage, kunstmestgebruik, hoeveelheid mest in opslag, ...), de mesttransportgegevens en de verzamelaanvraag, gaat men op bedrijfsniveau na of het gebruik van stikstof en van fosfaat zich bevindt binnen de limieten gesteld door het Mestdecreet.
- Specifieke berekeningswijzen bestaan voor fosfaat in compost/boerderijcompost en voor stalmest, om het gebruik van meststoffen die rijk zijn aan organische stof te stimuleren; een circulair stalmestbedrijf kan ontstaan uit een samenwerking van twee bedrijven.

Meststaalname

- Meststaalnames kunnen in sommige gevallen verplicht zijn, zoals bij het gebruik van analysewaarden voor de bepaling van de samenstelling van de dierlijke mest, bij het gebruik van digestaat, bij de aanvoer van dierlijke mest op derogatiebedrijven en bij de afvoer van mestproducten uit mestverwerkingsinstallaties, om de bemestende waarde van de meststof beter in te schatten (rekening houdend met de wettelijk bepaalde N-werkingscoëfficiënten).
- De analyse is geldig tot drie maand na datum van staalname.

////////////////////////////////////
//

Mestverwerkingsplicht

- Het instrument van de mestverwerkingsplicht (berekend in functie van de gemeentelijke productiedruk van dierlijke mest en uitgedrukt in een bepaald % van het netto stikstofoverschot van een bedrijf) leidt ertoe dat minder dierlijke mest op de Vlaamse landbouwbodems komt.
- Het verwerkingsproces heeft de bedoeling de N in dierlijke mest (eventueel na scheiden, drogen, ...) om te zetten (zoveel als mogelijk) in stikstofgas (via "biologie") of naar een mestproduct (N) dat niet meer gebruikt wordt op Vlaamse landbouwbodems of wordt geëxporteerd.

Stallen

- Aan de diverse staltypes voor de verschillende diersoorten is een percentage stikstofvervluchtiging verbonden (in de huidige klimaatomstandigheden) voor de mestvorm die in de stal geproduceerd wordt (en mestopslag ervan in of buiten de stal) en in functie van de eventuele inrichting van de stal met luchtwassers.

Nutriëntenemissierechten

- Het instrument van nutriëntenemissierechten (NER) dient om het mestoverschot in Vlaanderen te beperken door een stijging van het aantal dieren te voorkomen. Nutriëntenemissierechten worden toegekend aan een landbouwer.
- Regels gelden bij de overdracht van nutriëntenemissierechten tussen landbouwers (afoming, eerste installatie, specifiek gebruik van de emissierechten voor bepaalde diersoorten) en voor de toekenning van bijkomende nutriëntenemissierechten via mestverwerking.



- Matig positieve invloed;
- Veel positieve invloed;
- Ik weet het niet.

4.2.2 Resultaten

De vragenlijst werd ingevuld door 37 personen. Een overzicht van de antwoorden op de vragen kan u terugvinden in Figuur 1, Figuur 2, Figuur 3, en Figuur 4. Korte samenvattingen van de belangrijkste bemerkingen en suggesties per MAP-bepaling worden hieronder weergegeven. Dit geeft een algemeen beeld van de antwoorden maar reflecteert niet noodzakelijk de mening van BDB en ILVO plant.

Bemestingsnormen voor stikstof

Het merendeel van de bevroagden schat dat de klimaatverandering een negatieve impact zal hebben op de effectiviteit van de stikstofbemestingsnormen. Er wordt verwacht dat een bijsturing van de normen dan weer een positieve impact kan hebben op nutriëntenverliezen en broeikasgasemissies. Het effect van de klimaatverandering op de biomassa-productie (en N-opname door het gewas), op de stikstofmineralisatie en op het groeiseizoen is moeilijk te voorspellen. Er wordt wel meer erosie en uitspoeling verwacht door piekregens. Er wordt ook opgemerkt dat te lage bemestingsnormen en te weinig irrigatie kunnen leiden tot een suboptimale groei, hetgeen de veerkracht van gewassen voor bijkomende stress-situaties (zoals bv. klimaatverandering) verlaagt. Algemeen wordt gesteld dat klimaatverandering meer opvolging vereist van de bemesting tijdens het teeltseizoen, maar een belangrijk aspect dat ook weergegeven wordt is dat er rekening gehouden moet worden met de economische haalbaarheid. Een teelt moet namelijk alle mogelijkheden krijgen om te groeien aangezien er al een hoger risico op teeltschade is bij een veranderend klimaat. Verder worden ook meer specifieke normen gesuggereerd, bv. normen voor teelten met of zonder irrigatie.

Bemestingsnormen voor fosfaat

De invloed van de klimaatverandering op de effectiviteit van de fosfaatbemestingsnormen wordt weinig negatief tot niet negatief ingeschat. Er wordt verwacht dat een bijsturing van de normen maar een beperkte invloed zal hebben op nutriëntenverliezen en broeikasgasemissies. Klimaatverandering zal voornamelijk een invloed hebben op P-verliezen door run-off en uitloging. Echter, door de overbemesting van fosfor gedurende de afgelopen decennia wordt verwacht dat de bemestingsnormen pas op de lange termijn een effect zullen hebben op de P-verliezen. Er wordt ook aangehaald dat, omdat fosfor minder mobiel is dan stikstof, de effecten minder sterk zullen zijn. Er wordt gesuggereerd om in te zetten op stabiele meststoffen met een hoge C/P-verhouding.

Derogatie

Het merendeel van de bevroagden schat dat de impact van de klimaatverandering een negatieve impact zal hebben op de effectiviteit van derogatie. Er wordt verwacht dat een bijsturing van de normen dan weer een positieve impact kan hebben op nutriëntenverliezen en broeikasgasemissies. Er wordt verwacht dat langere droogteperiodes en een intensere neerslag nutriëntenverliezen kunnen doen stijgen wanneer dierlijke mest op eenzelfde tijdstip bij een verhoogde dosis toegediend wordt. Er wordt gesuggereerd om te bemesten op basis van een perceelsspecifiek bemestingsadvies en gefractioneerde bemesting doorheen het seizoen.



Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen

Ongeveer de helft van de antwoorden (exclusief het aandeel dat geen antwoord gaf op de vraag) geeft aan dat er geen of weinig negatieve invloed is van deze MAP-bepaling op broeikasgasemissies en dat de klimaatverandering geen of weinig impact heeft op de effectiviteit van de maatregel. Toch is in het merendeel van de antwoorden wel terug te vinden dat een bijsturing van de maatregel een positieve invloed kan hebben op de broeikasgasemissie en op de nutriëntenverliezen bij klimaatverandering. Zo wordt geacht dat de maatregel nog belangrijker zal worden aangezien bij klimaatverandering de kennis van het nutriëntengehalte van de bodem belangrijker zal worden door de onvoorspelbaarheid van het groeiseizoen. Er wordt gepleit voor frequentere en meer gespreide bodemstaalnames gedurende het seizoen om zo in te kunnen spelen op droogte en op de variatie in N-mineralisatie door veranderende weersomstandigheden.

Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11

Uit de vragenlijst volgt dat er veel negatieve invloed verwacht wordt van de klimaatverandering op de effectiviteit van deze maatregel om nutriëntenverliezen te beperken, maar dat een bijsturing een positieve invloed kan hebben. De grootste bemerking die naar voren komt uit de vragenlijst is dat het nitraatresidu wel een goede indicator blijft voor het N-uitspoelingsrisico in de winter, maar niet om de juistheid van de uitgevoerde bemesting na te gaan. Immers, droogte in de zomer en toenemende mineralisatie in het najaar hebben een sterke invloed en kunnen tot een verhoogd nitraatresidu leiden. Uit de vragenlijst komt meermaals de vraag naar voren of de periode van de nitraatresidu-bepaling aangepast moet worden.

Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest

Het merendeel van de bevroegden schat dat er een negatieve invloed is van de klimaatverandering op de effectiviteit van de uitrijregeling om nutriëntenverliezen tegen te gaan. Bijsturing van de maatregelen kan dan weer een positieve invloed hebben in het tegengaan van zowel broeikasgasemissies als nutriëntenverliezen. Er wordt opgemerkt dat een klimaatverandering kan leiden tot een aanpassing van de groeiperiode, tot wijzigende neerslagpatronen en droogte en tot meer mineralisatie in het voorjaar, hetgeen een invloed kan hebben op de uitrijperiode. Er wordt gesuggereerd om de uitrijperiode te wijzigen om in te kunnen spelen op veranderende weersomstandigheden (eventueel via een marge), om zo te vermijden dat men in ongunstige omstandigheden bemest. Er wordt ook opgemerkt dat een aanpassing van de uitrijregeling mogelijks leidt tot het nodig hebben van een grotere opslagcapaciteit.

Aanwendingswijze van meststoffen

Er wordt weinig negatieve invloed van de klimaatverandering verwacht op de effectiviteit van deze maatregel om nutriëntenverliezen tegen te gaan, alsook op de broeikasgasemissies. Een bijsturing van de maatregel zou een eventuele toename in nutriëntenverliezen wel kunnen inperken. Er wordt aangehaald dat de risico's of voordelen van een bepaalde techniek kunnen wijzigen ten gevolge van een wijziging in neerslagpatronen, droogte. Ook warm en winderig weer kunnen leiden tot meer vervluchtiging van gasvormige stikstofverbindingen. Er wordt gesuggereerd om de minst emissie-arme technieken uit te faseren. Er moet echter opgemerkt worden dat technieken vaak een trade-off vormen tussen ammoniak- en lachgasemissies.

Vanggewassen en teeltcombinaties

Er wordt weinig tot matig negatieve invloed verwacht van klimaatverandering op de effectiviteit van deze maatregel om nutriëntenverliezen te beperken. Een bijsturing zou dan wel weer een matig positieve invloed



hebben om de verliezen te reduceren. Er wordt geen of weinig negatieve invloed verwacht van deze maatregel op de broeikasgasemissies. Uit de antwoorden blijkt dat klimaatverandering een positieve invloed kan hebben op de groei van vanggewassen omdat het groeiseizoen langer kan zijn. Anderzijds kan droogte leiden tot een minder goede groei en dus ook minder N-opname. Het is dus van belang dat de vanggewassen op een goed moment ingezaaid worden en vaste data kunnen hiervoor contraproductief zijn. Er wordt gesuggereerd dat bij een veranderend klimaat andere vanggewassen mogelijk zijn en dat de inzaai- en oogstdata aangepast kunnen worden. Verder wordt ook de vraag gesteld, doordat ook de groei van vanggewassen onvoorspelbaar zal zijn, of deze voldoende zijn om nitraatuitspoeling in de winter te voorkomen.

Mesttransport

Er wordt quasi geen invloed verwacht van de klimaatverandering op de effectiviteit van deze maatregel voor het beperken van nutriëntenverliezen en broeikasgasemissies aangezien de mestproductie niet zal veranderen door deze maatregel. Een circulaire economie en de afstand verkleinen waarop de mest vervoerd kan worden kan wel leiden tot minder broeikasgasemissies.

Flankerend beleid

Er wordt geen negatieve of weinig negatieve invloed verwacht van de klimaatverandering op de effectiviteit van het flankerend beleid om nutriëntenverliezen te beperken. Een bijsturing kan nutriëntenverliezen wel verder tegengaan. Vooral in het reduceren van broeikasgasemissies wordt een positieve invloed verwacht. Indien de uitrijperiodes zouden veranderen, zou ook de benodigde opslagcapaciteit aangepast moeten worden, hetgeen invloed zal hebben op broeikasgasemissies. Ook de hogere kans op anaerobe condities (door hogere temperaturen) bij compostingsprocessen kan leiden tot methaan en lachgasemissies. Antwoorden uit de enquête stellen een mestopslag onder aerobe omstandigheden voor evenals een grotere mestopslagcapaciteit zodat mest niet uitgereden moet worden op momenten dat het niet geschikt is. Er wordt ook aangehaald dat er ingezet zou moeten worden op een betere mestverwerking waarbij nutriënten beter benut worden. Een ander belangrijk punt dat aangehaald wordt is dat opleiding, ondersteuning en begeleiding van landbouwers van belang zal zijn om hun reactie op de klimaatverandering te sturen.

Mestproductie

Uit de vragenlijst blijkt dat de nutriëntenverliezen vanuit de mestproductie weinig onderhevig zijn aan klimaatverandering. Een bijsturing van de mestproductie kan echter wel leiden tot een reductie in broeikasgasemissies. Uit de enquête komt naar voor dat de klimaatverandering een invloed kan hebben op de geteelde rantsoenen, op de gezondheid van de dieren, op de hoeveelheid en soort aangehouden dieren en op de voederopname. Al deze factoren hebben een invloed op de mestproductie, de mestsamenstelling en de voederconversies. De uitscheidingsnormen moeten dus aangepast blijven worden aan de realiteit.

Mestopslag

Meer dan de helft van de antwoorden (excl. "ik weet het niet") geeft aan dat er een negatieve invloed verwacht wordt van de klimaatverandering op effectiviteit van deze maatregel om nutriëntenverliezen te vermijden. Een bijsturing kan volgens de enquête invloed hebben op zowel deze nutriëntenverliezen als op de huidige broeikasgasemissies. Piekregens ten gevolge van klimaatverandering kunnen leiden tot een hoger risico op puntuitspoeling bij de opslag van mest op kopakkers. Hogere temperaturen kunnen dan weer leiden tot meer broeikasgasemissies vanuit mest. Men kan zich de vraag stellen of de toelating van de opslag van (overdekte)



mest op de kopakker nog overeenkomt met de verwachte evolutie in het regenpatroon. Er wordt gesuggereerd dat er verbeteringen mogelijk zijn op vlak van ondergrondse opslag of om opslag op het bedrijf verplicht te maken. Verder werd er ook geopperd om organische vaste mest op de kopakker altijd af te dekken met een luchtdoorlatende doek. De bedenking die men hierbij kan maken is of dit wel economisch haalbaar is.

Mestbalans

Er wordt verwacht dat de mestbalans zijn effectiviteit om nutriëntenverliezen in te perken zal verliezen bij een klimaatverandering. De mestbalans zou ook matig negatieve invloed hebben op broeikasgasemissies. Uit de vragenlijst komt naar voor dat een bijsturing van de maatregel een positieve invloed kan hebben op zowel de nutriëntenverliezen als op de broeikasgasemissie. Er wordt opgemerkt dat de mestbalans gebaseerd is op gegevens die beïnvloed worden door het klimaat en er gerekend wordt met een volledige invulling van bemestingsnormen. Er wordt dus geen rekening gehouden met teeltmislukkingen, droogtestress, enz. Een optimalisatie van de mestbalans via meststaalnames wordt gesuggereerd, alsook een aanpassing van de mestbalans die inspeelt op veranderende weersomstandigheden.

Meststaalname

Er wordt bijna geen invloed van de klimaatverandering op de effectiviteit van de meststaalname verwacht. Er wordt wel door de helft van de respondenten (excl. "ik weet het niet") verwacht dat een bijsturing nutriëntenverliezen verder kan inperken, alsook de broeikasgasemissies. De andere helft van de antwoorden zegt dat er geen bijsturing mogelijk is. Het exact kennen van de samenstelling van mest zal bij veranderende klimatologische omstandigheden nog belangrijker zijn om nutriëntenverliezen te vermijden. Er wordt gesuggereerd dat de opvolging en controle van de maatregel kan verbeteren.

Mestverwerkingsplicht

Het merendeel van de antwoorden zegt dat er geen negatieve invloed zal zijn van de klimaatverandering op de effectiviteit van deze maatregel. Deze maatregel heeft echter wel een negatieve invloed op het tegengaan van broeikasgasemissies vanuit de landbouw en een bijsturing ervan kan dus broeikasgasemissies reduceren. Sommigen vinden dat de mestverwerking de emissies naar een ander milieucompartiment verplaatst en dat het meer dierlijke productie toelaat. Er wordt gesuggereerd om in te zetten op verwerking naar nuttige N-vormen die hergebruikt kunnen worden als bemesting.

Stallen

Er wordt een matig negatieve invloed verwacht van de klimaatverandering op de effectiviteit van stallen om nutriëntenverliezen in te perken. Een bijsturing van de maatregel zou zowel nutriëntenverliezen als broeikasgasemissies kunnen inperken. Klimaatopwarming kan zorgen voor een extremer stalklimaat (meer hittestress bij de dieren) wat kan leiden tot aanpassingen in de stal (vernevelingsinstallaties) of meer en andere ventilatoren in de stal (meer ammoniakemissie). Er wordt ook opgemerkt dat de huidige stallen gebouwd zijn op basis van de huidige normen en dat deze via de omgevingsvergunning permanent zijn. Het is echter mogelijk dat hun emissies stijgen doorheen de jaren door slijtage. Er wordt een andere manier van stalinrichting voorgesteld waarbij urine en feces gescheiden blijven. Er wordt ook voorgesteld om de emissiefactoren aan te passen bij stijgende staltemperaturen (meer ventilatie). Dit zal geen invloed hebben op de broeikasgasemissies maar wel op de rapportering ervan. Een laatste suggestie is een betere opvolging van het gebruik van luchtwassers en van de bestendigheid van emissiearme stalconstructies.



Nutriëntenemissierechten (NER)

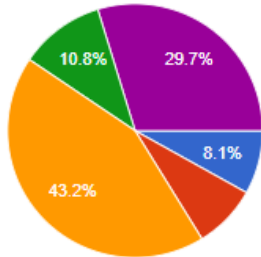
De effectiviteit van de maatregel van de nutriëntenemissierechten wordt niet verwacht te dalen bij een klimaatverandering. Een bijsturing van de maatregel wordt wel verwacht een positieve invloed te hebben op het reduceren van broeikasgasemissies. De meningen over de nutriëntenemissierechten in de enquête zijn verdeeld. Sommigen vinden het een goede maatregel ter reductie van broeikasgasemissies, anderen vinden dat de uitbreiding van de NERs via mestverwerking tot een extra uitstoot van broeikasgassen geleid heeft. Er wordt verwacht dat klimaatverandering een invloed zal hebben op de soort en het aantal dieren dat gehouden wordt, waardoor op termijn mogelijk een andere NER-berekening nodig zal zijn. Er worden vooral voorstellen gedaan om het NER-systeem te verstrengen om zo het aantal dieren te beperken.



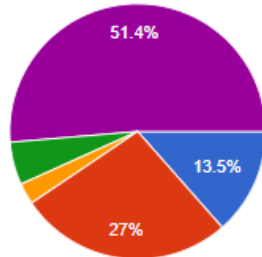
Welke invloed heeft de klimaatverandering op de effectiviteit van de MAP-bepaling in het tegengaan van N- en P-verliezen?

Categorie 1 – normen en advies

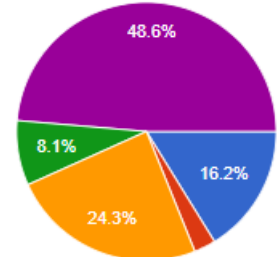
Bemestingsnormen voor stikstof



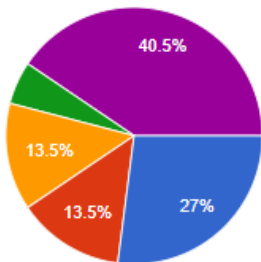
Bemestingsnormen voor fosfaat



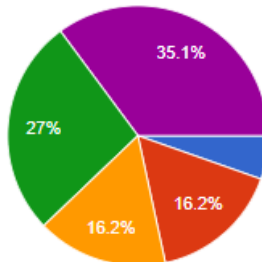
Derogatie



Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen



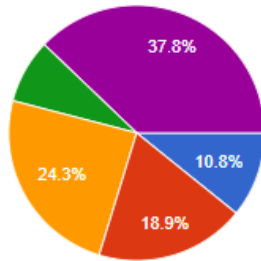
Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11



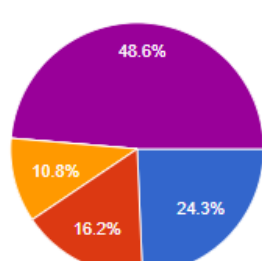
- 0: geen negatieve invloed
- 1: weinig negatieve invloed
- 2: matig negatieve invloed
- 3: veel negatieve invloed
- ik weet het niet

Categorie 2 - praktische maatregelen om nutriëntenverliezen te beperken

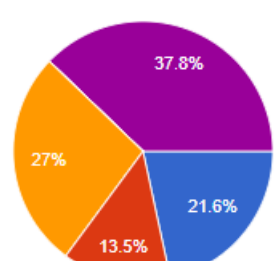
Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest



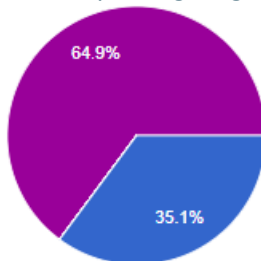
Aanwendingswijze van meststoffen



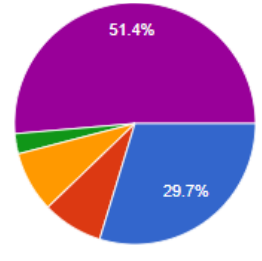
Vanggewassen en teeltcombinaties



Transportregeling

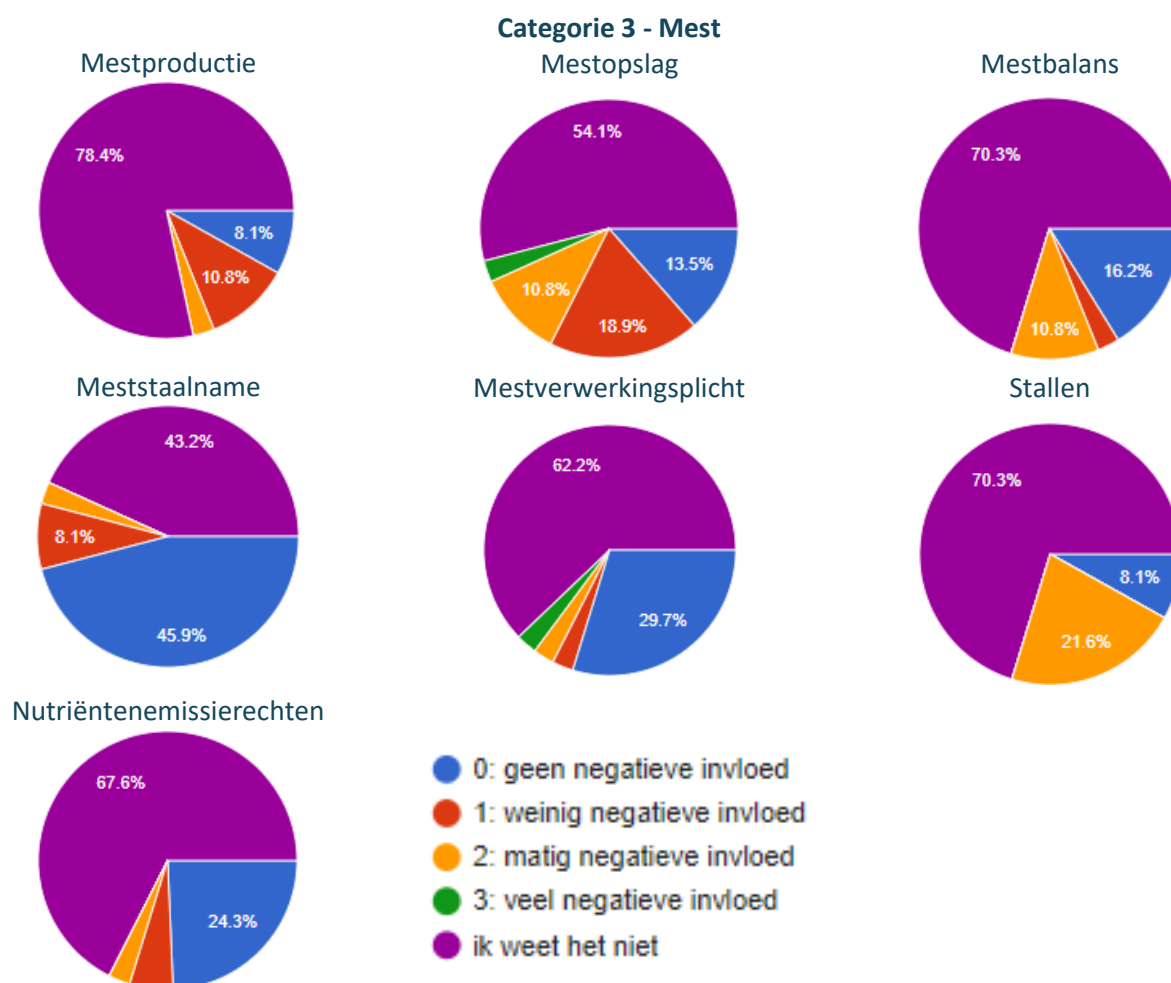


Flankerend beleid



- 0: geen negatieve invloed
- 1: weinig negatieve invloed
- 2: matig negatieve invloed
- 3: veel negatieve invloed
- ik weet het niet





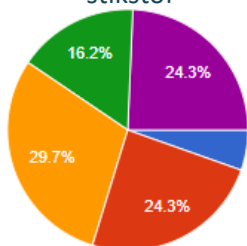
Figuur 1 Onderverdeling van de 37 antwoorden over de vijf antwoordmogelijkheden voor de vraag “Welke invloed heeft de klimaatverandering op de effectiviteit van de MAP-bepaling in het tegengaan van N- en P-verliezen?”



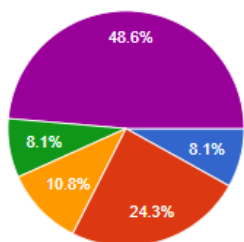
In welke mate kan een bijsturing van de MAP-bepaling de eventuele toename van nutriëntenverliezen onder invloed van de klimaatverandering beperken?

Categorie 1 – normen en advies

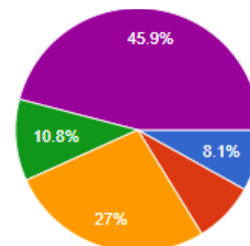
Bemestingsnormen voor stikstof



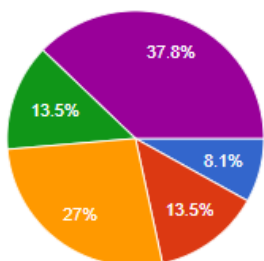
Bemestingsnormen voor fosfaat



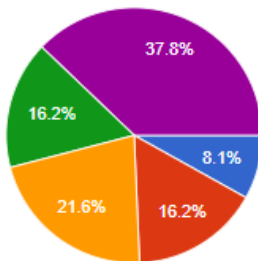
Derogatie



Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen



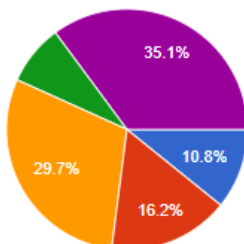
Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11



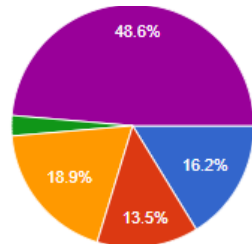
- 0: geen bijsturing mogelijk
- 1: weinig positieve invloed
- 2: matig positieve invloed
- 3: veel positieve invloed
- ik weet het niet

Categorie 2 - praktische maatregelen om nutriëntenverliezen te beperken

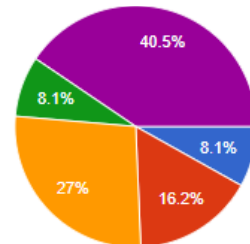
Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest



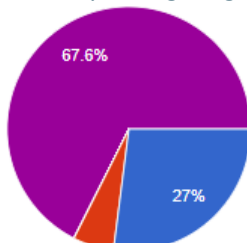
Aanwendingswijze van meststoffen



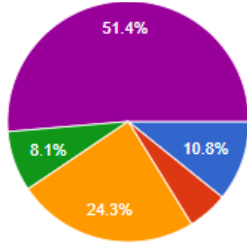
Vanggewassen en teeltcombinaties



Transportregeling

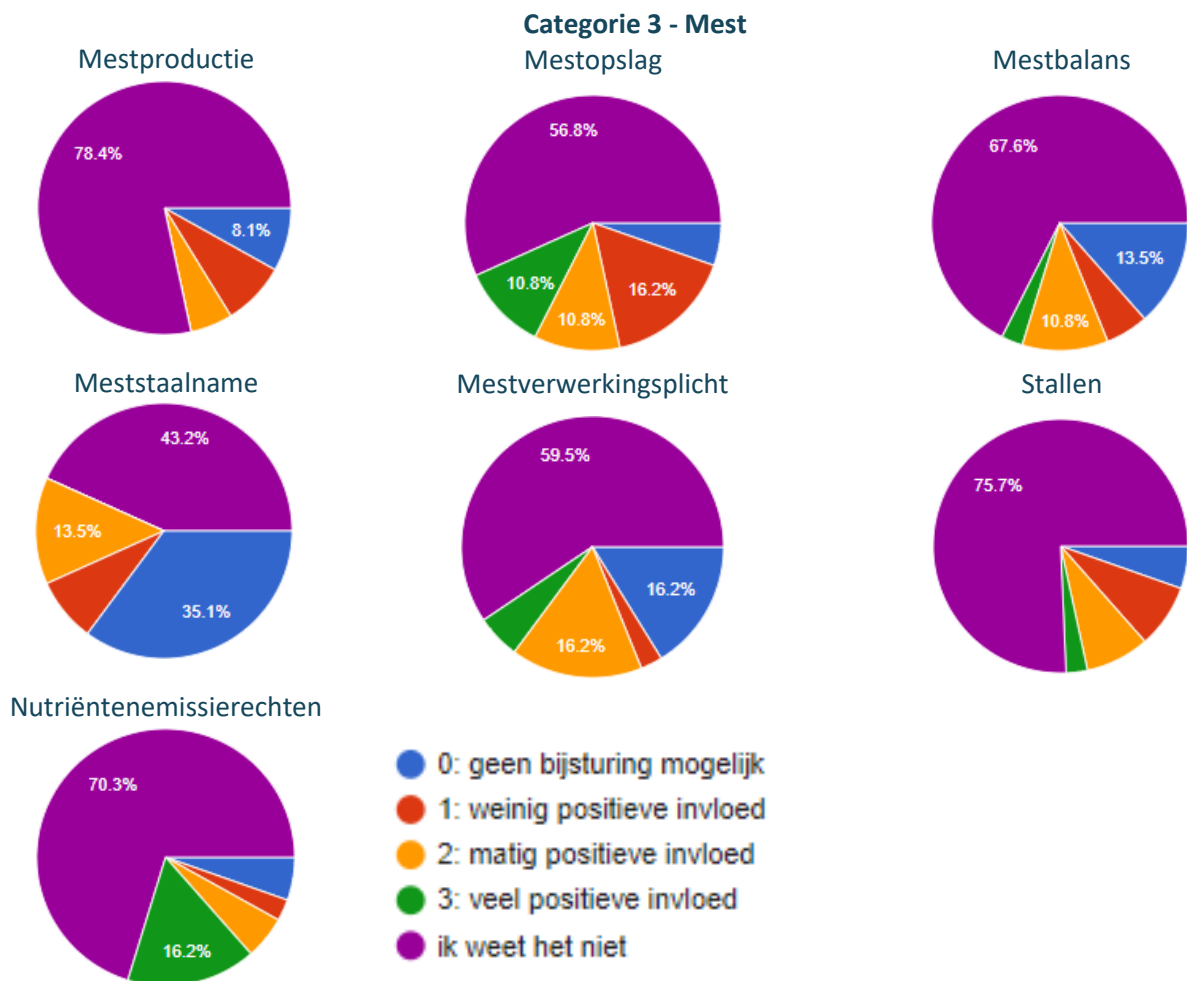


Flankerend beleid



- 0: geen bijsturing mogelijk
- 1: weinig positieve invloed
- 2: matig positieve invloed
- 3: veel positieve invloed
- ik weet het niet





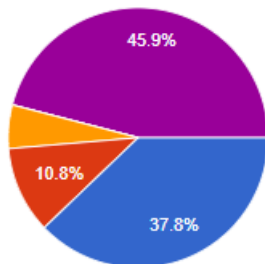
Figuur 2 Onderverdeling van de 37 antwoorden over de vijf antwoordmogelijkheden voor de vraag "In welke mate kan een bijsturing van de MAP-bepaling de eventuele toename van nutriëntenverliezen onder invloed van de klimaatverandering beperken?"



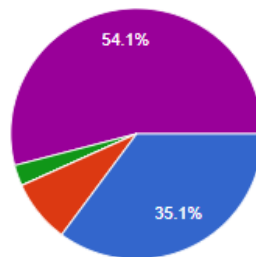
Welke invloed heeft de MAP-bepaling in het tegengaan van broeikasgasemissie vanuit de landbouw?

Categorie 1 – normen en advies

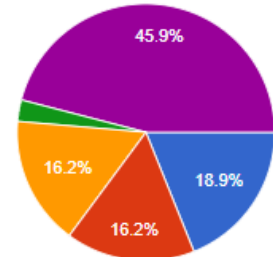
Bemestingsnormen voor stikstof



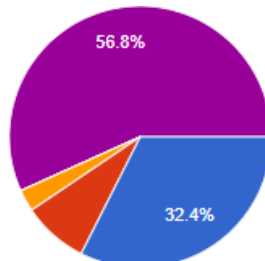
Bemestingsnormen voor fosfaat



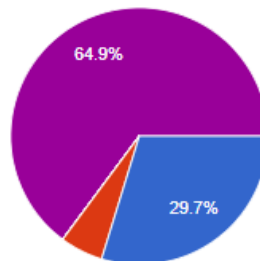
Derogatie



Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen



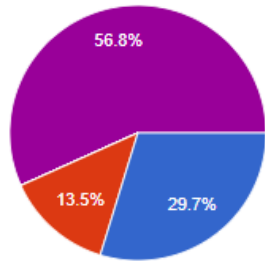
Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11



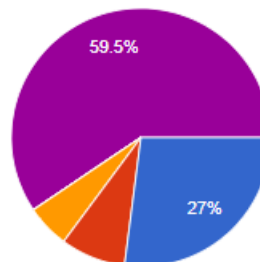
- 0: geen negatieve invloed
- 1: weinig negatieve invloed
- 2: matig negatieve invloed
- 3: veel negatieve invloed
- ik weet het niet

Categorie 2 - praktische maatregelen om nutriëntenverliezen te beperken

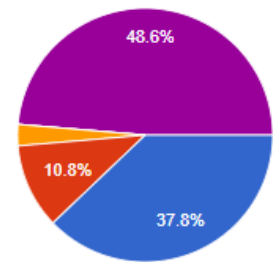
Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest



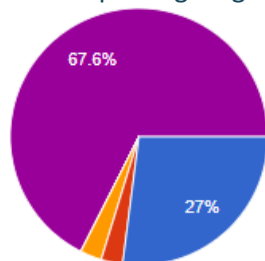
Aanwendingswijze van meststoffen



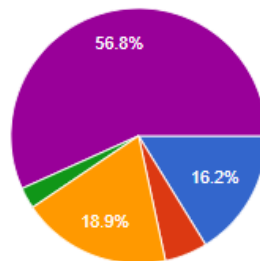
Vanggewassen en teeltcombinaties



Transportregeling

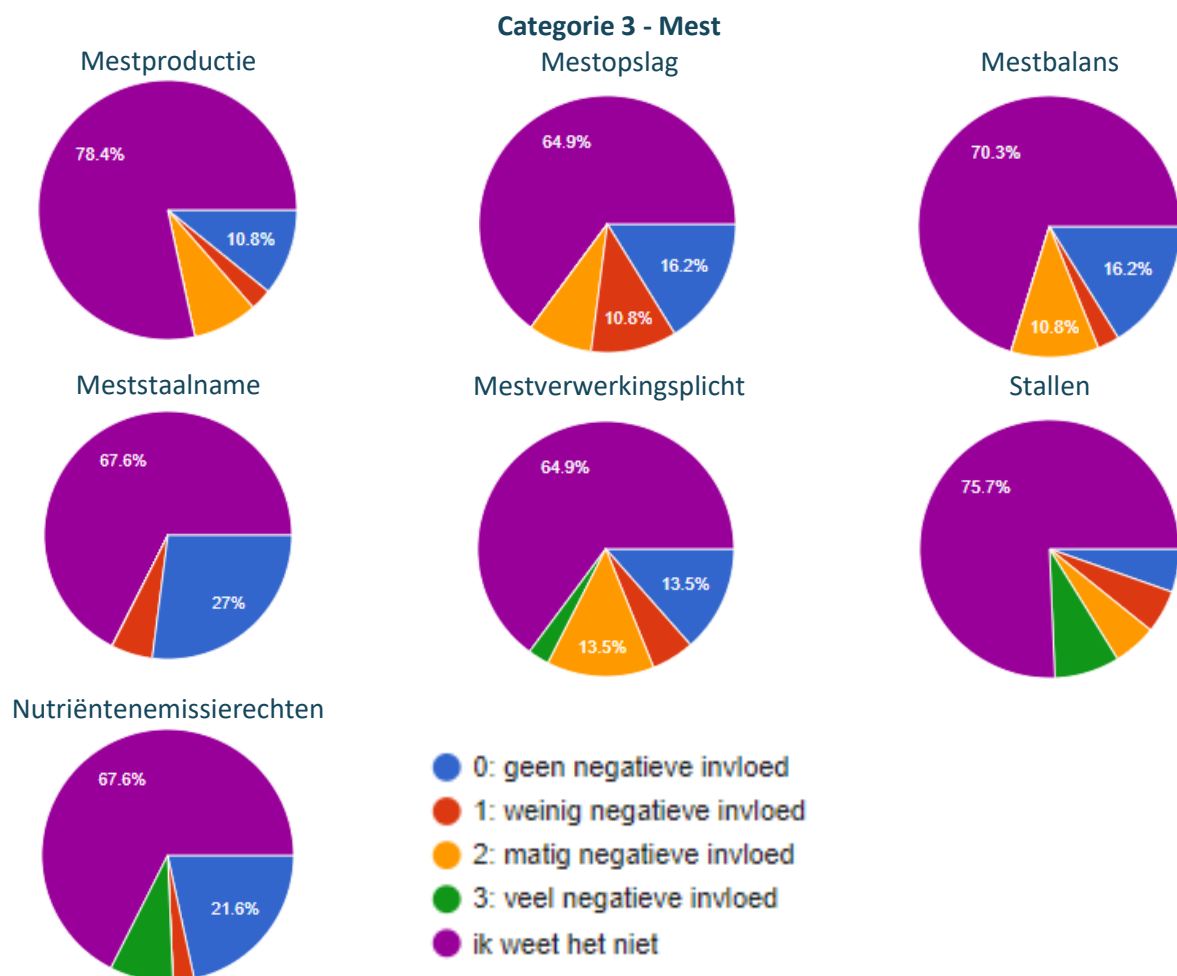


Flankerend beleid



- 0: geen negatieve invloed
- 1: weinig negatieve invloed
- 2: matig negatieve invloed
- 3: veel negatieve invloed
- ik weet het niet





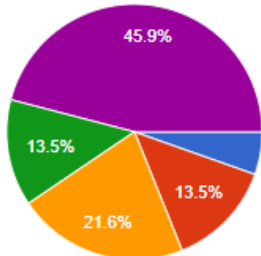
Figuur 3 Onderverdeling van de 37 antwoorden over de vijf antwoordmogelijkheden voor de vraag “Welke invloed heeft de MAP-bepaling in het tegengaan van broeikasgasemissie vanuit de landbouw?”



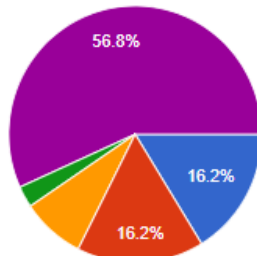
In welke mate kan een bijsturing van de MAP-bepaling broeikasgasemissie inperken?

Categorie 1 – normen en advies

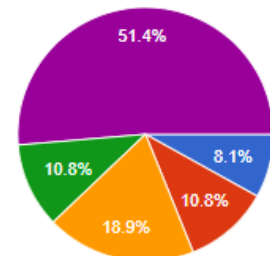
Bemestingsnormen voor stikstof



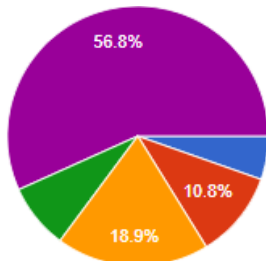
Bemestingsnormen voor fosfaat



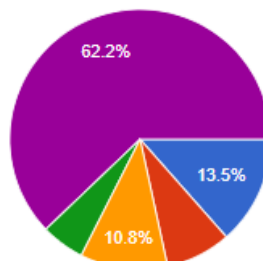
Derogatie



Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen



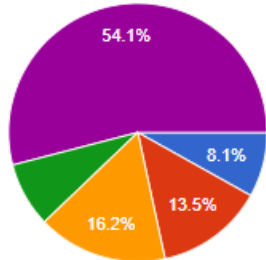
Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11



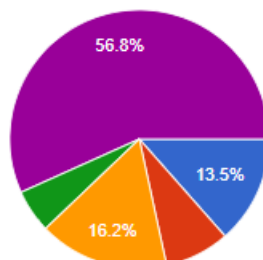
- 0: geen bijsturing mogelijk
- 1: weinig positieve invloed
- 2: matig positieve invloed
- 3: veel positieve invloed
- ik weet het niet

Categorie 2 - praktische maatregelen om nutriëntenverliezen te beperken

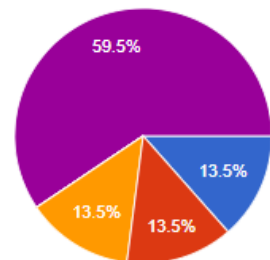
Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest



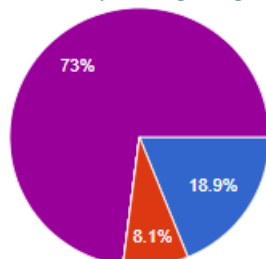
Aanwendingswijze van meststoffen



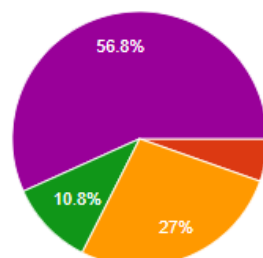
Vanggewassen en teeltcombinaties



Transportregeling



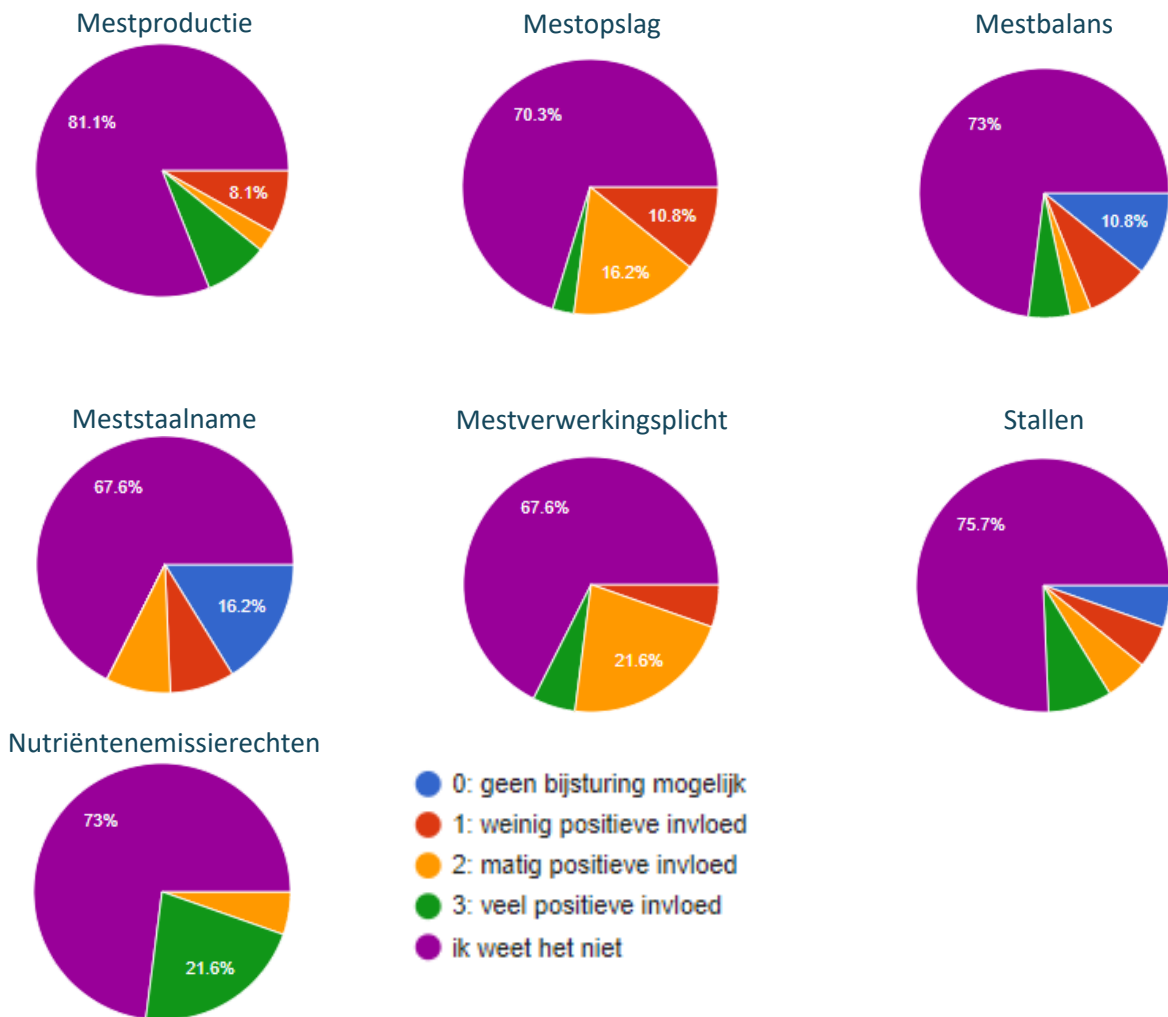
Flankerend beleid



- 0: geen bijsturing mogelijk
- 1: weinig positieve invloed
- 2: matig positieve invloed
- 3: veel positieve invloed
- ik weet het niet

Categorie 3 - Mest





Figuur 4 Onderverdeling van de 37 antwoorden over de vijf antwoordmogelijkheden voor de vraag “In welke mate kan een bijsturing van de MAP-bepaling broeikasgasemissie inperken?”

4.3 Groepsdiscussies

4.3.1 Aanpak

Per categorie van MAP-bepalingen werd een online groepsdiscussie georganiseerd met een vijftal experten (onderzoekers), één moderator, één secretaris en één persoon vanuit het VLM. De experten werden geselecteerd uit de lijst van genodigden voor de presentatie en de vragenlijst op basis van hun expertiseterrein. Er werd gekozen om de groepen niet te groot te maken om interactie te bevorderen.

4.3.2 Resultaten

De verslagen van de groepsdiscussies van de MAP-bepalingen worden weergegeven in Bijlagen 2, 3 en 4.



De belangrijkste bemerkingen/conclusies uit deze groepsdiscussies worden per MAP-bepaling hieronder weergegeven.

Categorie 1: Bemestingsnormen en adviezen

Bemestingsnormen voor stikstof

Het kan interessant zijn om de normen aan te passen in functie van irrigatie. Mogelijks moet hier in Vlaanderen wel eerst onderzoek voor gebeuren. In jaren met voldoende neerslag komen bemestingsadviezen het meest tot hun recht, irrigatie biedt op dat vlak een voordeel. Er moet echter gekeken worden welke teelten hier voordeel bij hebben en hoe de wetgeving in andere landen inspeelt op het klimaat. Een tweede punt is dat er maar weinig gekend is over het mineralisatiepotentieel bij klimaatverandering. De laatste jaren is dit er in elk geval op achteruit gegaan. Er is te weinig kennis momenteel omtrent mineralisatie, hoe de landbouwer daarop kan inspelen en of dit opgelegd moet worden door de wetgeving of beter aan de landbouwer overgelaten kan worden.

Bemestingsnormen voor fosfaat

Strengere normen zullen weinig/geen effect hebben op de P-verliezen door de grote bodemfosforvoorraad. Echter, op korte termijn zijn vooral verliezen mogelijk via erosie. Het is dus belangrijk om hierop in te zetten en er moet ook naar de connectiviteit met de waterlopen gekeken worden. Dit maakt echter geen deel uit van de MAP-regulering.

Derogatie

Bij aanvang van derogatie werd een erg grondige onderbouwing opgemaakt. Er valt weinig verandering door klimaatverandering te verwachten in het type derogatieteelten. Men kan wel meer inzetten op variabiliteit van de mestsaamenstelling, op een correcte toediening van de dosissen en op een betere kennis van wat er exact toegediend wordt.

Bodemstaalnames en eventueel gekoppelde N-adviezen

Fractioneren van bemesting biedt mogelijkheden, maar is niet mogelijk bij alle teelten. Ook zijn alle percelen anders en een gerichte bemesting blijft nodig. Op rijke percelen is mineralisatie immers moeilijker in te schatten. Er zou ook ingezet moeten worden op bemesten volgens adviezen. Er is winst te halen bij het opvolgen van adviezen in plaats van te bemesten volgens normen.

Metingen van het nitraatresidu op de percelen in de periode 1/10-15/11

Het nitraatresidu blijft een belangrijke indicator om nutriëntenverliezen in te schatten. Het tijdstip van staalname kan misschien beter gekozen worden. Een latere periode van staalname kan mogelijks een betere indicatie geven, maar de meningen zijn verdeeld of een verschuiving van het staalnametijdstip voor sommige teelten praktisch haalbaar is. Er wordt opgemerkt dat het nitraatresidu in MAP 6 heel gevarieerd is, waardoor het moeilijk is om er mee om te gaan als landbouwer.

////////////////////////////////////
//

Besluit voor MAP-bepalingen categorie 1

De expertengroep van de MAP-bepalingen categorie 1 schuift de bemestingsnormen voor stikstof, de bodemstaalnames & adviezen en de bepaling van het nitraatresidu naar voor om mee verder te werken. Deze drie bepalingen kunnen niet los van elkaar gezien worden.

Categorie 2: Praktische maatregelen om nutriëntenverliezen te beperken

Uitrijregeling van organische meststoffen en van kunstmest

Er wordt gepleit om vooral in te zetten op sensibilisering in de context van uitrijden van mest aangezien de wetgeving complexer maken op dit vlak contraproductief kan werken. Verder wordt er ook gediscussieerd over fractionering. Dit geniet de voorkeur om toekomstige effecten van droogte op te vangen in het bemestingsschema, maar de weersafhankelijkheid maakt het juist moeilijk om dit in de wetgeving uit te werken.

Aanwendingswijze van meststoffen

Er wordt aandacht op gevestigd dat niet enkel bij organische mest maar ook bij bepaalde vormen van kunstmest (zoals bijvoorbeeld vloeibare kunstmest) belangrijke vervluchtigingen kunnen optreden. Inzake de technologieën wordt aangehaald dat een mogelijk klimaateffect een te droge grond is, waarbij het moeilijk is om de drijfmest op een goede manier in de bodem te krijgen omwille van korstvorming. Spaakwiëlbemesting is een techniek waarmee potentieel meerwaarde kan worden behaald, maar is in Vlaanderen niet gekend.

Vanggewassen en teeltcombinaties

Een belangrijk punt dat naar voor komt uit de groepsdiscussies is dat de praktijk van vanggewassen best op rotatieniveau bekeken wordt. Verder wordt ook aangehaald dat ingezet moet worden op de motivatie van de landbouwer om de inzaai van vanggewassen te stimuleren. Een veranderend klimaat kan in principe leiden tot een verandering in groeiseizoen. Er is echter wel enige striktheid vereist in het inzaaien van vanggewassen omdat het nog steeds het doel is om N-uitspoeling in de winter te vermijden. Er wordt ook gesteld dat een langer groeiseizoen in de toekomst kan leiden tot het telen van twee teelten na elkaar. Dit kan ook een mooi alternatief zijn voor een vanggewas maar het tweede gewas moet dan wel een efficiënte N-opname hebben.

Mesttransport

Er is een consensus dat deze maatregel slechts beperkt relevant is in de context van de studie.

Flankerend beleid

Er wordt aangehaald dat sommige flankerende maatregelen, zoals het verhogen van de mestopslagcapaciteit, niet evident zijn en dat een combinatie van maatregelen nodig is. Nieuwe bedrijven en stallen hebben wel voldoende opslagcapaciteit. Bij oudere bedrijven is er soms een probleem en wil men nog bemesten in het najaar om met een lege put de winter te kunnen aanvangen. Dergelijke praktijk moet echter aangepakt worden op lange termijn. Er wordt ook aangehaald dat compostering op zich interessanter kan zijn dan mestverwerking aangezien de koolstof niet wordt afgebroken. Anderzijds blijft ook de P aanwezig. Betreffende mestverwerking wordt aangehaald dat telers niet altijd een goed zicht hebben op de nutriënteninhoud van de restproducten van de vergisting. Ook wordt bij de producenten van digestaat geen rekening gehouden met de wensen van de eindgebruiker.

//
//

Besluit MAP-bepalingen categorie 2

De expertengroep van de groepsdiscussie MAP-bepalingen categorie 2 concludeerde dat er vanuit het project best wordt ingezet op de praktijk “Vanggewassen en teeltcombinaties” en in mindere mate ook op “Uitrijregeling van organische meststof en van kunstmest” omdat fractionering daarin kan worden uitgewerkt. Fractionering kwam ook al aan bod in de sessie rond normen en advies (MAP-bepalingen categorie 1) waardoor hier de focus kan liggen op “Vanggewassen en teeltcombinaties”.

Categorie 3: Mest

Mestproductie

De impact van de klimaatverandering op de mestproductie zal anders zijn voor iedere diergroep, niet alleen omwille van een verandering van de rantsoenen, maar ook van een ander aandeel van geïmporteerde voedingrediënten zoals soja. Een continue aanpassing van de uitscheidingsnormen zal noodzakelijk blijven.

Mestopslag

Een veranderend klimaat betekent dat we meer moeten omgaan met snel wisselende weeromstandigheden. Het gezond verstand zegt dat mest zo kort mogelijk voor de start van de teelt moet uitgereden worden. Te vroeg en op te natte bodem uitrijden kan voor problemen van verdichting zorgen. Op de vraag of er ingezet moet worden op extra opslagcapaciteit wordt gezegd dat er al grote stappen gemaakt zijn en dat een nog hogere opslagcapaciteit moeilijk praktisch haalbaar is. Er kunnen wel nog verbeteringen gemaakt worden door de opslag te verbeteren (bv. afgesloten systemen met weinig oppervlakte buiten de stal waardoor lekdetectie gemakkelijker is).

Mestbalans

De mestbalans wordt gebruikt om bedrijven door te lichten maar leidt niet meer automatisch tot boetes zoals vroeger. Deze mestbalans houdt rekening met een optimale teeltproductie. Het is inderdaad zo dat teeltmislukkingen in een veranderend klimaat meer kunnen voorkomen. Als de mest dan al gevoerd is kan dit leiden tot een nutriëntenoverschot dat uitspoelt.

Meststaalname

De consensus van de experts is dat er nog winst te behalen valt bij een correctere bepaling van de mestsamenstelling. Er wordt ook aangehaald dat stalen meestal genomen worden in het kader van de mestproducent, maar niet in het kader van de mestgebruiker. Voor de gebruiker zou het beter zijn een vrachtstaal te hebben, maar de analyse volgt dan pas als de mest al uitgevoerd is. Er bestaan systemen voor onmiddellijke analyse bij het lossen van mest, maar deze moeten nog op punt gesteld worden.

Mestverwerkingsplicht

Het zou best zijn om een holistische benadering te hebben, waarbij eerst wordt bepaald wat het maximaal draagvlak is van mestverwerking en van daaruit te vertrekken om te bepalen wat nog mogelijk is, en niet andersom. Idealiter zouden mestverwerkingsproducten moeten kunnen ingezet worden als kunstmestvervanger. Er is op dat vlak een nieuwe verordening meststoffen in de maak, maar er dient op gelet te worden dat de organische stof wel nog maximaal wordt behouden op onze landbouwgronden en niet



weggevoerd wordt. Er wordt ook opgemerkt dat de verblijftijd van mest in mestverwerking soms te kort is waardoor de inhoud aan nutriënten te hoog ligt in de effluenten.

Stallen

Alles wat in de discussie aangegeven wordt zijn optimalisaties van huidige systemen, los van het klimaat. Het kan dus beter met de huidige technieken. Zo kan men bijvoorbeeld inzetten op monitoring en problemen detecteren en deze dan oplossen om zo de efficiëntie te verhogen.

Nutriëntenemissierechten

Oorspronkelijk werd dit gebruikt als beperking op de veestapel, later als beperking op de nutriëntenproductie, maar door de mogelijkheid van mestverwerking is het systeem vrij open geworden en onmogelijk te sturen. Het systeem van de NER geeft momenteel te weinig mogelijkheden om de veestapel te verkleinen (er wordt de vraag gesteld of dit nodig is?), want er is steeds mestverwerking als uitweg. Als de veestapel moet verkleinen moeten de NER ook een andere invulling krijgen. Vanuit het beleid werd reeds aangegeven dat de NER kunnen herbekeken worden om de klimaatdoelstellingen te behalen.

Besluit MAP-bepalingen categorie 3

Er wordt geconcludeerd door de experten-groep van de MAP-bepalingen categorie 3 dat een keuze maken tussen deze MAP-bepalingen niet mogelijk lijkt, maar dat men ze als één geheel moet zien. Het klimaat kan als hefboom gebruikt worden om de huidige systemen te optimaliseren. Nieuwe bepalingen lijken niet direct nodig, maar er is nog heel wat mogelijkheid om de huidige bepalingen beter te gaan uitvoeren.



4.4 Luik 1: Selectie vijf MAP-bepalingen/thema's

Bovenstaande korte beschrijvingen van de groepsdiscussies maken duidelijk dat bepaalde MAP-bepalingen niet los van elkaar gezien kunnen worden. Daarom worden enkele thema's en enkele bepalingen naar voor geschoven om mee verder te werken.

Optimalisering van de N-adviezen

Oordeelkundig bemesten vereist goede N-adviezen. De huidige bemestingsnormen zijn gebaseerd op jarenlang onderzoek en de normen zijn goed onderbouwd. Uit de groepsdiscussies kwam niet onmiddellijk naar voor dat de normen aangepast zouden moeten worden, zeker doordat het groeiseizoen (en dus ook de productie) moeilijk te voorspellen zijn. De manier waarop invulling wordt gegeven aan deze normen kan wel aangepast worden om toekomstige toename van nutriëntenverliezen door klimaatverandering reduceren. Zo werd gedurende de groepsdiscussies meermaals aangehaald dat men meer moet inzetten op fractionering, bv. door een standaard basisbemesting toe te passen en vervolgens bij te bemesten op basis van extra bodemstaalnames. Er werd ook aangehaald dat fractionering niet voor alle teelten haalbaar is. Deze adviezen kunnen ook onderscheid maken tussen geïrrigeerde en niet-geïrrigeerde teelten.

Optimalisering van de opvolging

Oordeelkundig bemesten vereist ook een goede opvolging. Dit wordt gedaan aan de hand van bodemstaalnames en de bepaling van het nitraatresidu. Het staat buiten kijf dat extra bodemstaalnames gedurende het seizoen leiden tot een betere opvolging alsook meer gerichte adviezen. De meting van het nitraatresidu is tweezijdig. Ten eerste wordt het gebruikt om het risico op nutriëntenverliezen naar het milieu in te schatten. Deze functionaliteit zal niet wijzigen bij klimaatverandering. Ten tweede wordt het nitraatresidu ook gebruikt als indicator om de juistheid van bemesting te evalueren. Door de onvoorspelbaarheid van de weersomstandigheden wordt er in de vergelijking van de meting van het nitraatresidu met de drempelwaarden zoals nu voorzien is in de wetgeving een extra onzekerheid ingebouwd. De juistheid van de bemesting op gebied van de 4J's wordt steeds belangrijker om een goed nitraatresidu te behalen. Door droogte en andere weerfenomenen en de verhoogde mineralisatie in het najaar door hogere temperaturen kan het namelijk zijn dat er een hoger nitraatresidu gemeten wordt, ondanks een goede opvolging van de goede praktijken en adviezen door de landbouwer. Hier moet dus 100% op ingezet worden om dit risico zoveel mogelijk te verminderen. Er is vraag naar een conceptverandering om de bemesting te evalueren. Dit kan mogelijks gedaan worden door tussentijdse bodemstaalnames tijdens het seizoen en kan eventueel gelinkt worden aan de optimalisatie van de adviezen. Bepaalde teelten en teeltomstandigheden zullen bij klimaatsverandering hogere nitraatresidu's kunnen geven en aldus een hoger risico impliceren voor de waterkwaliteit. De klimaatveranderingen kunnen aldus ook aanleiding geven tot de inzet van klimaatrobustere teelten, teelten met lagere N-behoefte, aangepaste bemestingstechnieken/fractionering, extensievere productie....

Vanggewassen en teeltcombinaties

Het huidig systeem rond de vanggewassen is beperkend in het kader van de klimaatverandering. Zaai- en oogstdata kunnen herbekeken worden maar er moet vooral gekeken worden naar een rotatiegericht systeem en niet per seizoen.

Optimalisatie van mestopslag en stallen



Zoals aangehaald tijdens de groepsdiscussie zijn de huidige MAP-bepalingen van categorie 3 Mest voldoende. Maar, de technische vereisten rond staltypes zoals beschreven in de milieuvergunning kunnen beter uitgewerkt worden. Dit houdt o.a. een optimalisatie van de huidige systemen in (bijvoorbeeld inzetten op de monitoring om zo lekken te detecteren), het verbeteren van het stalklimaat, het inzetten op de reductie van de mestoppervlakte en de emissietijd, enz. Aanpassingen zullen voornamelijk een invloed hebben op luchtmissies (ammoniak, methaan).

Herevaluatie van de mestbalans en de NER

Deze MAP-bepalingen werden oorspronkelijk opgemaakt om de veestapel te beperken en niet om deze uit te breiden, hetgeen momenteel wel mogelijk is via het systeem. De invloed van de klimaatverandering op deze MAP-bepalingen naar N-en P-verliezen werd verondersteld eerder klein te zijn, maar er werd aangegeven dat een bijsturing van deze bepalingen kan leiden tot een vermindering in broeikasgasemissies. Bij de NER werd aangehaald dat de huidige manier van werken averechts is omdat een uitbreiding van de veestapel kan mits mestverwerking. Een optie is om voorwaarden te stellen met betrekking tot neutrale of verminderde CO₂-equivalenten om het instrument beter af te stemmen op klimaatverandering. De MAP-bepaling van de mestbalans wordt momenteel toegepast op bedrijfsniveau.

Gedurende meerdere groepsdiscussies kwam echter aan bod dat er voor het sluiten van de nutriëntencyclus een herevaluatie nodig is op grotere schaal dan op bedrijfsniveau. Eigenlijk zou het beter zijn te bekijken hoeveel nutriënten ons huidige systeem aankan en (eventueel via de extra stap van mestverwerking) te gaan omrekenen hoe groot de veestapel mag zijn om het systeem aan te houden. Dit is een duurzame manier om de nutriëntenverliezen in te perken.



5. LUIK1: LITERATUURSTUDIE

5.1 Optimalisatie van de N-bemestingspraktijken

5.1.1 Achtergrond

Klimaatverandering kan in Vlaanderen leiden tot nattere winters en drogere zomers, waarbij er meer en intensere neerslagevents kunnen optreden. Bemesten voorafgaand aan zo'n neerslagevent kan leiden tot nutriëntenuitspoelingen. Drogere zomers kunnen leiden tot een verminderde biomassa-productie waardoor nutriënten niet opgenomen worden. Het effect van droogte op de totale biomassa-productie zal nog groter zijn voor bepaalde planten wanneer de droogteperiode valt tijdens de bloei van het gewas. Een meta-analyse op data van 1980-2015 op granen, groenten en wortels/knollen toonde inderdaad aan dat gewassen gevoeliger zijn voor droogte tijdens de reproductieve dan tijdens de vegetatieve fase (Daryanto et al., 2017). Voor de meeste gewassen was de schade onomkeerbaar, uitgezonderd bij wortel/knolgewassen waar de productie deels hersteld kon worden indien tijdens het aandikken van de wortels/knollen voldoende water aanwezig was. Hogere temperaturen in het najaar kunnen dan weer leiden tot een verlenging van het groeiseizoen. Zo komen de laatste jaren steeds later op het jaar nog redelijke grassneden maaien, hetgeen ook gepaard gaat met een hogere stikstofopname. De invloed van de klimaatverandering op de biomassa-productie zal in de toekomst sterk variëren door de toenemende variabiliteit in weersomstandigheden. De invloed op nutriëntenverliezen is bijgevolg moeilijk betrouwbaar in te schatten. Verhoogde CO₂-concentraties en een langer groeiseizoen kunnen ook leiden tot een verhoogde biomassa-productie. Verhoogde biomassa-productie door verhoogde CO₂-concentratie gaat echter gepaard met een daling in nutriëntengehalte van de plant (Soares et al., 2019; Uddling et al., 2018), waardoor het netto-effect op N-opname moeilijk in te schatten is. Bovendien is de invloed van klimaatverandering op mineralisatie ook variabel: het kan de plantbeschikbare stikstof doen stijgen (vb. door hogere temperaturen) of dalen (vb. door droogte).

De algemene bemestingsnormen, zonder gebiedsgerichte verscherping, gehanteerd in Vlaanderen zijn gebaseerd op jarenlang onderzoek en zijn theoretisch onderbouwd, uit de panelgesprekken kwam niet onmiddellijk naar voor dat een aanpassing van de normen nodig was, zeker omdat het groeiseizoen, en bijgevolg de biomassa-productie, moeilijk te voorspellen zijn. Verlagen van de N-bemesting vermindert logischerwijze nutriëntenuitspoeling maar verhoogt ook het risico op opbrengstverliezen. Dit is economisch nadelig en kan ook de algemene impact op het milieu doen stijgen (Norton & Ouyang, 2019). Het kan dus nadelig zijn om de totale bemestingshoeveelheid te doen dalen, maar er kan wel gewerkt worden aan een verhoging van de stikstofgebruiksefficiëntie door bijvoorbeeld de bemesting in verschillende giften toe te dienen. Voldoende N-bemesting is ook noodzakelijk voor een goede watergebruiksefficiëntie (d.i. de ratio van effectief watergebruik en de wateronttrekking), zowel in droogtecondities als in scenario's met voldoende water (Meise et al., 2019). In een droogtescenario kan N-limitatie bovendien de stikstofgebruiksefficiëntie doen dalen (Meise et al., 2019). Dit kan ervoor pleiten om steeds voldoende te blijven bemesten, anderzijds is bijbemesten tijdens een droogteperiode niet nuttig aangezien deze extra bemesting toch niet opneembaar is door een watergebrek. Droogte heeft een grote invloed op de biomassa-productie, en bijgevolg op de nitraatresiduwaarden en het risico op uitspoeling. Zo werden er eind 2019 hoge nitraatresiduwaarden aangetroffen op groenten- en aardappelpercelen (en in mindere mate bij maïs), daar waar de opbrengst door droogte niet optimaal was (Vandervelpen & Bries, 2020). Dat droogte een belangrijke invloed heeft op de nitraatresiduwaarde werd door landbouwers zelf ook aangehaald bij een enquête onder tuinbouwers (BDB & UGent, 2006).

////////////////////////////////////
//

De manier waarop invulling wordt gegeven aan de normen, aan de hand van adviezen, zou nutriëntenverliezen kunnen reduceren in een veranderend klimaat. Bemestingsnormen zijn opgesteld op basis van plant- en bodemgemiddelden, meer specifiek o.b.v. de gemiddelde N-opname van een teelt en textuur (zand vs. niet-zand). Bemestingsadviezen daarentegen houden specifiek rekening met het perceel waarop bemest wordt en nemen ook de bodemtoestand mee op, en brengen zo ook de N-voorraad en N-levering mee in rekening. Deze studie zal o.a. beschrijven voor welke teelten het nuttig kan zijn om de totale bemesting op te delen in verschillende dosissen en er zal een overzicht gegeven worden van wat reeds gekend is. Een belangrijke factor hierin is om het bemestingstijdstip zo goed mogelijk te laten overeenkomen met het tijdstip van de plantopname. Norton & Ouyang (2019) toonden aan dat dit een efficiënte techniek is om N-verliezen via nitrificatie (omzetting van ammonium naar nitraat) te verminderen en de N-gebruiksefficiëntie te verhogen. Uit de groepsdiscussies met de experts (zie Luik 1: Workshop) volgde dat een belangrijk punt hierbij is dat deze adviezen beter opgevolgd zouden moeten worden, en dat men minder bemest volgens de norm zoals vandaag de dag nog te vaak gebeurt. Dit hoofdstuk zal ook kort ingaan op indicatoren die de noodzaak tot bemesting kunnen duiden.

Verder zal in dit onderdeel het stikstofverhaal gelinkt worden aan irrigatie. Bij irrigatie komt stikstofbemesting het meest tot zijn recht omdat gewassen betere/optimale groeiomstandigheden hebben. Verwacht wordt dat door toenemende droogte het areaal teelten onder irrigatie zal stijgen. Uiteraard is dit volledig ondergeschikt aan de beschikbaarheid van water, alsook aan de keuze om water aan dat perceel te geven. Indien irrigatie toeneemt bij klimaatverandering, zal het van belang zijn om het water op de juiste moment en plaats in te zetten. Meer informatie hierover kan teruggevonden worden in Luik 3 onder het thema Precisie landbouw (zie 17.3). Er zal ook kort ingegaan worden op de uitrijregeling.

Uiteraard blijft het van belang dat andere bodemfactoren, zoals o.a. pH en %OC, ook optimaal blijven om een maximale N-opname door het gewas te realiseren, met een lager nitraatresidu ten gevolge. Ook de aanwezigheid van andere nutriënten in een goed evenwicht is van belang voor een optimale N-opname, zo versterken bijvoorbeeld kalium en stikstof elkaars opname. In een eerdere studie werd het effect van het op optimale pH brengen van een bodem op de verwachte nitraatresidu's berekend (Vlaamse landmaatschappij, 2019), op basis van twee scenario's. In een eerste scenario waarbij de optimale pH bepaald werd op basis van lineaire regressie daalde het nitraatresidu 2,5% en de nitraatuitspoeling met 1,5%. In het tweede optimistische scenario werden de pH-gewasresponscurves gebruikt waarbij de N-opname berekend werd indien er een optimale pH was, hierbij daalde het N-residu met 20% en de nitraatuitspoeling met 14%.

5.1.2 Recente aanpassingen aan het MAP kunnen al leiden tot reductie in nutriëntenverliezen

Bij de panelgesprekken (zie Luik 1: Workshop) werd gesteld dat adviezen onvoldoende worden opgevolgd en dat er vaak bemest wordt volgens de norm. Ook reflecties uit de praktijk wijzen uit dat er af en toe ook meer bemest wordt dan de norm, hetgeen indien dit niet doordacht gedaan wordt tot extra nutriëntenverliezen kan leiden. Dit is wel toegestaan binnen de bedrijfsbenadering van MAP 5 en MAP 6 om enige flexibiliteit te gardanderen. Dat er meer bemest wordt dan de norm werd ook aangetoond in het Eindrapport "Vernieuwde kwantificering van de verliezen van N en P vanuit de landbouw naar het oppervlaktewater" (Van Opstal et al., 2014). Het bemestingsallocatiemodel werd hier opgesteld om de bemesting per perceel in te schatten en is

////////////////////////////////////
//

gebaseerd op de bemestingsnorm. Bij vergelijking van de geschatte N-bemesting via het bemestingsallocatiemodel met de effectieve bemesting op 177 percelen van het derogatie monitoringnetwerk in 2009 bleek dat de bemestingsnorm voor 88 percelen overschreden werd, waarvan in 24 percelen met meer dan 50%. Dit is te wijten aan het feit dat landbouwers in praktijk afwijken van de bemestingsnorm op perceelsniveau, hetgeen ook toegelaten is volgens de bedrijfsbenadering binnen MAP 5 en MAP 6. Er moet echter wel gestreefd worden naar een meer perceelspecifieke bemesting. Het komt wel voor in de praktijk dat men voor meerdere percelen bodemstalen laat nemen, elk met hun eigen bemestingsadvies, terwijl er in praktijk eenzelfde bemestingshoeveelheid wordt toegepast op de percelen.

Het invoeren van het kunstmestregister in MAP 6 moet resulteren in een beter beeld op het effectief kunstmestgebruik. Dit kan mogelijks leiden tot een reductie in nutriëntenverliezen. Daar waar vroeger voornamelijk controle was op de mestproductie, was het minder duidelijk hoeveel kunstmest toegepast werd. In het bemestingsregister moet de landbouwer verplicht, en tot in detail, bijhouden welke bemesting op welke perceel/perceelsgroep uitgevoerd werd. Dit moet resulteren in een meer beredeneerde inzet van kunstmest op perceelsniveau. De verstrenging houdt ook in dat de kunstmeststofhandel gecontroleerd wordt over hoeveel kunstmest er verkocht werd aan wie. Elke aankoop moet ook bewezen kunnen worden met een factuur.

5.1.3 Bijbemesten

Het toedienen van de bemesting op verschillende tijdstippen kan een oplossing zijn om nutriëntenverliezen te beperken omdat er meer ingespeeld kan worden op de plantbehoefte. Hierbij wordt het principe gehanteerd dat 100% bemesting zorgt voor optimale groei, maar deze 100% bemesting wordt in dit geval niet enkel ingevuld via een basisbemesting maar het wordt opgesplitst in één of meerdere bijbemestingen. Indien gestart wordt met een basisbemesting en er doorheen het teeltseizoen opgemerkt wordt dat er een verminderde biomassa-productie is of dat er vooruitzichten zijn voor een lagere biomassa-productie (vb. wanneer aardappelen al in bloei staan voor het sluiten van de rijen), dan is er een grote kans dat de opbrengst niet 100% zal zijn. Op zo'n momenten is het niet altijd noodzakelijk om bij te bemesten of kan een gereduceerde bijbemesting gepast zijn. Een tweede bemesting (de bijbemesting) moet dus niet enkel aangepast zijn aan het gewas (N-gebrek) maar ook aan de omstandigheden (vb. droogte) en het verwachte rendement, en is enkel zinvol wanneer de basisbemesting het N-advies niet voor 100% invult. Er moet ook opgemerkt worden dat wanneer slechts net voldoende bemest wordt en men ervan uitgaat dat er nog N-nalevering door mineralisatie zal zijn, het systeem extra gevoelig kan zijn voor opbrengstverliezen aangezien het weer niet voorspeld kan worden op de middellange termijn en dit ook lokaal kan verschillen. In wat volgt wordt voor verschillende teelten de mogelijkheden tot bijbemesting besproken.

5.1.3.1 Granen

Bijmesten van stikstof in granen heeft reeds wijdverspreid in Vlaanderen zijn toepassing gevonden. Bij granen wordt ook vaak gesproken over het toedienen van de bemesting in verschillende fracties. Voor wintergraangewassen in onze gebieden werd aangetoond dat eenzelfde stikstofdosis toedienen via deelgiften tot een hoger economisch rendement leidt. De exacte verdeling van de dosissen is hierbij ondergeschikt aan het belang van de totale dosis (KVIV, 1991).



Standaard worden drie fracties toegepast, waarbij elke graansoort zijn eigen kenmerken heeft om tot een optimaal fractioneringsschema te komen. De parameters opgenomen voor wintertarwe zijn weergegeven in Tabel 2 (Ver Elst & Bries, 2010). De N bodemvoorraad heeft een grote invloed op de fracties en meer specifiek heeft de verdeling van de minerale stikstof tussen de verschillende bodemlagen (0-30, 30-60 en 60-90 cm) een grote invloed. Ook de mineralisatie, dewelke in sterke mate afhankelijk is van het %OC in de bodem, is van belang voor de fractionering, en het belang hiervan stijgt naarmate het seizoen vordert door stijgende bodemtemperaturen. Een beoordeling van de gewasontwikkeling in het voorjaar is dan weer van belang om de eerste fractie bij te sturen. Een sterke ontwikkeling van de hergroei van het gewas in het voorjaar impliceert dat er al veel N opgenomen is hetgeen kan leiden tot een lagere N-gift in de eerste fractie. Verder spelen ook specifieke kenmerken van de variëteit een rol in het bepalen van de N-gift per fractie.

Tabel 2 Factoren die in rekening gebracht worden voor het opstellen van een fractioneringsschema voor granen volgens de N-indexmethode - BDB 2009 (Ver Elst & Bries, 2010)

	Eerste fractie:	Tweede fractie:	Derde fractie:
	uitstoeling	oprichten	laatste blad
Minerale N 0-30 cm	x	-	-
Minerale N 30-60 cm	xx	x	-
Minerale N 60-90 cm	-	xx	x
Mineralisatie	x	xx	xxx
N-opname voorjaar	Zaaidatum, gewasstand		
Ras	Uitstoelingsvermogen	Legervastheid	Kwaliteit
<i>Hoe meer x, hoe meer impact</i>			

Vanuit praktisch oogpunt kan het meer aangewezen zijn om slechts twee giften toe te passen, echter de wijze en verdeling van de bemesting is hier meer kritisch (KVIV, 1991).

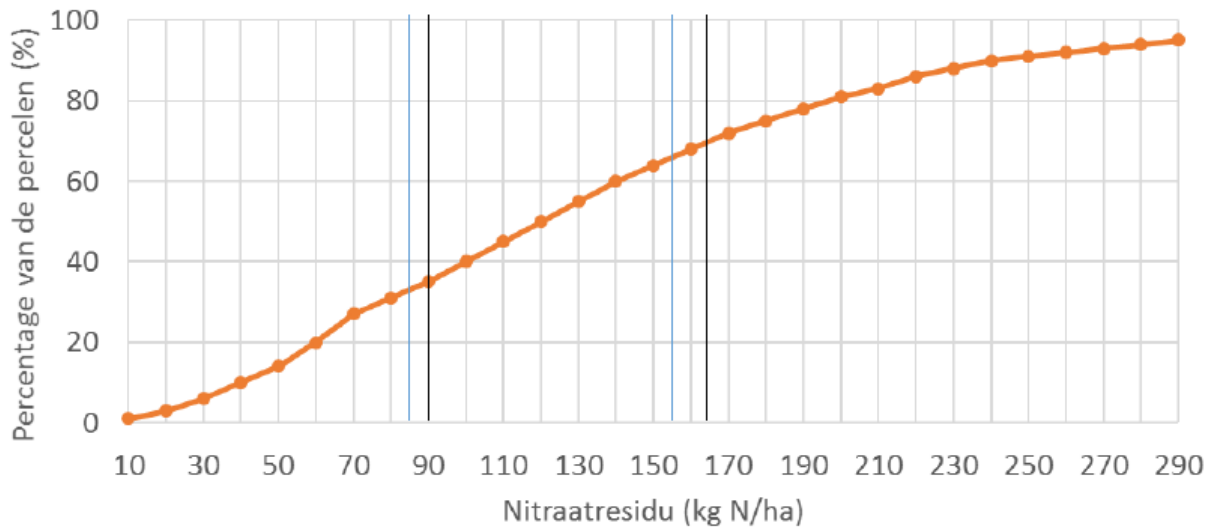
5.1.3.2 Aardappelen

Met een totale oppervlakte van 8.5% van het landbouwareaal vormen aardappelen een belangrijke teelt in Vlaanderen (Departement Landbouw & Visserij, 2020). Aardappelen hebben relatief gezien een hoge N-bemesting nodig en hebben een lage N-benutting in vergelijking met granen of bieten. Dit is te wijten aan hun minder ontwikkeld wortelstelsel. Aardappelplanten nemen nagenoeg geen stikstof op uit de bodemlagen dieper dan 60 cm. Om een gebrek aan stikstof te vermijden, alsook om een teveel aan stikstof te vermijden - die niet kan opgenomen worden en uitspoelt tot onder de wortelzone van de aardappelen en dus een risico vormt op een te hoog nitraatresidu – is het van belang om de bemesting maximaal af te stellen op de bodemvoorraad, de mineralisatie en de groeiomstandigheden. Het toepassen van een bijbemesting bovenop een basisbemesting biedt voor deze teelt dus potentieel om nutriëntenverliezen te verminderen. Een overzicht van technologieën om te fractioneren bij aardappel wordt besproken in Luik 2.

Dat er hoge nitraatresiduwaarden aangetroffen worden na een aardappelteelt wordt geïllustreerd in Figuur 5. In 2019 voldeed slechts 35 % van de percelen in gebiedstype 0/1 aan de 1^e drempelwaarde (90 kg/ha) en 70% aan de 2^e drempelwaarde (165 kg/ha). Voor gebiedstype 2/3 liggen deze percentages wat lager met 33% van de percelen die voldeed aan de 1^e drempelwaarde (85 kg/ha) en 66% die voldeed aan de 2^e drempelwaarde (165 kg/ha) (bron data: BDB, zie Figuur 5). Deze hoge nitraatresiduwaarden worden mee veroorzaakt door de



gewaskarakteristieken zoals o.a. een inefficiënt wortelstelsel en late oogst, maar kunnen ook mee veroorzaakt worden door niet-correcte bemestingspraktijken.



Figuur 5 Cumulatief % van de percelen in functie van het nitraatresidu voor de opvolgstalen van 2019 (BDB) na de teelt van aardappelen

Het verdelen van de totale bemesting over verschillende tijdstippen bij aardappelen kan tot een verminderde N-uitspoeling leiden. Het zorgt bovendien ook voor een betere verdeling van de stikstof over loof en knollen hetgeen voordelig is aangezien een te hoge N-bemesting de knolzetting vertraagt. In proeven uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België vond men meestal geen verschil tussen deling van de stikstofgift en een éénmalige toediening voor volgende parameters: knolopbrengst, het aantal knollen, de samenstelling van de knollen op basis van droge stof, het onderwatergewicht en N-benutting van de rijpe knollen. Er was ook geen invloed op N-residuen (KVIV, 1991).

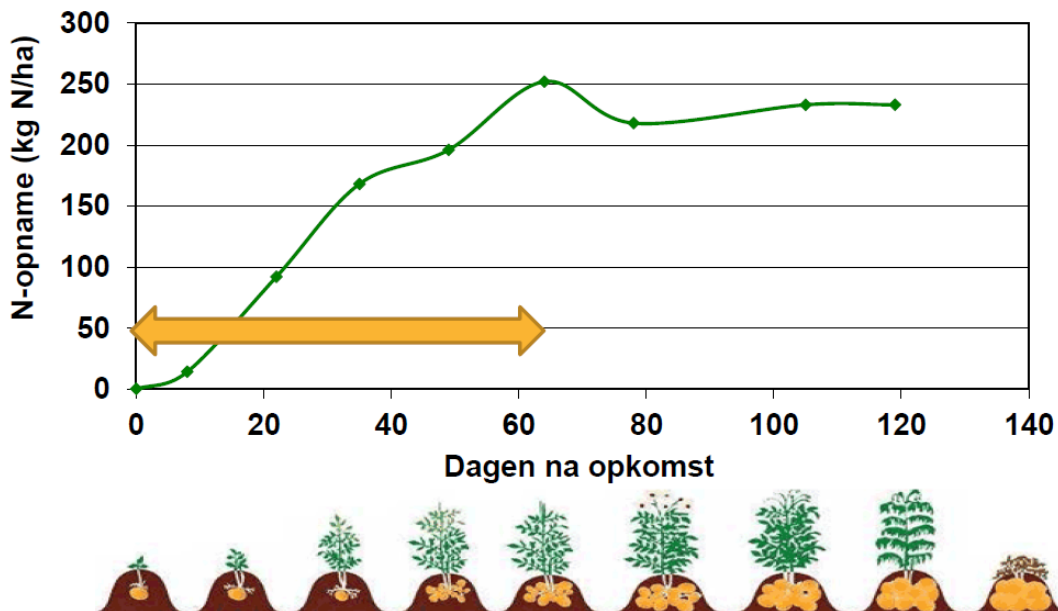
Gedurende 2006-2013 werden verschillende demovelden aangelegd in aardappelen om het effect van bijbemesting op het nitraatresidu en de gewasopbrengst op te volgen (De Blauwer *et al.*, 2013a). Hiervan waren er 33 demovelden die minstens twee van de volgende bemestingsmethoden hanteerden:

- Object 1: 100% van het bemestingsadvies als basisbemesting bij het poten
- Object 2: 70% van het bemestingsadvies als basisbemesting bij het poten
- Object 3: 70% van het bemestingsadvies als basisbemesting bij het poten + 30% als bijbemesting

De meeste proeven werden aangelegd in het ras Bintje, andere rassen die aan bod kwamen zijn: Fontane, Lady Claire, Cilena en Innovator (vroeg en midden-vroeg rassen). In proeven waar object 1 en object 3 met elkaar vergeleken werden, was het verschil in totale opbrengst en vermarktbaar sortering tussen de objecten verwaarloosbaar klein. De invloed op het nitraatresidu varieerde. Zo werd bij zo'n 33% van de gevallen een daling van 10 kg N van het nitraatresidu waargenomen, terwijl bij 33% van de gevallen een stijging van nitraatresidu van meer dan 10% werd waargenomen in vergelijking met de 100% basisbemesting. Verder onderzoek wees uit dat het tijdstip van deze 2^e bemesting van groot belang is om een deel deze verhoogde



nitraatresidu's kan verklaren. De grootste N-opname vindt namelijk plaats tot 60 dagen na opkomst (Figuur 6). Bij te laat bijbemesten stijgt dus de kans op verhoogde nitraatresidu's terug. In de Blauwer *et al.* (2013a) wordt gesteld dat bijbemesten in principe voor 1 juli moet gebeuren. Dit juist omdat de grootste N-opname plaatsvindt gedurende de eerste 60 dagen, en omdat het de bedoeling is om de bemesting bij te sturen op het moment dat de aardappelen nog veel N opnemen. Bovendien wordt vanaf juli gemiddeld gezien meer droogte waargenomen en gaat een bijbemesting op niet geïrrigeerde zandleem- en leemgronden te traag (of slechts gedeeltelijk) opgenomen worden. Op beregende zandgronden kan echter nog wel bijbemest worden, maar aan een iets lagere dosis. Een te late bijbemesting (vb. in augustus) kan ook leiden tot een te sterke loofgroei, hetgeen ten koste gaat van de knolontwikkeling. Bladvoeding (zie luik 2) kan daarentegen wel nog toegevoegd worden in juli/augustus om het gewas op gang te houden. Bij het vergelijken van proeven met object 1 en object 2 was het nitraatresidu gemiddeld zo'n 20 kg N/ha lager in object 2 (minder bemesting) dan in object 1, waarbij het opbrengstverlies eerder beperkt bleef. In object 3 daarentegen was er een kleine stijging in opbrengst in vergelijking met object 1.



Figuur 6 N-opname in functie van de tijd voor aardappelen (Eeckhout, 2018).

Er werden ook twee verschillende indicatoren vergeleken om te bepalen of men moest bijbemesten. Daaruit volgde dat voor percelen met organische bemesting (het merendeel in Vlaanderen) bijbemesten op basis van grondanalyse tijdens het groeiseizoen efficiënter was dan bijbemesten op basis van chlorofylmetingen van het gewas.

Op proefpercelen in 2012-2013 bevestigde een tussentijdse analyse bij twee proefvelden dat een basisbemesting van 70% van het advies volstond, terwijl dit voor een derde veld niet het geval was. Op dit derde proefveld werd in het object waar vervolgens de volledige bemesting toegepast werd (70% basisbemesting plus bijbemesting) een lagere vermarktbare opbrengst waargenomen omdat de aardappelen te grof gegroeid waren.



Op de proefvelden waar 70% van het advies volstond vertoonde de behandeling met bijbemesting een lager nitraatresidu dan de behandeling waar 100% van het advies toegediend werd als basisbemesting (De Blauwer *et al.*, 2013b).

Bovenstaande proeven tonen aan dat het opsplitsen van de bemesting van aardappelen in de tijd kan leiden tot een lager nitraatresidu, zeker indien de bijbemesting ten laatste gebeurt voor 1 juli. Bijkomend voordeel van het opsplitsen van de bemesting in de tijd is dat men op basis van een bijbemestingsadvies kan nagaan of een bijbemesting effectief nodig is. Indien niet, dan wordt er een aanzienlijke hoeveelheid N minder toegevoegd aan de bodem. Bijbemesten moet niet enkel gebeuren op basis van de huidige bodemstikstofvoorraden maar ook op basis van de gewasbehoefte. Zo zullen aardappelen die al in bloei staan voor het sluiten van de rijen, een grotere kans hebben op het niet behalen van de 100% opbrengst, waardoor een gereduceerde bijbemesting kan volstaan. Anderzijds komt door klimaatverandering meer droogte voor. Indien deze droogte samenvalt met een cruciale gewasgroeiperiode (vb. reproductieve fase; Daryanto *et al.*, 2017), kan dit aanzienlijke gevolgen hebben op de opbrengst en kan een gereduceerde bijbemesting geschikt zijn. Droogte zorgt ervoor dat de plant de bodem-N-voorraden niet kan opnemen. In 2020 werden aardappelproefvelden bij Inagro gestart met een basis stikstofbemesting van 70% (Inagro, 2020). Bodemstaalnames in juni toonden aan dat er nog steeds een hoge bodemvoorraad van stikstof was en dat bijbemesten niet noodzakelijk was.

Nutriëntenverliezen kunnen ook ingeperkt worden door het toepassen van andere bemestingstechnieken, dit is, door in te zetten op fractionatie in de ruimte (voor meer informatie: zie luik 2). Proeven waarbij tijdens het planten rijenbemesting toegepast werd voor het toedienen van vloeibare meststoffen hadden weinig toegevoegde waarden betreffende opbrengsten, maar vertoonden gemiddeld gezien wel een lager nitraatresidu in vergelijking met de vollegrondsbemesting (De Blauwer, Bries, *et al.*, 2013). Een recent gestart demonstratieproject “Aardappelen telen binnen de restricties van MAP 6” (januari 2020) focust op verfijnde bemestingsstrategieën om de stikstof bij aardappelen zo efficiënt mogelijk in te zetten. Hierbij wordt er o.a. gekeken naar fractioneren van de meststofgift in de tijd, rijenbemesting en het inzetten van fertigatie.

De huidige bemestingsadviezen voor aardappelen worden opgesplitst in de tijd indien de totale benodigde N-gift hoger is dan 160 kg N/ha. Deze bemestingsadviezen zijn gekoppeld aan een bodemstaalname op de 0-30 cm en 30-60 cm laag, dieper wordt niet gegaan door de beperkte bewortelingsdiepte van aardappelen. In het geval van bijbemesting wordt een bepaalde hoeveelheid N-bemesting geadviseerd net voor het planten, en wordt er een bijbemesting geadviseerd die men idealiter toedient bij knolaanleg. Een voorbeeld van een bemestingsadvies wordt gegeven in Figuur 7. Een staalname voor bijbemesting, of een beperkte basisbemesting zonder bodemstaalname gevolgd door een staalname voor een bijbemestingsadvies (ten vroegste vier weken na de basisbemesting zodat de mineralisatie uit dierlijke mest mee in rekening gebracht wordt) kunnen verbetering brengen in het optimaliseren van de N-gift en rekening te houden met variabele weersomstandigheden, en bieden dus ook potentieel om nutriëntenverliezen te verminderen. Het praktisch uitvoeren van de staalname in aardappelruggen is hierbij een aandachtspunt en moet gepaard gaan met duidelijke instructies.



BEMESTINGSADVIES: AARDAPPELEN

Variëteit	Bestemming	N-bemestingsadvies	N-fractionering	
VR 808	Chips	191 kg N/ha	Voorraadbemesting	160 kg N/ha
			Bijbemesting	31 kg N/ha

Het hoger vermelde bemestingsadvies kan in tegenspraak zijn met de wettelijk toegelaten dosis op dit perceel. Het geformuleerde advies is gericht op een **landbouwkundig optimaal rendement**, rekening houdend met de bodemvoorraad.

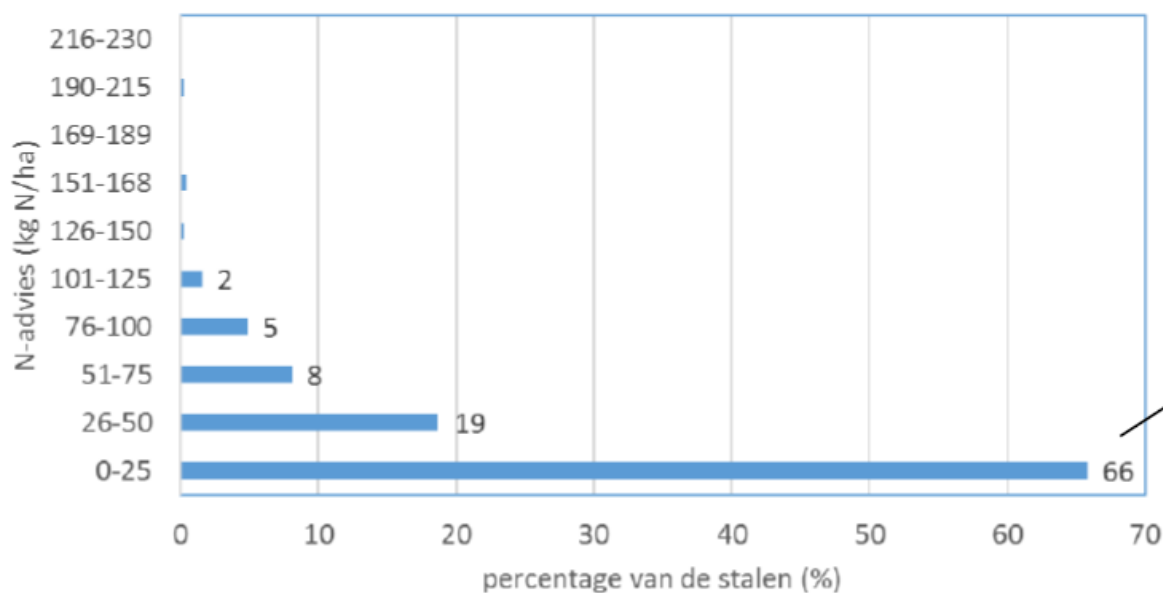
TEELTSPECIFIEKE TOELICHTINGEN BIJ STIKSTOFBEMESTINGSADVIES

- De stikstofbemesting bij voorkeur gefractioneerd toedienen op volgende tijdstippen :
 - eerste fractie : kort voor het planten
 - tweede fractie : bij de knolaanleg ongeveer 6 weken na het planten

Figuur 7 Voorbeeld bemestingsadvies voor aardappelen (BDB).

Uit een analyse van bodemstalen in 2019 waar een tussentijds bodemstaal genomen werd was bij 66% van de stalen reeds voldoende N aanwezig en moest er niet bijbemest worden na het uitvoeren van het basisbemestingsadvies (Figuur 8). Een mogelijke verklaring is dat landbouwers toch onmiddellijk de basis- en bijbemesting gaven in één beurt. Anderzijds verschillen de teeltomstandigheden jaarlijks hetgeen ook een invloed heeft op het N-gehalte in de bodem. Een bijbemestingsadvies van nul impliceert dat de basisbemesting voldoende of meer dan voldoende was en dat het nuttig is om de totale bemesting op te splitsen. De basisbemesting moet bovendien voldoende hoog zijn, anders kan het zijn dat het bijbemestingsadvies hoog is (vb. 76-125 kg N/ha in Figuur 8) hetgeen het bijbemesten bemoeilijkt en idealiter dan in twee beurten plaatsvindt. Ook vanuit praktisch standpunt is het gemakkelijker om dierlijke mest in één keer aan te brengen. Een te hoge eerste gift maakt het wel onmogelijk te corrigeren voor de weeromstandigheden via bijbemesting.

////////////////////////////////////
//



Figuur 8 Bijbemestingsadviezen voor aardappel voor mei-juni 2019 in functie van het percentage van de stalen (bron: BDB).

Er moet nogmaals opgemerkt worden dat de groei van planten niet exact te voorspellen valt. In 2020 werd het voorjaar namelijk gekenmerkt door een droog voorjaar, waardoor je zou kunnen denken dat bijbemesten niet noodzakelijk was door een verminderde gewasgroei. Deze droogteperiode werd echter gevolgd door een nattere periode waardoor op proefpercelen met aardappelen die opgevolgd werden door de Bodemkundige Dienst van België aardappelplanten de groeiachterstand inhaalden. Eind augustus hadden op een aantal proefpercelen die bemest werden volgens het bemestingsadvies aardappelplanten al 270 kg N/ha opgenomen. Bodemanalyses op dat moment toonden ook aan dat de bodem volledig uitgeput was.

5.1.3.3 Groenten

Tijdens de groepsdiscussies werd gesteld dat in de groenteteelt vaak hoge bemestingsdosissen toegediend worden. Dit omdat landbouwers het gevoel hebben dat toedienen van lagere dosissen een directe impact heeft op de opbrengsthoeveelheid en/of – kwaliteit. Dit leidt tot hoge minerale stikstofhoeveelheden in de bodem bij oogst. Hoge nitraatresidu's kunnen ook het gevolg zijn van oogstresten die blijven liggen of de trage werking van dierlijke mest. Ook de korte groeicycli, de ondiepe beworteling en de hoge N-vraag tot aan de oogst van groenten in de vegetatieve fase leiden tot een hoog nitraatresidu (BDB & UGent, 2006; Karoline D'Haene et al., 2018). Een te hoge N-bemesting heeft een negatief effect op het nitraatresidu, maar kan ook een negatief effect hebben op de opbrengsthoeveelheid en kwaliteit doordat groenten bijvoorbeeld ziektegevoeliger zijn of minder lang houdbaar zijn. Vooral gewassen die als tweede teelt gezet worden zoals bloemkool, broccoli, knolselder, bleekselder en prei, en die nog een maximale N-opname nodig hebben tot aan de oogst hebben een risico op een hoog nitraatresidu. Bovendien laten deze gewassen bij het moment van oogsten ook snel afbreekbare oogstresten achter die het nitraatgehalte in de bodem weer kunnen doen stijgen (BDB & U.Gent, 2006). Daarentegen vertonen de teelt van gewassen zoals bvb. erwten, wortelen, en ui een lager risico op een hoog nitraatresidu.

////////////////////////////////////
 //

Klimaatverandering en de bijgevolg minder voorspelbare productie kunnen dus ook in de groentesector voor aanzienlijke bijkomende nutriëntenverliezen leiden. Om hieraan tegemoet te komen moet volop ingezet worden op bemesten volgens de behoeften van de plant. Er is dus een verhoging van de N-efficiëntie nodig. Dit kan gezien worden als:

1. Fractionering van N-bemesting

Fractionering van de bemesting is geschikt voor volgende groenteteelten: prei, bloemkool, witte kool, rode kool, savooikool, bleekselder, groene selder, knolselder, courgette, wortelen, broccoli, ajuin, schorseneren en aardbei. Andere teelten lenen zich hier niet toe doordat extra bemesting teveel schade zou toebrengen (vb. bladgewassen), doordat sommige teelten een korte groeiduur hebben (vb. spinazie) of doordat een teelt laag stikstofbehoefstig is. Dit bijbemesten wordt in de praktijk reeds veel toegepast en bewijst zijn nut. Zo werd voor de verleende bijbemestingsadviezen door de Bodemkundige Dienst van België in 2013 een bemesting van 0 kg N/ha voorgesteld voor 30% van de bloemkooladviezen en 43% van de prei-adviezen (Coopman et al., 2014). Indien al deze stikstof in één beurt tijdens de basisbemesting toegediend zou geweest zijn, dan zou er een overmaat aan N toegevoegd geweest zijn aan de bodem. Er moet verder over gewaakt worden dat over de jaren heen procentueel aan het merendeel van de stalen nog steeds een bijbemesting gegeven moet worden en dat dit advies niet nul of negatief is. Anders zou de basisbemesting verlaagd moeten worden. Belangrijk is dat men deze trend over meerdere jaren opvolgt aangezien door slechte weersomstandigheden het wel kan voorkomen dat gewassen de eerste basisbemesting niet volledig opnemen waardoor het bijbemestingsadvies nul is. Men moet er bovendien mee rekening houden dat zelfs met een voldoende basisbemesting er onvoldoende stikstof beschikbaar kan zijn voor de plant in het geval van droogte, en dat gewassen dus in de eerste plaats water nodig hebben. Verder moet men ook rekening houden met de praktische kant van zaken en dat een deel van de bemesting met organische bemesting plaatsvindt, dewelke afhankelijk van de toe te dienen hoeveelheden soms beter in één werkgang gespreid kan worden.

2. Doordachte teeltrotaties: zie vanggewassen en teeltrotaties (zie 5.3)

3. Beheer van oogstresten. Vooral koolgewassen laten grote hoeveelheden oogstresten achter op het perceel. Deze kunnen na de oogst mineraliseren met hoge N-vrijzetting tot gevolg dat door NO_3^- -uitloging verloren kan gaan.

4. Aandachtspunten bij het bepalen van de bijbemesting in groenten

Uit onderzoek op een dataset van N-bemestingsproeven bij groenten (zware en lichte alternatieve sla, spinazie, prei, wortelen, bloemkool en spruiten) met verschillende bewortelingsdieptes en N-opnamepatronen (D'Haene et al., 2019) blijkt dat:

- Een meting van de stikstofhoeveelheid in de bodem van cruciaal belang is wanneer een advies verleend wordt bij een basisbemesting of bijbemesting. De groeiweek van het gewas waarin deze bodemstaalname plaatsvindt is een belangrijk element. Afhankelijk van de plantdatum en het gewas bestaan er optimale periodes voor het nemen van de bodemstalen op basis van het groeipatroon van het gewas en de technische haalbaarheid (Figuur 9, Cooman et al., 2014). Ook de staalnamediepte wijzigt gedurende het groeiseizoen omdat tijdens de gewasgroei de diepte waarop men de bodemvoorraad moet beschouwen wijzigt. Zo zal bijvoorbeeld voor bloemkool gedurende de eerste drie weken na planten de



N-voorraad in de 0-30 cm laag van belang zijn, en vanaf de vierde week is er een streefwaarde voor de 0-60 cm laag (Figuur 10, Coopman et al., 2014).

- Voor het verlenen van een correct advies er een betrouwbare inschatting gemaakt moet worden van de stikstof die vrijkomt bij mineralisatie. De mineralisatiesnelheid wordt ook beïnvloed door de klimaatopwarming (zie 5.2.3.3).
- De stikstofbestedingsadviezen gebaseerd moeten zijn op de noodzakelijke stikstofhoeveelheid van het totale gewas bij 95% van de vermarktbaar opbrengst. Voor de opgevolgde groenten (uitgezonderd bloemkool) gaf de studie aan dat de gemiddelde berekende stikstofbestedingsdosis noodzakelijk om 95% van de maximale vermarktbaar opbrengst en economische opbrengst te halen lager lag dan de wettelijke maximale stikstofbestedingnormen. Dit impliceert dat deze normen voor sommige groententeelten (bvb. alternatieve sla en prei) verlaagd kunnen worden zonder risico op daling van de vermarktbaar opbrengst of productkwaliteit (D’Haene et al., 2018a).
- Een lage stikstofstartbesteding en staalname tijdens de teelt belangrijk is om te bepalen of een bijbesteding aangewezen is en om het risico op een hoog nitraatstikstofresidu bij de oogst en hoge nitraatuitloging te vermijden.
- Adviezen afhankelijk zijn van het aantal teelten per seizoen en de hoeveelste teelt het per seizoen is. Bij een tweede teelt zijn er al hogere residu’s aanwezig. Bij latere teelten komt er -vooral de eerste weken- veel N uit de oogstresten van de voorgaande teelt ter beschikking.

Teelt	plant	oogst	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	W29	W30	W31	W32	W33				
Prei	mrt - half apr	jun - juli																																					
Prei	half apr - half juli	aug - feb																																					
prei	half juli - half aug	maart - apr																																					
Bloemkool	mrt - half apr	mei - juni																																					
Bloemkool	half apr - juli	jun - nov																																					
Witte kool	apr - mei	juli - sept																																					
Witte kool	mei - juni	okt - nov																																					
Rode kool	mei - juni	okt - nov																																					
savoikool	apr - mei	juli - okt																																					
savoikool	mei - juni	okt - dec																																					
Bleekselder	half juni - half juli	okt - nov																																					

Figuur 9 Overzicht van de mogelijke periode van staalname voor bijbesteding per teelt en per teeltperiode (week na planten) (Coopman et al., 2014).



Bloemkool									
Plant/zaai: half apr - juli; Oogst: jun-nov; Vermarktbaar productie (T/ha): 35; Totale productie (T/ha): 80									
Weken na plant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N-opname teelt	1	4	8	20	42	64	57	32	12
cumulatieve N-opname	1	5	12	33	75	139	196	228	240
Voorraad latente N	120	120	120	120	120	80	80	80	80
Bewortelingsdiepte	30	30	30	30	30	30	60	60	60
streefwaarde N-voorraad (0-30)	219	218	214						
streefwaarde N-voorraad (0-60)				308	287	245	181	124	92

Figuur 10 Vlaamse KNS-tabel voor bloemkool waarbij verondersteld wordt dat er geen groeistand is. afhankelijk van het groeistadium moet de N-voorraad op verschillende diepten beschouwd worden (Coopman et al., 2014).

Maharjan et al. (2016) gebruikte het SWAT model om het effect van aangepast management (fractionering, vanggewassen) op N verliezen in te schatten. Dit op een terrein in Zuid-Korea (bergachtig gebied). Hieruit volgde dat de totale stikstofverliezen daalden tussen 8 en 13% bij het gebruik van de fractionering bij de teelt van kolen, aardappelen en radijs. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door een daling in oppervlakte run-off en reductie in horizontale flow volgens de helling. Voor sojaboon was een kleine stijging van 1% in nitraatverliezen waar te nemen.

5.1.3.4 Suikerbiet

Suikerbieten hebben weinig bijbemesting nodig. Hun diepe wortelstelsel zorgt ervoor dat op het einde van de teelt ook stikstof uit de diepere lagen (60-90 cm en dieper) benut kan worden. Er moet vermeden worden dat er in de late zomer en najaar (afrijpingsfase) nog veel minerale N in de bodem zit of vrijkomt. Suikerbieten zullen deze stikstof dan nog opnemen en hierdoor bladhergroei gaan vertonen en dit ten koste van het suikergehalte in de wortel. Ook het alpha-amino-N-gehalte in de wortel neemt dan toe, waardoor de winbaarheid daalt. Een goede N-bemesting (volgens advies) in het voorjaar is dus noodzakelijk, maar een te hoge N-beschikbaarheid in de late zomer en in het najaar is nadelig voor het suikergehalte en de winbaarheid.

Het Koninklijk Belgisch Instituut tot Verbetering van de Biet pleit enkel voor een gefractioneerde Ntoediening bij zeer doorlaatbare zand of zandleemgronden omdat de invloed van de neerslag daar het grootste is. Hierbij wordt twee derde van de dosis gegeven bij of voor de zaai en één derde van de dosis wanneer de biet minimaal bladstadium 2 en maximaal bladstadium 6 bereikt heeft. Bij bemestingsdossissen hoger dan 160 kg N/ha beveelt het Het Koninklijk Belgisch Instituut tot Verbetering van de Biet voor alle bodemtypen een splitsing van de bemesting aan in de tijd. Hierbij wordt aangeraden een dosis van 140 kg N/ha toe te dienen vóór de zaai en de rest vóór het 2-4-bladstadium van de biet. Alle stikstoftoedieningen na het 6-bladstadium worden afgeraden (Legrand & Vanstallen).

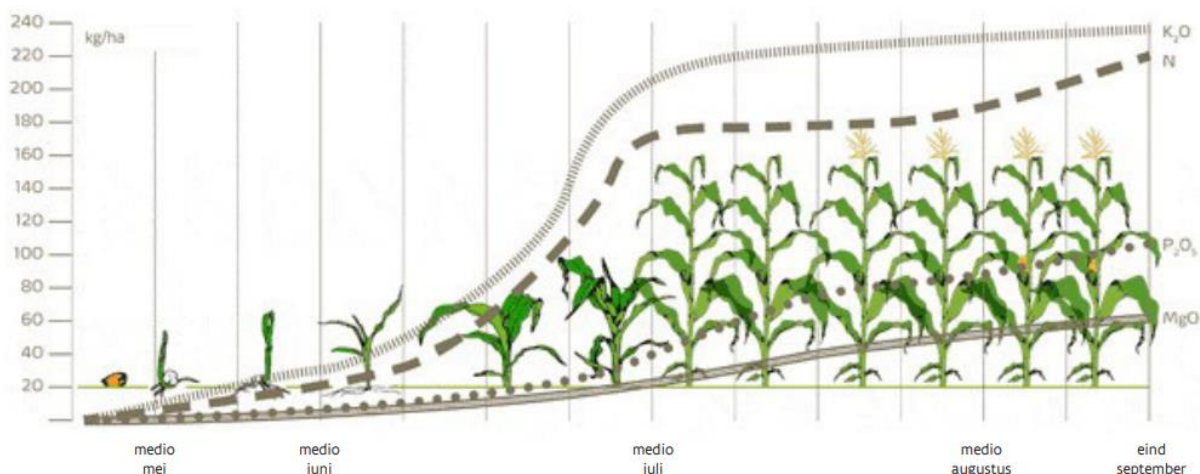
De adviesverlening van de BDB volgens het N-indexstelsel raad aan om hoge N-dosissen (> 160 kg/ha) te verdelen in twee giften, waarbij de tweede bemesting gegeven wordt in het 4-6 bladstadium. Dit om enerzijds een vertraagde opkomst door zoutschade te vermijden enerzijds, en anderzijds om te vermijden dat bij een heel



natte periode tussen de zaai en de start van de N-opname een deel van de N zou uitzakken naar diepere bodemlagen. Deze N wordt dan wel opgenomen later in het seizoen (augustus), maar dit is nadelig voor de extraheerbaarheid van de suikers. Voor lagere dosissen wordt er geen bijbemesting geadviseerd. Sommige landbouwers die organische mest uitrijden voor de zaai (basisbemesting) waarvan de samenstelling niet gekend is nemen zelf het initiatief om een N-index als bijbemestingstaal te nemen op basis van dewelke dan een bijbemesting toegediend wordt in het 4-6 bladstadium (Ver Elst et al., 1999). De organische mest dient dan als basisbemesting en wordt op basis van het bijbemestingsstaal aangevuld met de nodige kunstmest.

5.1.3.5 Maïs

In tegenstelling tot sommige andere teelten zet maïs een overmaat aan stikstof niet om in bijkomende drogestofproductie en laat het de stikstof ongebruikt achter in de bodem (Ver Elst, 2010), m.a.w. maïs doet niet aan luxeconsumptie. Tijdens de initiële groei van maïs wordt weinig stikstof opgenomen. Het gros van de N-opname vindt plaats in juni-juli om vervolgens stil te vallen (Figuur 11). De stikstof die nog over is of die nog vrijkomt door mineralisatie vanaf augustus zal achterblijven in de bodem. Het tijdstip van een dierlijke bemesting en het gebruikte mesttype is hier dus cruciaal. Bemesting met vloeibare dierlijke mest moet gebeuren kort voor het zaaien om nutriëntenverlies te voorkomen en er mogen best geen te hoge hoeveelheden stalmest gebruikt worden aangezien stalmest meer stikstof vrijgeeft na 1 augustus dan mengmest (Denys, 2015).



Figuur 11 Nutriëntopname bij maïs gedurende het groeiseizoen (Denys, 2015; dewelke refereert naar <http://www.effizientduengen.de>).

Eerdere proeven op maïs tonen wisselende resultaten aan van het effect van fractionering op de N-efficiëntie (zie Luik 2). In Vlaanderen is het grootste deel van de bemesting voor maïs afkomstig uit dierlijke mest en wordt deze gegeven bij de start van de teelt, fractioneren in de tijd wordt momenteel niet toegepast in Vlaanderen bij maïs. In Vlaamse proeven in 2017 en 2018 kon, mede door de extreme, zeer droge, weersomstandigheden, geen positief effect van bijbemesting worden getoond bij maïs (LCV, 2019). Mogelijk speelt ook hier de hogere basisgift een rol. Theoretisch gezien is het mogelijk om naar een lagere basisbemesting te gaan en een tweede gift te geven als bijbemesting, waarbij de totale toegediende hoeveelheid mest gelijk blijft. Hiervoor is wel een aanpassing aan de meststoffenstrooiers nodig. De vraag is echter of dit ingang zal vinden in de praktijk. Bovendien moet hier eerst nog onderzoek naar gevoerd worden en moeten er eenduidige resultaten zijn op



Vlaamse bodem over het nut van het verdelen van de N-bemesting in de tijd bij maïs. Indien bijbemesting toegepast wordt moet er bij breedwerpige bemesting bovendien op gelet worden dat er geen bladverbranding optreedt. Een overzicht van technologieën om te fractioneren bij maïs wordt besproken in Luik 2.

Verder moet er ook aandacht besteed worden bij het zaaien van kuilmaïs na het scheuren van meerjarig grasland waarvan de eerste snede nog geoogst werd. Op het moment wanneer de kuilmaïs N nodig heeft zal er nog niet voldoende N ter beschikking gesteld zijn via mineralisatie, hetgeen beperkend kan zijn voor de groei. Later op het seizoen zal er echter nog veel mineralisatie plaatsvinden die dan onbenut blijft, hetgeen tot hoge nitraatresidu's kan leiden.

Bij het zaaien van kuilmaïs na éénjarig grasland verhoogt het risico op slechtere opkomst van maïs na een snede gras door droogte-effecten bij een veranderend klimaat. In 2020 was het voorjaar eerder droog en deed kuilmaïs ingezaaid na een eerste snede grasland het in het algemeen slechter dan kuilmaïs waar geen grasland aan vooraf ging. Dit doordat de eerste snede gras veel vocht opneemt waardoor de bodem droger is bij het inzaaien van kuilmaïs. Uiteraard zal het sterk afhangen van de weersomstandigheden in het voorjaar of deze situatie zich voordoet. Indien er voldoende regen valt worden er geen problemen verwacht, maar bij droogte in het voorjaar (zoals in 2020) kan dit leiden tot een slechtere gewasontwikkeling. Ook de bodemtextuur en de bodemkwaliteit zullen dit mee bepalen omdat ze een invloed hebben op het waterhoudend vermogen van de bodem.

Het weglaten van de eerste snede gras is op zich geen interessante optie voor de landbouwer, omdat dit een voorwaarde is om aan derogatie te mogen doen, en omdat dit resulteert in minder veevoederproductie. Het kan voor de landbouwers interessanter zijn om de snede tijdig te maaien zodat deze niet teveel vocht opneemt. Men kan ook nagaan welke percelen droogtegevoelig zijn en hinder ondervinden, zodat de gras-maïs teeltcombinatie enkel toegepast wordt op percelen die hiervoor geschikt zijn. Er moet hier wel opgemerkt worden dat uit de gegevens van het derogatiemonitoringsnetwerk van 2016-2019, waar het geheel van landbouwpraktijken geëvalueerd werd (d.i. geen exact vooropgestelde proefvelden), en waar toch ook droogtejaren tussen zaten, blijkt dat maïs geteeld op derogatiepercelen niet resulteerde in een hoger nitraatresidu dan op niet-derogatiepercelen (Odeurs et al., 2020). De nitraatresidu's waren niet significant van elkaar verschillend uitgezonderd voor 2018 waar het nitraatresidu van maïs geteeld op zandbodems groter was voor niet-derogatiepercelen dan voor derogatiepercelen.

5.1.3.6 Grasland

Bemesting op grasland wordt reeds toegediend op verschillende tijdstippen in de tijd voor een betere productie en winst. Er wordt voor grasland dan ook weinig mogelijkheden gezien om nog verder in te zetten op reductie in N-verliezen via bemesting. Maar, andere zaken kunnen wel helpen. Voor graslanden die zowel gemaaid als begraasd worden moet men streven naar een niet te hoge bezetting op het land. Bovendien moet men er ook op letten om dieren tijdig van het land te halen zodat de uitgescheiden N door dieren nog opgenomen kan worden door de najaarssnede van gras. Men kan ook inzetten op het gebruik van grassen die beter tegen droogte kunnen dan Engels raaigras (vb. rietzwenkgras, kropbaar). Dit kan leiden tot minder zomersterfte bij droogte en dus minder mineralisatie op het einde van het seizoen doordat de zode kapot is (veel mineralisatie leidt tot een hoger nitraatresidu op het einde van het seizoen). Men kan ook vlinderbloemigen toevoegen aan graslanden (vb. grasklaver, grasluzerne) waardoor er minder N-bemesting vanuit kunstmest nodig is en er dus



ook minder N₂O en NH₃ emissies zijn. In Tabel 3 wordt een rekenvoorbeeld gegeven waarbij een perceel grasland met rode klaver in totaal 150 kg N/ha minder bemest wordt met kunstmest in vergelijking met puur grasland. In totaal worden hierdoor 6% minder broeikassen uitgestoten (Louis Bolk instituut). Bovendien zullen in droogteperiodes vlinderbloemigen ook actiever groeien dan gras omdat ze dieper wortelen en beter tot aan beschikbaar water bij droogte. Hierdoor is de grasmat beter beschermd tegen langdurige droogte. Tijdens een droogteperiode kunnen vlinderbloemigen ook de N-levering overnemen. Verder kan ook een sensibilisering over het niet strooien in droge omstandigheden helpen om nutriëntenverliezen te vermijden. In deze omstandigheden blijft de korrel bovenop liggen. Bij te weinig vocht of regen trekt deze niet in de grond en wordt de N niet opgenomen door het gewas maar kan het in ammoniakgas omgezet worden en vervluchtigen.

Een andere interessante piste is om de stikstofbemesting in grasland te laten afhangen van het vochthoudend vermogen doorheen het seizoen. Op basis van het monitoren van het vocht en irrigatie kan de N-bemesting bijgestuurd worden. Zo zal een waterzieke bodem een meer geleidelijke toename hebben in bodemtemperatuur in het voorjaar waardoor de gewasgroei vertraagt, anderzijds zullen grassen in deze bodem ook ondiepere wortels hebben waardoor ze gevoeliger zijn aan droogtestress. Simulaties tonen aan dat zo'n bodems een maximale opbrengst hebben die veel lager is dan op goed gedraineerde bodems (Vande Weghe, 2002). Een droge bodem zal tijdens droogteperiodes ook te maken hebben met een aanzienlijke productieremming. Voor droge of waterzieke bodems is het zeker aangeraden om per snede een aangepaste bemesting uit te voeren aangezien ze grotere variaties in productie kunnen hebben in vergelijking met bodems met een normaal vochtgehalte.



Tabel 3 Besparing van energiegebruik en broeikasgassen-emissie voor grasland met rode klaver in vergelijking met puur grasland (gebaseerd op Thomassen et al., 2008; Lüscher et al., 2013; Schils et al., 2005; Bos et al., 2007) (Klaver en Klimaat).

Systeem	Besparing	Energiegebruik	Emissie broeikasgassen
		(GJ/ha)	(ton CO ₂ -eq./ha)
Puur grasland	<i>Referentie</i>	90	22,5
Gras-rode klaver	Kunstmestproductie (150 kg N)[1]	-6,6	-0,65
	Kunstmest-aanwending (150 kg N)	-	-0,73
	Methaan-uitstoot vee	-	waarschijnlijk lager
	N ₂ O-emissie bodem	-	waarschijnlijk lager
	C-opslag bodem	-	mogelijk lagere emissie
	Verandering rantsoen		
Totale besparing		-6,6 (=7%)	-1,38 (=6%)

¹ Ook bij biologische binding van N komt N₂O vrij: zo'n 8g per kg N (Bos et al., 2007). In de berekening van de besparing is deze uitstoot er af getrokken.

5.1.4 Sturing van de bijbemesting

Bijbemesten vereist uiteraard een opvolging van de N-status van de bodem of plant. Verschillende indicatoren kunnen gebruikt worden om te bepalen of bijbemesten noodzakelijk is. Deze kunnen onderverdeeld worden in een bodemgerelateerde sturing of een gewasgerelateerde sturing.

Voorbeelden van bodemgerelateerde sturingen zijn de N-INDEX, het KEMA adviessysteem, de N-balans, de NBS-bodem, het KNS-systeem en Azobil®/Azofert®. Een deel van deze systemen worden meer in detail besproken in Luik 2. Er moet aandacht besteed worden dat bij het gebruik van dierlijke bemesting het van belang is om een eerste bodemstaalname pas te laten plaatsvinden vanaf vier weken na de bemesting om zo een correcte inschatting te kunnen geven van de N-beschikbaarheid vanuit organische mest. Bij staalname is de ammoniakale



stikstof al omgezet naar nitrische stikstof waardoor exact berekend kan worden wat de aanvullende N-gift is. Uiteraard resulteert een betere opvolging via bodemstaalnamen in een betere bijbemesting. Een eerdere studie (BDB & U.Gent, 2006) pleit voor één, maximaal twee staalnamen, om de toepassing praktisch haalbaar te houden. Deze staalnamen moeten bovendien plaatsvinden op de relevantste momenten met betrekking tot adequate stikstofvoorziening. De gewasontwikkeling en N-opnamecurves zijn hierbij van belang en worden bijvoorbeeld opgenomen in het Vlaamse KNS systeem voor groenten (zie 5.1.1.3 en Figuur 6), bij de N-index wordt hier ook rekening mee gehouden.

Gewasgerelateerde sturingssystemen zijn onder andere stikstofreferentievensters die aangelegd worden op een perceel, de periodieke N-analyse van het blad of bladsteeltjes en chlorofylmetingen op basis van transmissie, fluorescentie of absorptie en spectrale metingen (vb. NDVI-index) via near sensing of close sensing en via remote sensing. Al deze systemen worden in detail besproken in Luik 2. Er moet opgemerkt worden dat al deze systemen minder geschikt zijn voor percelen met veel organische bemesting waarvan de N-dosis niet gekend is, zoals meestal in Vlaanderen, aangezien deze technologie geen rekening houdt met de aanvullende N-gift uit de organische mest. Betreffende de spectrale indexen moet bovendien gezegd worden dat deze een goede maat zijn voor de algemene plantstress, maar dat de verschillende oorzaken van plantenstress met elkaar verweven zijn. Zo zal bijvoorbeeld een aardappelplant bij waterstress ook minder N assimileren. Spectrale indexen kunnen de oorzaak van de plantenstress niet duiden, waardoor de techniek best gecombineerd wordt met andere waarnemingen, bijvoorbeeld om droogtestress uit te sluiten (Janssens et al., 2020).

Cruciaal bij het uitbouwen van bijbemesting is dat de adviessystemen hierin volgen. Voor groenten wordt reeds een bijbemestingsadvies verleend op basis van een bodemstaalname (vb. zie Figuur 9). Voor andere teelten daarentegen zijn er meerdere opties, enerzijds wordt al een bijbemestingsadvies verleend bij aanvang van de teelt, tesamen met een basisadvies op basis van een bodemstaalname, bijvoorbeeld bij aardappel met de vermelding deze bijbemesting toe te dienen bij knolaanleg (Figuur 7). Anderzijds is een bijbemesting op basis van een bodemstaalname tijdens de teelt mogelijk. Aangezien het niet mogelijk is om op alle percelen een staal te nemen, zowel praktisch als economisch gezien, is het een optie om per bedrijf beredeneerd stalen nemen. Een aantal percelen per teelt en bedrijf worden bemonsterd voor een advies voor een basisbemesting, andere percelen kunnen dan weer bemonsterd worden voor het tussentijdse bemestingsadvies.

5.1.5 Irrigatie

5.1.5.1 Irrigatie en N-opname

Irrigatie zorgt voor betere groeiomstandigheden waardoor de stikstofbemesting het meest tot zijn recht komt. Meise et al. (2009) ondervond op een veldproef met aardappelen dat de stikstofgebruiksefficiëntie en opname-efficiëntie hoger is bij behandelingen met voldoende water in limiterende N-omstandigheden in vergelijking met condities waarbij er onvoldoende water is. Echter, omgekeerd deed stikstofbemesting (bij een stijging van 100 kg N/ha naar 160 kg N/ha) op een proefveld in Egypte ook de watergebruiksefficiëntie stijgen in condities van waterstress door de productie van maïs te doen stijgen (Eissa & Roshdy, 2019).

Irrigatie kan dus een positief effect hebben op het nitraatresidu. Bemestings- en irrigatieproeven in België op drie verschillende gewassen (tuinbonen, wortel en bonen) toonden aan dat in het algemeen de nitraatresidu's

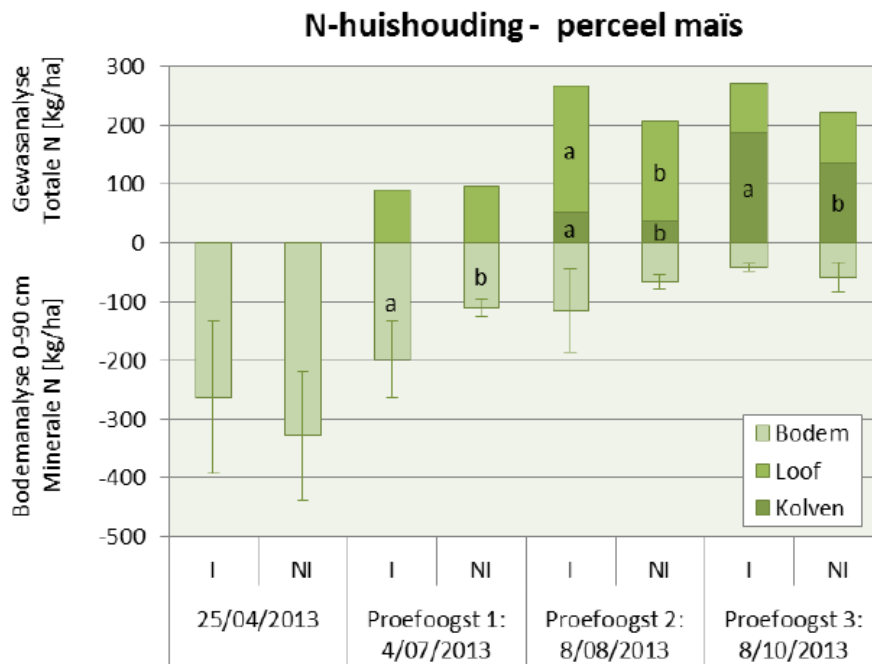
////////////////////////////////////
 //

lager waren na de oogst op de geïrrigeerde percelen dan op de niet-geïrrigeerde percelen (Fonder et al., 2010). Dit effect werd toegeschreven aan een betere oplosbaarheid van stikstof waardoor er een betere absorptie door de plant was. Irrigatie zorgt dat mineralisatie optimaal kan verlopen, waardoor er meer stikstof beschikbaar is in de bodem. Dat irrigatie zorgt voor minder waterstress, een verbeterende gewasgroei, en een betere N-opname en dat dit leidt tot minder residuele N in de bodem werd ook gesimuleerd door Ahuja et al. (2014).

Aardappelproeven uit begin jaren 90 in Vlaanderen tonen aan dat ook bij geïrrigeerde omstandigheden de optimale bemesting ligt op het bemestingsadvies. Een meerbemesting van 40% gaf in deze proeven geen meerwaarde in productie. De hogere knolproducties onder irrigatie gingen echter niet samen met hogere stikstofopname door het gewas. De N-concentratie in de knol, gemeten met de Kjeldahl-techniek, onder geïrrigeerde omstandigheden was lager dan bij niet-irrigatie. Ook de N-concentratie in het loof lag bij nietirrigatie op dezelfde hoeveelheid of net iets hoger dan bij de irrigatie. Echter omdat de totale knolopbrengst hoger was onder irrigatie, was de totale N-opname per hectare dit ook. De lagere N-concentratie in de knol van de geïrrigeerde aardappel werd ruimschoots gecompenseerd door een hogere knolopbrengst onder irrigatie. De totale N-export, uitgedrukt in kg N/ha, was duidelijk hoger onder irrigatie (Bries et al., 1995).

Bij het vergelijken van een geïrrigeerde en niet-geïrrigeerde behandeling bij maïs in 2013 werd een hogere totale N-export waargenomen bij de geïrrigeerde behandeling (Figuur 12, Tits et al., 2018). Dit was voornamelijk te wijten aan een grotere biomassa-productie, het verschil in N-gehalte van het gewas tussen beide behandelingen was beperkt. In Figuur 12 wordt ook het minerale N-gehalte van de bodem weergegeven; deze is bij de eerste proefoogst hoger voor de geïrrigeerde behandeling, hetgeen vermoedelijk veroorzaakt werd door een hogere mineralisatie (1,65% C op het beregende gedeelte) door de vochtigere condities en door een betere vochtretentie. Het verschil in minerale N-gehalte in de bodem tussen beide behandelingen was reeds kleiner bij de tweede proefoogst, hetgeen conform een hogere N-export is door het geïrrigeerde gewas op dat moment. De trend zet zich bovendien voort bij de finale proefoogst, waarbij het residuele N-gehalte in de bodem zelfs lager is bij de beregende behandeling. In deze studie van Tits et al. (2015) werd eenzelfde trend gevonden bij het onderzoeken van het al dan niet irrigeren van aardappel in 2013. Irrigeren had in deze proeven dus geen negatieve impact op de residuele N in de bodem. In 2014 werden gelijkaardige proeven aangelegd maar was er een gelijkwaardige of zelfs hoger gewasopbrengst en stikstofexport bij de niet-geïrrigeerde behandeling in vergelijking met de geïrrigeerde behandeling wegens een zeer natte zomer (slechts korte stressperioden op het einde van juni en september).





Figuur 12 N-gehalte in de bodem in het gewas voor de bergende (I) en niet-bergende (NI- behandeling op het perceel met maïs. De letters a en b duiden op een significant verschil ($p < 0,05$) tussen de behandelingen (Tits et al., 2015)

Recente resultaten van aardappelproefvelden in de Kempen in het kader van het POTENTIAL project in 2017, 2018 en 2019 ondersteunen dat aardappelplanten bij waterstress per hectare minder N opnemen (Janssens et al., 2020), en dat een optimale N-opname gepaard gaat met optimale watervoorziening. Overberekening zorgt echter ook voor een verhoogd risico op uitspoeling, zeker bij aanvang van het seizoen wanneer het wortelstelsel niet ontwikkeld is (Bries et al., 1995). Daarom is het ook belangrijk om op het juiste tijdstip te beregenen.

Bovenstaande studies tonen dus aan dat een voldoende vochtvoorziening noodzakelijk is voor een goede N-opname. Bij irrigatie komt stikstofbemesting het meest tot zijn recht omdat gewassen betere groeiomstandigheden ervaren. Meerdere proeven toonden aan dat de minerale N in de bodem bij eenzelfde N-bemesting lager is op het einde van een teelt op een geïrrigeerde bodem in vergelijking met een niet geïrrigeerde bodem. Het belang van irrigatie kan bij een veranderend klimaat dus toenemen, maar de irrigatie van gewassen brengt ook een kost met zich mee. Gewassen worden voornamelijk geïrrigeerd indien dit economisch rendabel is zoals bijvoorbeeld bij vollegrondsgroenten/ Deze groenten hebben een hoge bemestingsdosis nodig en hebben slechts een kleine worteldiepte waardoor het risico op N-uitspoeling vergroot. Verwacht wordt dat door toenemende droogte het areaal teelten onder irrigatie zal stijgen bij toenemende droogte. Het is echter op regionaal niveau niet mogelijk om alle percelen te irrigeren, maar lokaal waar er water beschikbaar is zijn er hier wel mogelijkheden toe (zie ook Luik 3 – Innovaties – PrecisieLandbouw).



5.1.5.2 'Méthode Bilan' in Frankrijk

Irrigieren kan op meerdere manieren een invloed hebben op de benodigde N-hoeveelheid in de bodem. Zo kan bijvoorbeeld irrigatie in droge perioden zorgen voor extra mineralisatie en is er meer kans op een optimale gewasproductie, en bijgevolg een optimale N-opname, bij irrigatie. In Frankrijk wordt het al dan niet irrigeren mee opgenomen in het bepalen van de dosis stikstof die aangebracht kan worden ter bemesting van percelen (Comifer, 2013). Het bemestingsadvies wordt daar opgesteld op basis van de "méthode bilan", dit is een balansmethode die als basis heeft dat het verschil in de hoeveelheid bodem minerale stikstof aan het begin en het einde van het opstellen van de balans, gelijk is aan een de som van verschillende input en outputfactoren (Comifer, 2013; Figuur 13). Hierbij kunnen Ri (minerale stikstof in de bodem bij het opmaken van de balans) en Pi (stikstof opgenomen door het gewas bij het opstellen van de balans) jaarlijks opgemeten worden voor bepaalde culturen in bepaalde condities. De andere termen worden geschat op basis van tabellen, dynamische modellen of telramen, die opgesteld zijn op basis van veld of laboresultaten en indien mogelijk gevalideerd op regionale schaal. De minerale stikstof in de bodem bij het einde van de balans wordt gemodelleerd op basis van het gewas, het bodemtype en de worteldiepte. De N-dosis die toegevoegd kan worden op basis van kunstmest wordt in deze vergelijking weergegeven door de factor (X). Het al dan niet irrigeren van het gewas wordt mee opgenomen in de volgende termen in de balans: stikstof aangeleverd door het irrigatiewater, de maximale opbrengst (deze varieert voor al dan niet geïrrigeerde percelen) en bijgevolg de N-opname door het gewas, en in de factoren waar het bodemvochtgehalte van belang is (vb. irrigatie leidt tot een hoger bodemvochtgehalte en dus tot een hogere mineralisatie).



[1] : $R_f - R_i = [Mh + Fs + Fns + Mhp + Mr + MrCi + Mpro1 + Mpro2 + A + Nirr + X + Xpro] - [Pf - Pi + Ix + Gs + Gx + L]$	
Avec :	
États initial et final	
Rf	Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
Ri	Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
Entrée d'azote dans le système sol-plante	
Mh	Minéralisation nette de l'humus du sol*
Fs	Fixation symbiotique d'azote atmosphérique par la culture
Fns	Fixation non symbiotique d'azote atmosphérique
Mhp	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
Mr	Minéralisation nette de résidus de récolte
MrCi	Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
Mpro1	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°1 apporté avant l'ouverture du bilan
Mpro2	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°2 apporté après l'ouverture du bilan
A	Apports atmosphériques (apports météoriques = dépôts secs ou humides)
Nirr	Azote apporté par l'eau d'irrigation
X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse
Xpro	Azote de la fraction minérale d'un PRO apporté après la date d'ouverture du bilan
Sorties d'azote du système sol-plante	
Pf	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
Pi	Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
Ix	Organisation par voie microbienne aux dépens de l'azote minéral apporté sous forme d'engrais de synthèse ou de fraction minérale du PRO
Gs	Pertes du sol par voie gazeuse (dénitrification pour l'essentiel)
Gx	Pertes par voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) aux dépens de l'engrais minéral (X) et de la fraction minérale du PRO apporté après l'ouverture du bilan (Xpro)
L	Pertes par lixiviation du nitrate pendant l'ouverture du bilan

Figuur 13 In en outputfactoren die mee de N-balans bepalen zoals gehanteerd in de 'Méthode Bilan' in Frankrijk

5.1.6 Uitrijregeling

Tijdens de paneldiscussies met de experts (zie Luik 1: Workshop) werd aangehaald om vooral in te zetten op een betere sensibilisering in de context van het uitrijden van mest, aangezien de wetgeving complexer maken contraproductief kan werken op dit vlak. Deze bepaling werd dan ook niet mee opgenomen voor een uitgebreide literatuurstudie. Enkele problemen/ideeën worden hier kort toch even aangehaald aangezien door klimaatverandering erg droge of erg natte omstandigheden frequenter zullen voorkomen, hetgeen de momenten waarop mest uitgereden kan inperken.

1. Het vroeger stoppen van de uitrijregeling (of het later starten ervan in het voorjaar) kan het verlies van nutriënten verminderen (of de N-efficiëntie van de toegediende N verhogen) bij zeer specifieke weersomstandigheden (droogte of natte).
2. Drijfmest wordt in grasland verdeeld over de verschillende snedes. Verschillende graslanden laten een bemesting van de eerste snede met drijfmest niet toe omwille van draagkracht. Hierdoor verschuift ook een deel van de drijfmest naar de zomer toe. Het probleem stelt zich dat onder 'normale'



zomeromstandigheden de drijfmest gewenst is voor de grasgroei, maar niet wanneer er droogte in de zomer voorkomt. Op dat moment is het noch vanuit landbouwkundig, noch vanuit milieukundig standpunt gewenst om te bemesten. Bij kunstmest kan men de bemesting achterwege laten en deze opslaan of niet aankopen. Drijfmest daarentegen wordt vaak toch nog uitgereden om de mestopslag te ledigen. Anders neemt de capaciteit af naar het volgende jaar toe of kan het bedrijf een teveel aan mest hebben in het volgende jaar, indien het areaal maar net voldoende is voor mestafzet. Het is belangrijk om hier te kijken naar andere mogelijkheden zoals mestverwerking of het verhogen van de capaciteit van de opslag van dierlijke mest, en er moet ingezet worden op sensibilisering en motivering van landbouwers. Het blijft een belangrijk aspect om te bemesten ten voordele van de teelt, en niet om redenen van opslagtekort. Er moet opgemerkt worden dat indien de graszode niet beschadigd wordt bij droogte, de toegediende N tijdens de zomer wel nog (deels) opgenomen kan worden door het najaarsgras. Een stijging in nitraatresidu is daar niet bij uit te sluiten, hetgeen uiteraard ongewenst is. Er moet bovendien ook rekening mee gehouden worden dat tijdens de droogteperiode er minder N opgenomen wordt door het gewas, waardoor een toediening van mest niet meer algemeen aangeraden is, omdat de N-reserve in de bodem reeds voldoende kan zijn voor de rest van het jaar.

3. Bij het uitrijden van de mest in het voorjaar wordt dit vaak gedaan vanaf dat het toegestaan is. Voor gras kan er de laatste jaren door de hoge temperaturen gerust al half februari bemest worden, maar de draagkracht van de bodem moet dit wel toelaten. Te vroeg en te nat uitrijden zorgt voor bodemproblemen zoals bijvoorbeeld verdichting en insporing die het maaien en harken hinderen. Het gezonde verstand zegt dat er uitgereden moet worden zo kort mogelijk voor de start van de teelt (vb. voor maïs), maar ook dit is niet altijd praktisch realiseerbaar. Ook hier kan de opslagcapaciteit van de mest een beperkende factor zijn voor de landbouwer (zie punt 2). Het blijft een belangrijk aspect om in te zetten op andere mogelijkheden zoals mestverwerking of het verhogen van de capaciteit van de opslag van dierlijke mest, en er moet ingezet worden op sensibilisering en motivering van landbouwers.
4. Men kan kijken naar een systeem van flexibel uitrijden waarbij gewerkt wordt met waarschuwingen die alarmeren voor “er kan droogte zijn” of “er kan een te natte bodem zijn”. Aangezien dit lokaal verschillend kan zijn is het belangrijk om het gezond verstand van de landbouwer hierin te laten primeren en eventueel verder in te zetten op sensibilisering van wanneer wel en niet uit te rijden. Zoals aangegeven in de stuurgroep zal deze flexibiliteit verder in een regelgeving uit te werken een te complex gegeven zijn.

5.1.7 Conclusie

De toenemende klimaatverandering zorgt voor meer variabele weersomstandigheden hetgeen gepaard gaat met minder voorspelbare gewasproductie. Een perceelsspecifieke bemesting volgens de gewasbehoefte kan leiden tot minder residuele N in de bodem na de teelt, en dus een lager risico op nutriëntenverliezen. Echter, als de groeiomstandigheden ongunstig zijn en er geen normale N-opname is door de plant, kan zelfs een optimale bemesting in functie van teelt en perceel leiden tot een hoog nitraatresidu en een verhoogde kans op uitspoeling (zie 5.1.1).

Het toedienen van de totale N- bemesting in verschillende dosissen (bijbemesten) biedt potentieel om beter te bemesten volgens de gewasontwikkeling en rekening te houden met groeiomstandigheden (zie 5.1.3). Het



toedienen van de N-bemesting opgedeeld over verschillende tijdstippen wordt al voor verschillende teelten toegepast in Vlaanderen: granen, groenten, suikerbiet (indien de dosis > 160 kg N/ha) en grassen. Vooral in de aardappelteelt is nog vooruitgang te boeken om via bijbemesten verdere nutriëntenverliezen te vermijden door het grote areaal en omdat bijbemesten nog minder toegepast wordt dan bijvoorbeeld bij groenten. Om de bijbemesting van N zo goed mogelijk op de gewasbehoefte af te stemmen (na een bemesting met dierlijke mest) kan men een staalname doen om het N-gehalte van de bodem te bepalen om te bepalen of bijbemesting noodzakelijk is. Dit kan enigszins van belang zijn omdat de exacte samenstelling van dierlijke mest meestal niet gekend is.

Indicatoren om te bepalen of bijbemest moet worden kunnen gewasgerelateerd (vb.stikstofreferentievenster, bladsteeltjesmethode, ...) of bodemgerelateerd zijn (op basis van een bodemstaalname). Cruciaal bij het uitbouwen van bijbemesting is dat de adviessystemen hierin volgen (zie 5.1.4). Enerzijds kan er al een bijbemestingsadvies verleend worden bij aanvang van de teelt, tesamen met een basisadvies op basis van een bodemstaalname. Anderzijds is een bijbemesting op basis van een bodemstaalname tijdens de teelt mogelijk. Aangezien het niet mogelijk is om op alle percelen een staal te nemen, zowel praktisch als economisch gezien, is het een optie om per bedrijf beredeneerd stalen te nemen, en bij elke periode een aantal percelen te bemonsteren.

Met de toenemende droogte door de klimaatverandering verhoogt het risico op een suboptimale gewasproductie. Irrigatie zorgt voor een betere N-benutting en dus voor minder N-residu en dus minder risico op verliezen (zie 5.1.5). Lokaal kan irrigatie een oplossing bieden voor de droogte, echter, niet alle regio's beschikken over voldoende watervoorraden om dit toe te kunnen passen.



Klimaatrobuustheid van de bepaling in het kader van nutriëntenbeheersing: gevolgen van veranderende weersomstandigheden op de effectiviteit van de bepaling m.b.t. nutriëntenemissies

Niet klimaatrobuust

Enigszins klimaatrobuust

De bemestingsnormen zijn klimaatrobuust (d.i. het zijn normen afgeleid op basis van de N-opname van het gewas en ze ondervinden niet onmiddellijk invloed van het klimaat). Maar aangezien de gewasproductie en bijgevolg N-opname moeilijker in te schatten zal zijn bij een veranderend klimaat, is de invulling ervan via de bemestingspraktijken van belang en kan hier nog vooruitgang geboekt worden (zie 5.1.1).

Klimaatrobuust, maar:

Klimaatrobuust

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het “klimaatrobuuster” maken van de bepaling; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

mogelijkheden met weinig potentieel

- Irrigatie zorgt ervoor dat stikstofbemesting het meest tot zijn recht komt omdat gewassen betere/optimale groeiomstandigheden hebben, en het kan dus resulteren in lagere nitraatresidu's op het einde van het seizoen (zie 5.1.5). De beschikbaarheid van water kan echter een belemmering vormen in het beregenen van percelen. Het wordt hier geplaatst met mogelijkheden tot weinig potentieel, ondanks dat het wel kan leiden tot een optimale groei en dus een optimale N-benutting omdat het regionaal moeilijk realiseerbaar is, maar lokaal kan het wel een oplossing bieden.
- Bij het zaaien van kuilmaïs na éénjarig grasland verhoogt het risico op slechtere opkomst van maïs na een snede gras door droogte-effecten bij een veranderend klimaat. Het kan voor de landbouwers interessant zijn om de snede tijdig te maaien zodat deze niet teveel vocht opneemt en om na te gaan welke percelen droogtegevoelig zijn en hinder ondervinden, zodat de gras-maïs teeltcombinatie enkel toegepast wordt op percelen die hiervoor geschikt zijn.

mogelijkheden met veel potentieel

- Fractionering van de N-bemesting biedt potentieel om beter te bemesten volgens de gewasontwikkeling en rekening houdende met groeiomstandigheden. Fractionering wordt al voor verschillende teelten toegepast in Vlaanderen: granen, groenten, suikerbiet (indien de dosis > 160 kg N/ha) en grassen. Vooral in de aardappelteelt is nog vooruitgang te boeken om via fractionering verdere nutriëntenverliezen te vermijden vanwege hun groot areaal (zie 5.1.3) en het momenteel minder frequent toepassen van bijbemesting in de praktijk bij de aardappelteelt. Adviessystemen kunnen bijbemesting opnemen op verschillende manieren (zie 5.1.4). Enerzijds kan er al een bijbemestingsadvies verleend worden bij aanvang van de teelt, tesamen met een basisadvies op basis van een bodemstaalname, anderzijds is een bijbemesting op basis van een bodemstaalname tijdens de teelt mogelijk. Indicatoren om te bepalen of



bijbemest moet worden kunnen gewasgerelateerd zijn (vb.stikstofreferentievenster, bladsteeltjesmethode,) of bodemgerelateerd zijn (op basis van een bodemstaalname).

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Inschatting van de bijdrage (positief of negatief) van de bepaling tot klimaatmitigatie

veel positief

matig positief

matig negatief

veel negatief

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het verbeteren van de bijdrage tot klimaatmitigatie; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

mogelijkheden met weinig potentieel

mogelijkheden met veel potentieel

- Vlinderbloemigen toevoegen aan graslanden (vb. grasklaver, grasluzerne), hierdoor is er minder N-bemesting vanuit kunstmest nodig waardoor er ook minder N₂O en NH₃ emissies zijn (zie paragraaf 5.1.3.6). Bovendien is de grasmat beter bestand tegen langdurige droogte omdat vlinderbloemigen dieper wortelen dan gras en beter aan beschikbaar water geraken bij droogte.

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven



5.2 Optimalisatie van de opvolging van N-bemestingspraktijken

5.2.1 Inleiding

Oordeelkundig bemesten vereist een goede opvolging van de bemesting. Dit wordt in hoofdzaak gedaan aan de hand van bodemstaalnames van de bouwlaag (textuur, pH, organische stof en nutriënten noodzakelijk voor de basisbemesting) en de bepaling van de minerale N-voorraad (0-30 cm, 30-60 cm, 0-90 cm). Het is algemeen geweten dat bodemstaalnames voor het bepalen van de minerale N-voorraad kort voor zaaien of planten en voor N-bijbemesting gedurende het groeiseizoen, leiden tot een betere opvolging alsook meer gerichte adviezen. Tussen 1/10-15/11 wordt het nitraatresidu van landbouwpercelen bepaald en vergeleken met vastgelegde nitraatresidudrempelwaarde per teelttype, bodemtype en gebiedstype. Het is de bedoeling om landbouwers te begeleiden en aan te sporen meer oog te hebben voor nutriëntenbeheer om zo lagere nitraathoeveelheden op het perceel na te streven, en een lager risico op nitraatuitspoeling te hebben. Dit brengt ons bij de tweede reden van meten, namelijk het inschatten van het milieurisico op nitraatuitspoeling. Het milieurisico is uiteraard niet los te zien van de juistheid (dosis en tijdstip) van de uitgevoerde bemesting en wordt ook beïnvloed door bodemzorg, de inzet van vanggewassen, het beheer van oogstresten, ... Ook op deze zaken kan een landbouwer invloed hebben door uitgevoerde praktijken, maar dit zal weliswaar een invloed op de langere termijn zijn. Het nitraatresidu als begeleidend instrument heeft dus een indirecte invloed op nutriëntenverliezen door landbouwers inzage te geven in het nitraatresidu en hen zo aan te sporen om aan nutriëntenbeheer te doen.

Zoals verder in deze tekst zal blijken kan klimaatverandering via verschillende factoren zorgen voor een variatie op het nitraatresidu. Hierdoor blijft het nitraatresidu nog steeds een goede indicator voor het inschatten van het milieurisico op nitraatuitspoeling en zal een nog gericht bemestingsmanagement nodig zijn om het nitraatresidu laag te houden. Dit wordt hier geanalyseerd en er wordt gekeken naar mogelijke oplossingen.

5.2.1.1 Het nitraatresidu als indicator om de juistheid van bemesting te evalueren

Indien het nitraatresidu slechts op één perceel van het bedrijf bepaald wordt, dan spreekt men van een perceelsevaluatie. Indien dat op meerdere percelen gebeurt van eenzelfde bedrijf, dan spreekt men over een bedrijfsevaluatie. De resultaten van beide evaluaties worden getoetst aan twee drempelwaarden (Tabel 4). Bij een overschrijding van de eerste drempelwaarde bij een perceelsevaluatie van een perceel gelegen in gebiedstype 1, 2 en 3 of indien de evaluatie uitgevoerd werd met als doel een vrijstelling van gebiedsgerichte maatregelen, dan moet het daaropvolgende jaar een bedrijfsevaluatie uitgevoerd worden. Voor gebiedstype 0 geldt bij een eerste overschrijding van de eerste drempelwaarde waarbij de tweede drempelwaarde niet overschreden wordt dat het daaropvolgende jaar een nieuwe perceelsevaluatie uitgevoerd moet worden. Bij herhaling en bij overschrijding van de tweede drempelwaarde moet het daaropvolgende jaar een bedrijfsevaluatie uitgevoerd worden. Een bedrijfsevaluatie kan ervoor zorgen dat factoren zoals de groei van een vanggewas of de vrijgave van N uit oogstresten die nog een invloed kunnen hebben op de metingen meer uitgemiddeld worden. Bij een bedrijfsevaluatie worden minimaal drie percelen bemonsterd, waarbij van elk nitraatresidutype (bepaald door combinatie van teelttype en bodemtype uit Tabel 4) minstens één perceel aanwezig is en het totale aantal monsters minimaal gelijk is aan de vierkantswortel van het totale oppervlakte. Hierbij geldt dat een perceel steeds bemonsterd moet worden in zijn geheel en dat per begonnen schijf van twee hectare een nieuw staal genomen moet worden. Het gewogen gemiddelde van het nitraatresidu op het bedrijf, waarbij rekening wordt gehouden met de verdeling van de bedrijfsoppervlakte over de verschillende

////////////////////////////////////
//

nitraatresidutypes, wordt vergeleken met het gewogen gemiddelde van de eerste drempelwaarde en het gewogen gemiddelde van de tweede drempelwaarde. Bij een overschrijding tussen de eerste en tweede drempelwaarde moet het daaropvolgende jaar opnieuw een bedrijfsevaluatie gebeuren en moet er een bemestingsplan en teeltfiches bijgehouden worden. Indien twee jaar na elkaar een overschrijding tussen drempelwaarde 1 en 2 waargenomen wordt, of bij een éénmalige overschrijding boven drempelwaarde 2 dan moet in het daaropvolgende jaar opnieuw een bedrijfsevaluatie uitgevoerd worden, moet er een bemestingsplan en teeltfiches bijgehouden worden, en moet men zich laten begeleiden en is het niet meer mogelijk om derogatie toe te passen. Een bedrijfsevaluatie uitgevoerd in het kader van een vrijstelling, wordt altijd beoordeeld ten opzichte van de strengste drempelwaarden (van gebiedstype 2 en 3).

Tabel 4 Drempelwaarden van het nitraatresidu afhankelijk van teelt, bodemtype en gebiedstype (Fiche Nitraatresidu, Vlaamse Landmaatschappij).

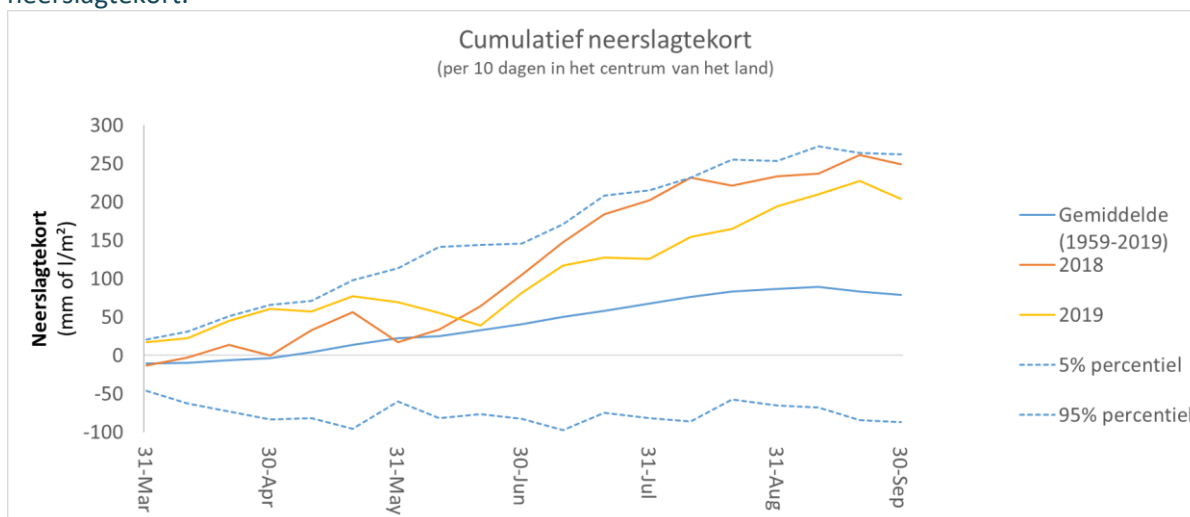
Nitraatresidutype	Teelttype	Bodemtype	Gebiedstype 2/3		Gebiedstype 0/1	
			Drempelwaarde 1	Drempelwaarde 2	Drempelwaarde 1	Drempelwaarde 2
Gras	Gras	Zand of Niet-zand	60	170	80	200
Maïs – Zand	Maïs	Zand	65	130	80	160
Maïs – Niet-zand	Maïs	Niet-zand	75	150	85	170
Granen -Zand	Granen	Zand	65	145	80	180
Granen – Niet-zand	Granen	Niet-zand	75	165	80	180
Aardappelen	Aardappelen	Zand of Niet-zand	85	155	90	165
Specifieke Teelten	Specifieke Teelten	Zand of Niet-zand	85	190	90	200
Bieten – Zand	Bieten	Zand	60	135	80	180
Bieten – Niet-zand	Bieten	Niet-zand	70	155	80	180
Overige teelten – Zand	Overige teelten	Zand	65	135	80	180
Overige teelten – Niet-zand	Overige teelten	Niet-zand	75	155	80	180

Klimaatverandering gaat gepaard met meer onzekere weeromstandigheden, hetgeen gepaard gaat met een hogere onzekerheid op de factoren die het nitraatresidu beïnvloeden (vb. gewasgroei, mineralisatie, stikstofverliezen door uitspoeling, denitrificatie...) (zie 5.2.3). Uit de paneldiscussies met de experts in een eerste fase van deze literatuurstudie kwam de bezorgdheid naar voor dat hierdoor de relatie tussen het gemeten nitraatresidu en de uitgevoerde landbouwpraktijken onder druk komt te staan. Het gebruik van een vaste nitraatresidudrempelwaarde zonder onzekerheidsinterval met een onder- en bovengrens laat weinig ruimte toe naar interpretatie ten gevolge van klimatologische omstandigheden. Dit heeft als gevolg dat in een “slecht” seizoen door bijvoorbeeld veel droogte, de technische haalbaarheid om een nitraatgehalte onder de eerste nitraatresidudrempelwaarde te halen lager kan zijn. Het huidige systeem kan dus beperkend zijn gezien het geen rekening houdt met de weersomstandigheden, hetgeen niet altijd even motiverend werkt voor landbouwers. Ondanks een goede opvolging van de goede praktijken en adviezen door de landbouwer kan er nog steeds een nitraatresidu gemeten worden hoger dan de eerste drempelwaarde, met een verplichting tot een nieuwe perceels- of bedrijfsevaluatie als gevolg. Het huidige systeem biedt wel enige flexibiliteit door het gebruik van twee drempelwaarden waardoor enkel bij het overschrijden van de tweede drempelwaarde een verplichting geldt tot begeleiding en een verbod op het toepassen derogatie. Een controlerend en evaluerend systeem blijft



noodzakelijk om landbouwers te stimuleren om correcte bemestingspraktijken uit te voeren om het milieurisico op nitraatuitspoeling te verminderen. Er moet opgemerkt worden dat niet enkel bemestingspraktijken en nazorg een invloed hebben op het nitraatresidu, maar dat ook teeltkeuze, bodemsoort, organische stofgehalte, ... een invloed hebben op het finale nitraatresidu.

Reeds met het huidige klimaat kunnen weersomstandigheden ertoe leiden dat de relatie tussen het nitraatresidu aan het einde van het teeltseizoen en de uitgevoerde landbouwpraktijken onder druk komt te staan. Dit kan nog sterker tot uiting komen bij klimaatverandering. Dat we bijvoorbeeld de laatste jaren reeds te maken hebben gehad met meer droogtestress wordt weergegeven in Figuur 14. Het landbouwkundig neerslagtekort (neerslagtekort tijdens het groeiseizoen) was significant hoger de afgelopen twee jaren in vergelijking met de afgelopen decennia (Figuur 14, oranje en gele lijn). Dit hoger neerslagtekort leidde tot meer droogtestress bij landbouwgewassen. De blauwe volle lijn in Figuur 14 geeft het gemiddelde neerslagtekort over de periode 1959-2019 weer in functie van de gewasgroeiperiode, naarmate het seizoen vordert stijgt het neerslagtekort.



Figuur 14 Landbouwkundig neerslagtekort in 2018 en 2019 in vergelijking met de referentieperiode van 1959-2019 en het 5^e en 95^e percentiel van deze data (KMI, databank BDB).

5.2.1.2 Het nitraatresidu als indicator om het milieurisico op nitraatuitspoeling in te schatten

De meting van het nitraatresidu wordt ook gebruikt om het milieurisico op N-verliezen gedurende de winter in te schatten. Via procesfactoren worden drempelwaarden afgeleid om de relatie tussen het nitraatresidu en de gemeten nitraatconcentraties in oppervlaktewater of grondwater te beschrijven. Deze procesfactor is een empirische „black box” factor die de processen omvat die plaatsvinden tussen de nitraatconcentratie onderaan de wortelzone (90 cm onder het maaiveld) en de gemeten nitraatconcentraties in oppervlaktewater of grondwater. Het is de verhouding tussen de nitraatconcentratie onderaan de wortelzone en deze in het water. Er wordt dus een link gelegd tussen de uitspoeling uit het bodemprofiel en de waterkwaliteitsmetingen in het oppervlaktewater of het grondwater. De maximale procesfactor werd door Van Overtveld et al. (2011) vastgelegd op 2.1. Recentere studies gebruiken de term attenuatieproces in plaats van procesfactor. Het uiteindelijke doel is het afleiden van maatregelen op perceelsniveau om finaal de grens van 50mg nitraat/l in



oppervlakte- en grondwater, opgelegd in de Europese nitraatrichtlijn (91/676/EEG), niet te overschrijden (Van Overtveld et al., 2011). De procesfactor kan dus gebruikt worden om te bepalen wat de maximale nitraatstikstofresidunormen (kg NO₃-N/ha) moeten zijn om aan deze milieukwaliteitsnormen voor oppervlakte- en grondwater te voldoen. Tabel 5 geeft geïnterpoleerde nitraatresiduwaarden weer zoals bepaald in de studie van Van Overtveld et al. (2011) voor drie klassen van procesfactoren en voor zes gewasgroepen op zand- en niet-zand bodems naar analogie met de N-(eco)²-studie. De eerste drempelwaarde zoals weergegeven in Tabel 4 ligt hoger dan de waarden bepaald door van Overtveld et al. (2011) in Tabel 5.

Tabel 5 Geïnterpoleerde nitraatresidu's voor drie klassen van procesfactoren voor zes gewasgroepen op zand en niet-zandbodems naar analogie met de N-(eco)²-studie (Van Overtveld et al., 2011).

zandbodems	Nitraatresidu kg NO ₃ ⁻ -N/ha voor procesfactoren:			andere texturen	Nitraatresidu kg NO ₃ ⁻ -N/ha voor procesfactoren:		
	1.5	1.9	2.1		1.5	1.9	2.1
maïs	34	44	49	maïs	54	71	79
bieten	29	38	42	bieten	40	53	59
groenten zonder afvoer van oogstresten	30	34	37	groenten zonder afvoer van oogstresten	37	43	46
gras	44	57	63	gras	63	81	90
graan + groenbemester	40	51	57	graan + groenbemester	57	73	81
andere	34	46	51	andere	47	62	69

In wat volgt, wordt de algemene invloed van het klimaat op het nitraatresidu besproken, en wordt er ook dieper ingegaan op de invloed van klimaatverandering op verschillende in- en outputfactoren die mee de finale waarde van het nitraatresidu bepalen op het einde van het seizoen. In een laatste deel worden mogelijke alternatieven om bemestingspraktijken te evalueren en aanvullende variabelen om de relatie tussen het nitraatresidu en de uitgevoerde bemestingspraktijken te verbeteren bij een veranderend klimaat besproken.

5.2.2 Invloed van de temperatuur, neerslag en bodem organische koolstof op het nitraatresidu

Dat de klimatologische parameters temperatuur en neerslag een verband hebben met het gemeten nitraatresidu werd reeds aangetoond via een statistische analyse op basis van beschikbare data van de periode 2011-2016 (Vlaamse Landmaatschappij, 2018). Deze studie onderzocht via een niet-parametrische ANOVA (variantieanalyse) of een predictor voor een laag-residu perceel afwijkt van de gemiddelde waarde van een hoog-residu perceel. Er werd een heel aantal predictoren opgenomen in de studie, in wat volgt worden enkel de klimatologische parameters aangehaald omdat deze relevant zijn in de context van de huidige literatuurstudie.

Voor de analyse werden percelen van een bepaalde hoofdteelt met een nitraatresidu lager dan het 25^e percentiel, berekend op basis van alle percelen van deze hoofdteelt, geclassificeerd als een laag-residu perceel. Op dezelfde manier worden alle percelen met een nitraatresidu hoger dan het 75^e percentiel als een hoog-residu perceel geclassificeerd. De bovengrens van het nitraatresidu waaronder een residu als laag residu geclassificeerd wordt en de ondergrens van het nitraatresidu waarboven een residu als hoog residu gekwalificeerd wordt,



worden per teelt weergegeven in Tabel 6. De grenzen liggen het dichtst bijeen voor spruitkool en zijn het meest verspreid voor groenten groep II.

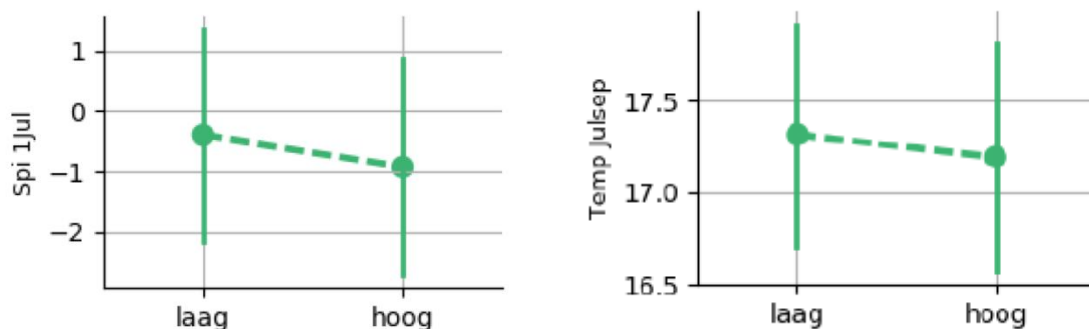
Tabel 6 Grenzen voor de classificatie van de percelen in hoog- en laag-residu percelen.

Hoofddeelt	Bovengrens laag residu [kg NO₃-N/ha]	Ondergrens hoog residu [kg NO₃-N/ha]
Spruitkool	11	31
Voederbieten	16	43
Suikerbieten	18	47
Leguminosen	21	51
Grassen	17	55
Lage stikstofbehoefte	16	69
Andere granen	19	74
Wintertarwe en Triticale	26	83
Andere gewassen	21	83
Mais	38	97
Groenten groep III	35	129
Sierteelt en boomkweek	42	134
Aardappelen	57	137
Groenten groep I	39	143
Aardbeien	45	146
Groenten groep II	50	152

In de studie werd de neerslag in het voorjaar weergegeven als de SPI-3 index met einddatum 1 juli (dit gaat over de periode april tot en met juni) via multivariate regressieanalyse. De Standard Precipitation Index (SPI) is een maat voor de droogte over de voorbije maanden. In dit geval wordt de droogte van de afgelopen 3 maanden (SPI-3) vergeleken met dezelfde periode van het jaar over de 30 voorgaande jaren te Ukkel. De SPI-3 index geeft de droogte op lange termijn (seizoen) weer. De volgende legende kan gebruikt worden om de SPI-index te interpreteren: extreem nat = 2; zeer nat = 1.5; matig nat = 1; normaal = 0; matig droog = -1; zeer droog = -1.5; extreem droog = -2. Het opdelen van percelen in laag nitraatresidu percelen en hoog nitraatresidu percelen illustreert de invloed van de Standardized Precipitation Index tijdens de 3 maanden (april-juni) voorafgaand aan (SPI-3) 1 juli op het nitraatresidu.

De invloed van SPI-3 (einddatum: 1 juli, bronmaanden: april-juni) en temperatuur gedurende de zomermaanden (juli tot september) op het nitraatresidu wordt weergegeven in Figuur 15. Een hogere SPI-index duidt op nattere omstandigheden. De SPI-3 waarde ligt gemiddeld hoger (dit wil zeggen: een vochtiger perceel) bij laag-residu percelen in vergelijking met hoog-residu percelen.





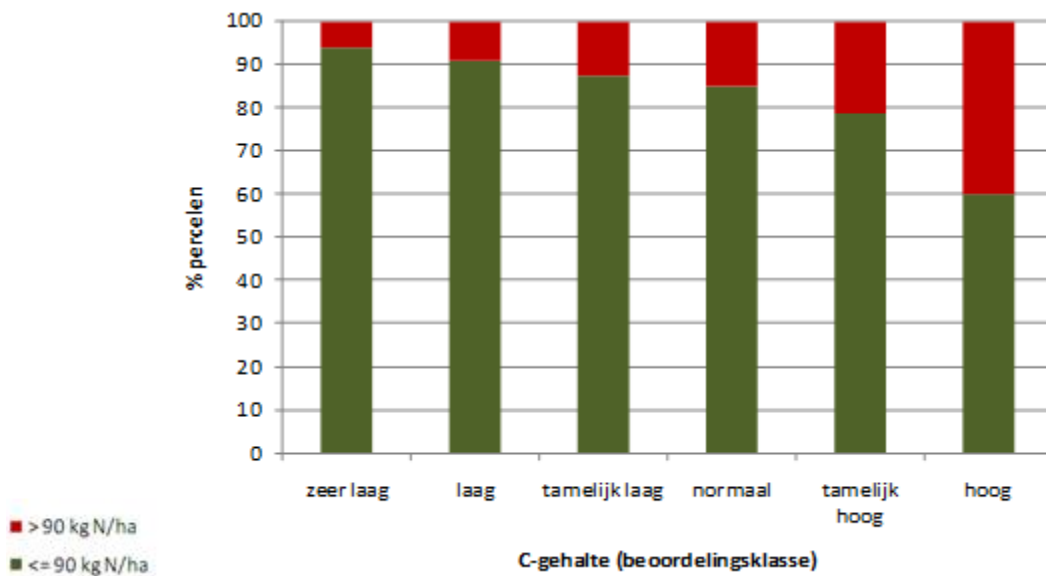
Figuur 15 Vergelijking van gemiddelde en standaarddeviatie voor laag-residu en hoog-residu percelen voor SPI-3 (einddatum: 1 juli, bronmaanden: april-juni) en temperatuur in de zomermaanden (juli-september).

Uit Figuur 15 blijkt ook dat hogere temperaturen in de zomermaanden mogelijks tot een betere gewasproductie en meer N-opname leiden. Het temperatuurverschil tussen laag-nitraatresidu percelen en hoog-nitraatresidu percelen is echter klein. Het effect van de parameters op het gemeten nitraatresidu is hierbij ook afhankelijk van gewas en bodemtextuur aangezien niet alle gewassen even gevoelig zijn voor droogte (Vlaamse landmaatschappij, 2018). Ook de algemene bodemkwaliteit zal een invloed hebben op de gewasgroei en dus op het nitraatresidu.

In Figuur 16 kan men zien dat in 2014 hogere nitraatresiduwaarden waargenomen werden in bodems met een hoger organisch koolstofgehalte. Een statistisch significant positief effect van het organische koolstofgehalte op het nitraatresidu werd ook waargenomen in het derogatiemonitoringsnetwerk van 2016-2019 (Odeurs et al., 2020). Hoe hoger het organische stofgehalte, hoe meer minerale stikstof deze bodem kan vrijzetten (ook in het najaar). Indien deze niet opgenomen wordt door het (vang)gewas, niet uitspoelt, niet denitrificeert of niet geïmmobiliseerd wordt (vb. door organisch materiaal met hoge C/N zoals stro/graanstoppel), dan blijft dit achter in de bodem als nitraatresidu. Bemestingsadviezen houden dan ook rekening met het organische koolstofgehalte van de bodem.

Het organisch koolstofgehalte van de bodem is ook gerelateerd aan de bodemtextuur, en het kan ook een interactie hebben met de pH. Meer informatie over de invloed van bodemkwaliteit op nutriëntenverliezen kan men terugvinden in Luik 3 (zie 17.2).





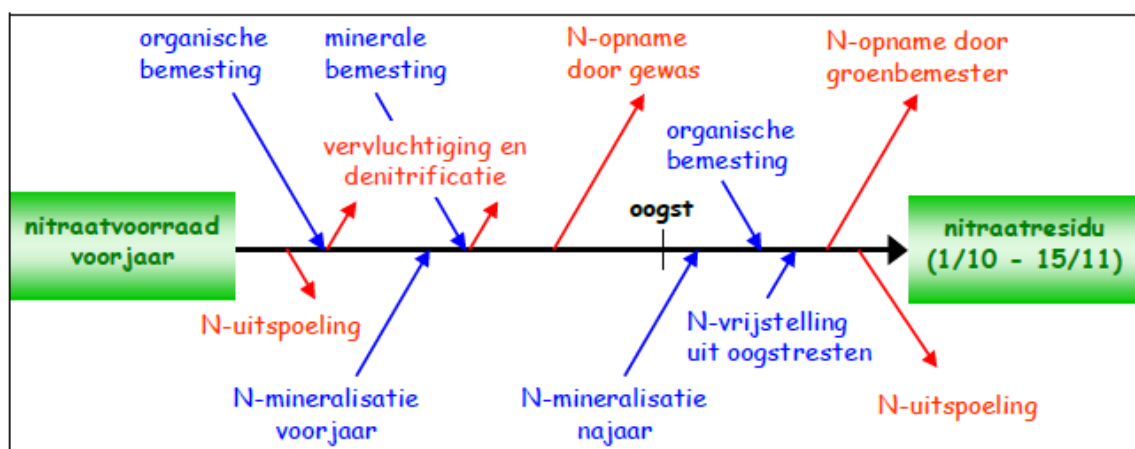
Figuur 16 % percelen met een nitraatresidu onder de 90 kg N/ha (toenmalige norm) in functie van de organische-koolstofklasse voor de gemeten percelen in 2014 (Bron: databank Bodemkundige Dienst van België). De cijfers zijn allesomvattende data van percelen zonder rekening te houden met bemestingspraktijken/beheerspraktijken. Het C-gehalte is ingedeeld volgens de beoordelingsklasse van Bodemkundige Dienst van België.

5.2.3 Invloed van het klimaat op factoren die het nitraatresidu beïnvloeden

Het nitraatresidu opgemeten in de periode van 1/10-15/11 is afhankelijk van het minerale N-gehalte in de bodem in het voorjaar en van verschillende input- en outputfactoren gedurende het teeltseizoen (Figuur 17). Inputfactoren die mee het nitraatresidu bepalen zijn stikstofdepositie, organische bemesting, minerale bemesting, N-mineralisatie in het voorjaar, N-mineralisatie in het najaar en N-vrijstelling uit oogstresten. Ook de bemestingsgeschiedenis is van belang als inputfactor, zeker indien er jarenlang organisch bemest werd. Er is namelijk ook stikstof aanwezig in de moeilijk mineraliseerbare organische fractie waarvan de afbraak pas begint een jaar na aanwenden en die verder gaat gedurende meerdere jaren (Vandelannoote, 2009). Outputfactoren die mee het nitraatresidu bepalen zijn N-uitspoeling gedurende het teeltseizoen, vervluchtiging en denitrificatie, bewortelingsdiepte en N-opname door gewas, en N-opname en bewortelingsdiepte door vanggewassen.

In het huidige klimaat is er reeds variatie op een aantal van deze factoren onafhankelijk van weersomstandigheden. Klimaatverandering, en de grotere onvoorspelbaarheid van het weer kan ertoe leiden dat er meer onzekerheid zal zijn op sommige van deze factoren. Hierdoor verhoogt de kans op een grotere variatie in het nitraatresidu, die dan niet gerelateerd is aan variërende bemestingspraktijken maar aan variërende weersomstandigheden.





Figuur 17 Schematisch overzicht van de factoren die het nitraatresidu beïnvloeden (BDB).

5.2.3.1 Minerale bemesting

De stikstof die toegediend wordt onder vorm van minerale bemesting (kunstmeststof) wordt verondersteld volledig beschikbaar te zijn. De toegediende dosis is correcter vast te stellen door de hoge N-efficiëntie en de lage variatie in nutriëntenconcentratie van de kunstmest (deze ligt wettelijk vast). Er wordt geen invloed van de klimaatverandering verwacht op de toegediende bemesting. Indirect kan er wel een invloed van klimaatverandering zijn op de hoeveelheid stikstof die effectief in de bodem blijft door een verandering in uitspoeling, denitrificatie, ... Er moet opgemerkt worden dat niet enkel de hoeveelheid minerale bemesting (en dierlijke bemesting) een invloed zal hebben op het nitraatresidu maar ook het tijdstip van toedienen, de soort meststof en de manier van aanwenden zullen een invloed hebben op het nitraatresidu. Klimaatverandering (periodes van regen, periodes van droogte, ...) kan afhankelijk van het tijdstip, de soort meststof en het type aanwending een kleiner of groter effect hebben op het residu door een verandering in uitspoeling en denitrificatie. Aan de hand van het bemestingsregister opgenomen in het MAP 6 zal er minder buiten de grenzen van de normen gegaan worden en zal er meer controle zijn op de kunstmest, hetgeen gunstig is om exact te bepalen hoeveel kunstmest er per perceel toegediend werd.

5.2.3.2 Organische bemesting

Bemesten met dierlijke mest volgens forfaitaire normen geeft nog te vaak aanleiding tot het niet juist kunnen inschatten van de aangevoerde nutriënten. Een betere kennis van de mestinhoud draagt bij tot een betere bemesting en dus minder nutriëntenverliezen. Stalen worden dikwijls genomen door de mestproducent, en niet door de mestgebruiker. Voor de gebruiker zou het beter zijn een vrachtstaal te hebben, maar de analyse volgt dan als de mest al uitgevoerd is. Er bestaan systemen om onmiddellijk een analyse bij lossen te hebben, maar dit moet nog verder op punt gesteld worden en is momenteel nog niet in gebruik. Er moet dan uiteraard ook gebruik gemaakt worden van deze gegevens en dan moet er correct uitgereden worden op basis van deze dosissen.

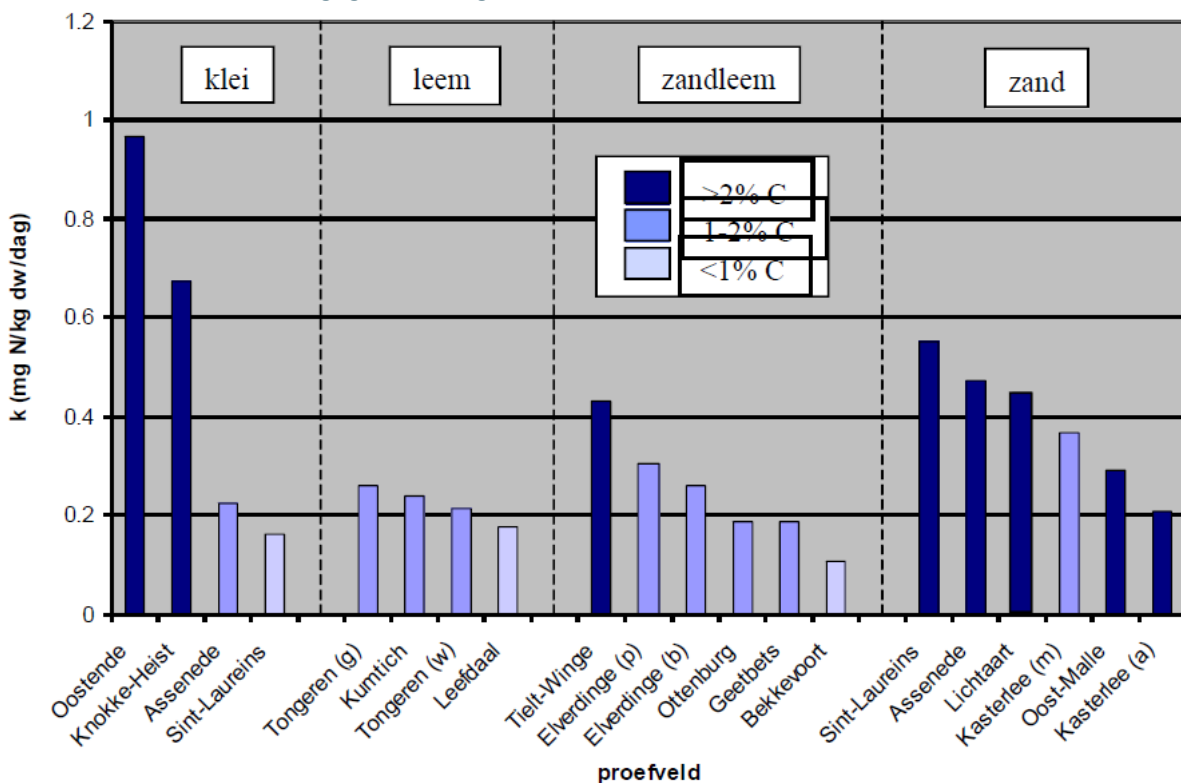
De N-vrijzetting uit dierlijke mest is afhankelijk van een heel aantal factoren dewelke ook beïnvloed kunnen worden door een veranderend klimaat. Hogere temperaturen leiden tot een versnelde N-vrijzetting. Een tussentijdse staalname kan helpen om zicht te krijgen op de N-vrijzetting uit dierlijke mest. Dezelfde opmerking

//////////////////////////////////////
 //

als bij de minerale bemesting geldt hier, nl. de invloed van klimaatverandering op het nitraatresidu varieert afhankelijk van het tijdstip en aanwendingswijze van de dierlijke mest.

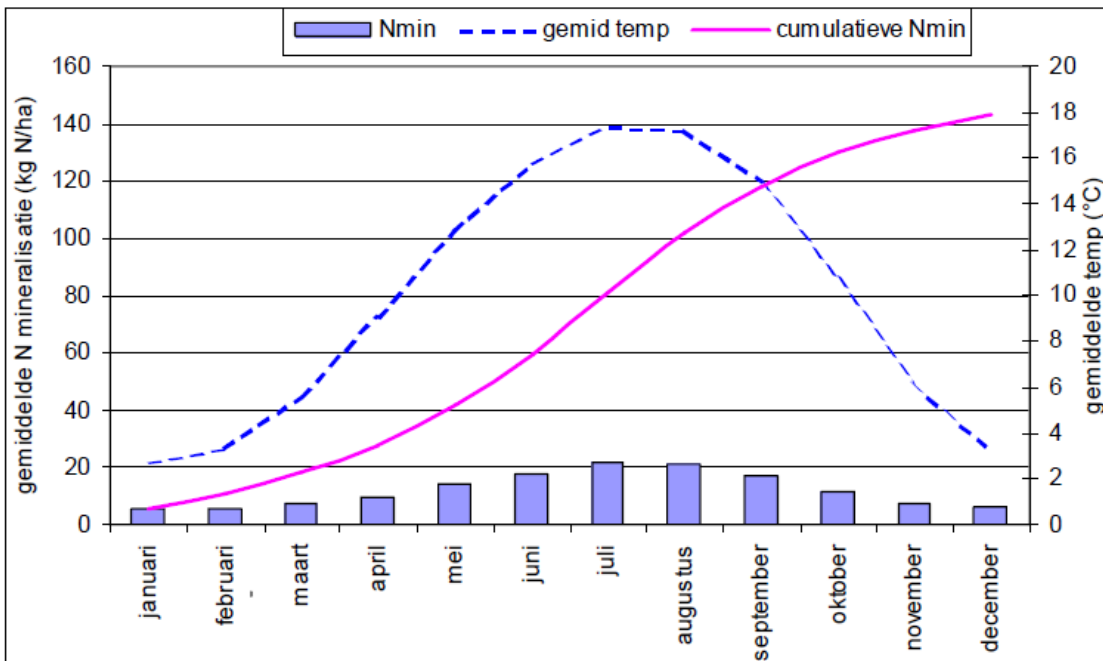
5.2.3.3 N-mineralisatie van bodemorganische stof in het voorjaar en najaar

Mineralisatie van bodemorganische stof zorgt voor N-input en is sterk afhankelijk van vocht en temperatuur. In de N-(eco)²-studie (BDB et al., 2003) werd via incubatieproeven in het labo de maandelijkse mineralisatie uit de bodemorganische stof bepaald op 20 Vlaamse bodems bij 25°C. De mineralisatiesnelheid (k, mg N per kg droge stof per dag) is hierbij afhankelijk van de bodemtextuur en het %C (Figuur 18, Zie ook Luik 3 Innovaties - Bodemkwaliteit). De maandelijkse gemiddelde mineralisatie, de gemiddelde temperatuur en de cumulatieve mineralisatie worden weergegeven in Figuur 19.



Figuur 18 De mineralisatiesnelheid k (mg N kg⁻¹ ds dag⁻¹) voor 20 verschillende bodems waarop een mineralisatieproef werd uitgevoerd gegroepeerd per textuurklasse en %C (BDB et al., 2002).





Figuur 19 Gemiddelde temperatuur te Ukkel en de op basis hiervan geschatte maandelijkse en cumulatieve mineralisatie (N-(eco)² studie; BDB et al., 2003).

Deze cijfers werden bekomen bij optimale vochtwaarden. Verwacht wordt dat deze cijfers zullen wijzigen bij veranderende klimaatomstandigheden doordat:

- Hogere temperaturen leiden tot een snellere mineralisatie van bodemorganische stof. De relatie tussen de mineralisatie van bodemorganische stof en temperatuur verloopt echter niet lineair. De Q10-factor is een maat voor de verandering in reactie bij een temperatuurstijging van 10°C en deze waarde is 4,5 bij 10°C en 2,5 bij 20°C (Kirschbaum, 1995), hetgeen aanduidt dat de mineralisatiesnelheid bij 10°C 4,5 keer hoger is dan bij 0°C en bij 20°C is de mineralisatiesnelheid 2,5 keer hoger dan bij 10°C.
- Droogte kan leiden tot een vertraagde mineralisatie, maar ook bij wateroverlast kan mineralisatie vertraagd worden, hetgeen gereflecteerd wordt door dalende Q10-waarden bij hogere vochtgehalten (Tabel 7, Curtin et al., 2012).



Soil	Moisture content	Q_{10}		D	ΔC mineralized	
		0–85 d	0–14 d	0–85 d	0–85 d	0–14 d
	%				mg kg ⁻¹	
Pasture	16 (–720)†	2.56	2.12	95	790	113
	22 (–220)	2.80	2.39	123	1381	228
	28 (–65)	2.60	2.26	161	1604	241
	34 (–20)	2.20	2.04	213	1113	218
	41 (–5)	1.93	1.99	272	920	211
	LSD 0.05	0.14	0.12	13	154	28
Arable	20 (–1180)	2.22	2.00	71	439	75
	25 (–320)	2.27	1.97	90	579	93
	30 (–90)	2.15	2.04	121	650	135
	35 (–25)	2.26	2.14	152	880	174
	41 (–5)	2.08	2.45	204	885	280
	LSD 0.05	0.17	0.22	11	129	21
Vegetable	10 (–700)	2.35	2.34	44	288	58
	14 (–200)	2.32	2.17	63	407	83
	18 (–60)	2.21	2.22	84	440	100
	22 (–20)	2.09	2.07	112	508	115
	26 (–5)	1.95	2.06	137	492	119
	LSD 0.05	0.27	0.34	18	75	24

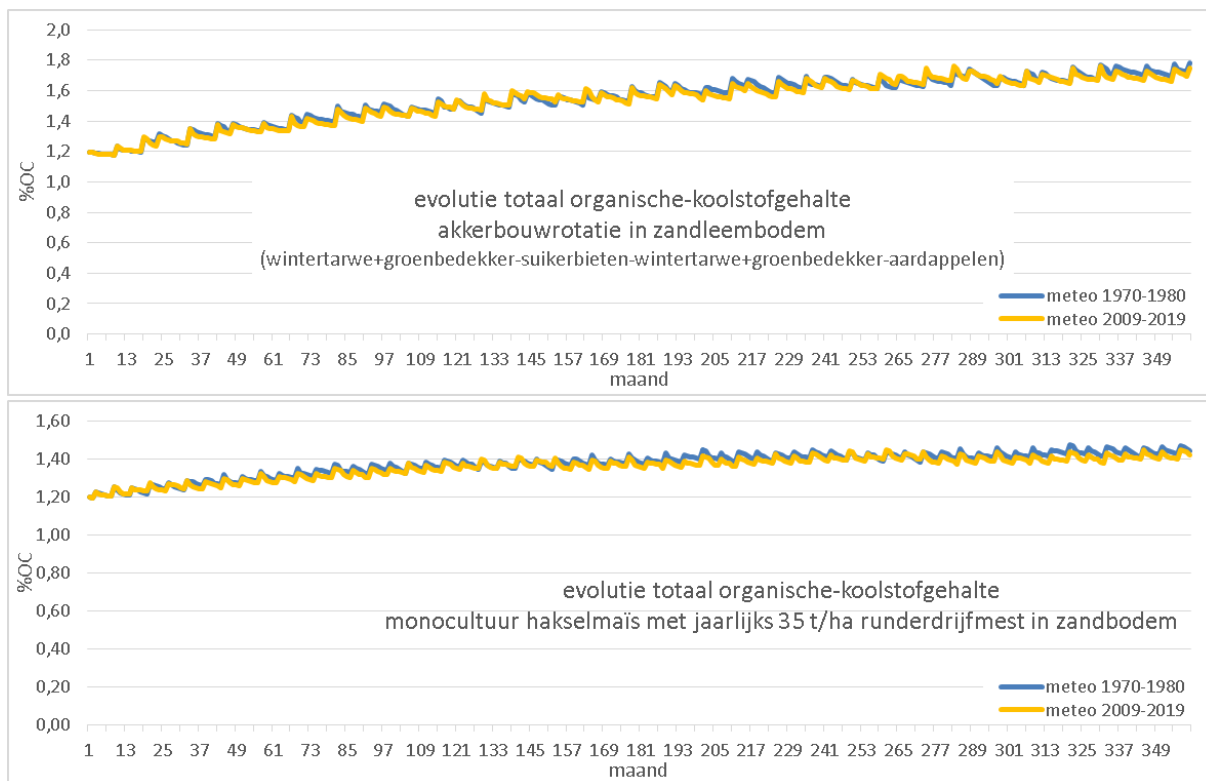
† Values in parentheses indicate matric potential (kPa).

Tabel 7 Effect van vochtgehalte op Q_{10} -waarden voor C gemineraliseerd in 85 dagen en in de eerste 14 dagen van een incubatie. Ook het verschil in gemineraliseerde C tussen 5 en 25°C wordt weergegeven (mg kg⁻³) (Curtin et al., 2012).

Hogere temperaturen en extremere weersomstandigheden zoals droogte en wateroverlast hebben dus een verschillende impact op de mineralisatie. In het Bodemvruchtbaarheidsonderzoek 2016-2019 werd aan de hand van Cslim©-simulaties het effect van het veranderd klimaat, door te simuleren voor de huidige periode (2016-2019) en de periode 1982-1984, op de organische-stofdynamiek in veldsituaties geschat (Tits et al., 2020). De simulaties werden uitgevoerd op twee typische gewasrotaties, nl. een monocultuur maïs met jaarlijkse toediening van 35 ton runderdrijfmest per hectare in zandgrond en een gevarieerde rotatie met wintertarwe (met afvoer van stro), groenbedekker, suikerbieten en aardappelen in zandleemgrond. Dit werd doorgerekend voor twee verschillende tijdsreeksen met verschillende temperaturen en neerslagoverschot (1970-1980 en 2009-2019). Deze laatste periode werd gekenmerkt door hogere temperaturen en meer droogte dan in 1970-1980. De resultaten van deze simulaties worden weergegeven in Figuur 20. Hieruit blijkt dat de evolutie van de organische-koolstofevolutie in de bodem gelijklopend is voor beide tijdsreeksen. Een eventuele toename van de afbraaksnelheid van organische stof door de temperatuurstijging wordt hier dus gecompenseerd door een verminderde afbraak tijdens perioden van droogte en/of wateroverlast. Deze simulatie houdt geen rekening met eventuele hogere (of lagere) gewasproductie en aanvoer van gewasresten omwille van de gewijzigde

////////////////////////////////////
 //

weersomstandigheden. Deze factoren hebben ook een invloed op de hoeveelheid materiaal die gemineraliseerd kan worden en dus ook op de organische koolstofopbouw van de bodem.



Figuur 20: Effect van de klimaatverandering op de lange-termijnevolutie van organische koolstof in de bodem voor een akkerbouwrotatie in een zandleembodem (boven) en een monocultuur hakselmaïs in een zandbodembodem (onder) simulaties met Cslim© (Tits et al., 2020)

5.2.3.4 N-opname door gewas

De hoofdteelt heeft een grote invloed op het nitraatresidu (Vlaamse landmaatschappij, 2018). Zowel de N-benuttingsindex en de bewortelingsdiepte beïnvloeden namelijk de N-opname, maar ook gewoontes in het uitvoeren van de bemesting van specifieke teelten kunnen een invloed hebben op het nitraatresidu. Klimaatverandering kan ook invloed hebben op de gewasgroei en dus ook op de N-opname en het nitraatresidu, en dit via volgende factoren:

- Hogere temperaturen leiden tot een mogelijke verlenging van het groeiseizoen (European Environment Agency, 2019) en dus op een mogelijke verhoging in biomassa-productie. Bovendien kan een stijging in atmosferische CO₂-concentratie leiden tot verhoogde primaire productie bij C3-planten (Leakey et al., 2009) en in principe dus tot een verhoogde N-opname. Bij droogte zullen verhoogde atmosferische CO₂-concentraties ook tot een verhoogde primaire productie leiden bij C4-planten in vergelijking met de huidige atmosferische CO₂-concentraties. Deze verhoogde biomassa-productie door verhoogde atmosferische CO₂-concentraties gaat echter gepaard met een lager nutriëntengehalte in het gewas en leidt dus niet noodzakelijk tot een verhoogde N-opname (Soares et al., 2019; Uddling et al., 2018). Hogere temperaturen en verhoogde CO₂-concentraties bieden dus potentieel tot verhoogde

//
//

biomassaproducties, maar de incidentie van neerslag en droogte zal bepalen of dit potentieel behaald kan worden. Droogte in de zomer kan leiden tot een gereduceerde gewasgroei met een lagere N-opname als gevolg.

- Hogere temperaturen kunnen ook leiden tot kortere groeicyclussen hetgeen zorgt voor een verminderde productiviteit door een verminderde tijd voor biomassa accumulatie en productievorming (voornamelijk bij granen) (European Environment Agency, 2019).

Er kan dus geconcludeerd worden dat klimaatverandering zal leiden tot een grotere onvoorspelbaarheid van de productie waarbij de waterbeschikbaarheid een cruciale factor zal zijn. De afgelopen drie jaren had droogte vaak een negatief effect op de opbrengst waardoor het productiepotentieel niet steeds behaald werd. Dit effect was echter teeltafhankelijk, en was onder meer afhankelijk van de periode van N-opname door het gewas en periode van droogte.

5.2.3.5 N-vrijstelling uit oogstresten

Mineralisatie uit oogstresten zorgt voor een extra N-input in het najaar en kan tot een verhoogde N-uitspoeling leiden. Deze N-mineralisatie is afhankelijk van de aard van de oogstresten en de temperatuur. Zo mineraliseren de stammen van een rode kool veel trager dan de bladeren van bloemkool (De Neve et al., 1996). De temperatuur heeft zowel een invloed op de hoeveelheid mineraliseerbare N als op de snelheid van de mineralisatie, waarbij er meer en een snellere mineralisatie waargenomen wordt bij hogere temperaturen (De Neve et al., 1996). Groenten, in het bijzonder koolgewassen, hebben oogstresten die rijk zijn aan stikstof (Tabel 8). Ze vertonen een lage C/N verhouding en mineraliseren snel (C/N: 6-13) in vergelijking met resten van tarwe en maïs (C/N: 133-139) (Agneessens et al., 2014). Bij klimaatverandering wordt een temperatuurstijging verwacht, waardoor er dus meer en snellere N-vrijzetting uit oogstresten mogelijk is.

Tabel 8 Droge stof, N-inhoud en N-vrijstelling van oogstresten van groenten (BDB & U.Gent, 2006)

Gewas	Droge stof (kg/ha)	N-inhoud (kg N/ha)
Bleekselder	3500	80-175
Knolselder	3700	90-230
Erwtten	4370-6300	30-190
Bloemkool	3300	25-115
Wortelen	600	5-41
Spinazie	700	5-60
Witte kool	4300	30-250
Wortelen	3100	59

5.2.3.6 N-uitspoeling tijdens het teeltseizoen

Nitraatuitspoeling doorheen het teeltseizoen leidt tot N-verliezen en tot een lager nitraatresidu op het einde van het seizoen. Doorheen het teeltseizoen vormen ze dus ook een bron voor aanrijking van stikstof in het oppervlakte- en grondwater. De klimaatmodellen voorspellen voor onze regio drogere zomers met extreme zomeronweders en nattere winters (Willems, 2020). Een extreem zomeronweder met extreme regenval kan na een droogteperiode een groter risico geven op erosie, denitrificatie en run-off. Indien extreme regenval gepaard gaat met een neerslagoverschot kan dit ook het risico op uitspoeling vergroten. Erosie en run-off zijn



voornamelijk van belang voor P-verliezen. Willems (2020) voorspelt meer neerslag in 2100 in de maanden oktober tot en met april. Dit verhoogt de kans op nutriëntenverliezen in het najaar, de winter en het voorjaar. Het is dus van belang om winterbestendige groenbedekkers of diepwortelende wintergranen mee op te nemen in de teeltrotatie om mogelijks bijkomende uitspoelingen te vermijden.

5.2.3.7 Vervluchtiging en denitrificatie

Toediening van N-bemesting onder vorm van ammonium of ureum kan leiden tot ammoniakvervluchtiging. De reactie voor de vorming van ammoniakgas vanuit ureum is temperatuursafhankelijk omdat de omzetting gebeurt via de vorming van ammonium uit ureum door middel van hydrolyse via bodemzymen. Hogere temperaturen zoals verwacht wordt bij klimaatverandering bevorderen dus deze omzetting. Bovendien leiden hogere temperaturen tot een hoger percentage vrije ammoniak, tot een hogere vluchtigheid van de ammoniak en een hoger ammoniakgehalte in mest (doordat er meer water verdampt is). Al deze factoren bevorderen de ammoniakvervluchtiging (Roelsma, 1997).

Denitrificatie vindt voornamelijk plaats in anoxische omstandigheden en is de omzetting van nitraat naar stikstofgas (N_2) waarbij lachgas (N_2O) als tussenproduct gevormd wordt. Bij lagere pH wordt meer lachgas gevormd (N_2O) en bij hogere pH wordt meer atmosferische stikstof (N_2) gevormd als eindproduct van de denitrificatie (Vlaamse landmaatschappij, 2019). Ook de denitrificatiesnelheid stijgt bij hogere temperaturen (Maggi & Riley, 2015; Stanford et al., 1975). Zo varieerde in de studie van Stanford et al. (1975) de denitrificatiesnelheidsconstante voor acht bodems op 15°C tussen 0.0015-0.100/uur, op 25°C tussen 0.0044-0.0168/uur en op 35°C tussen 0.0113-0.0375/uur (Stanford et al., 1975). Extreme regenval, dewelke zal toenemen bij klimaatverandering, kan leiden tot anoxische condities en bijgevolg denitrificatie bevorderen. Dit laatste zal ook afhangen van de bodemcompactie waarbij water niet goed afloopt en er sneller anoxische condities kunnen ontstaan.

5.2.3.8 N-opname door vanggewas, wintervaste groenbedekker en wintergranen

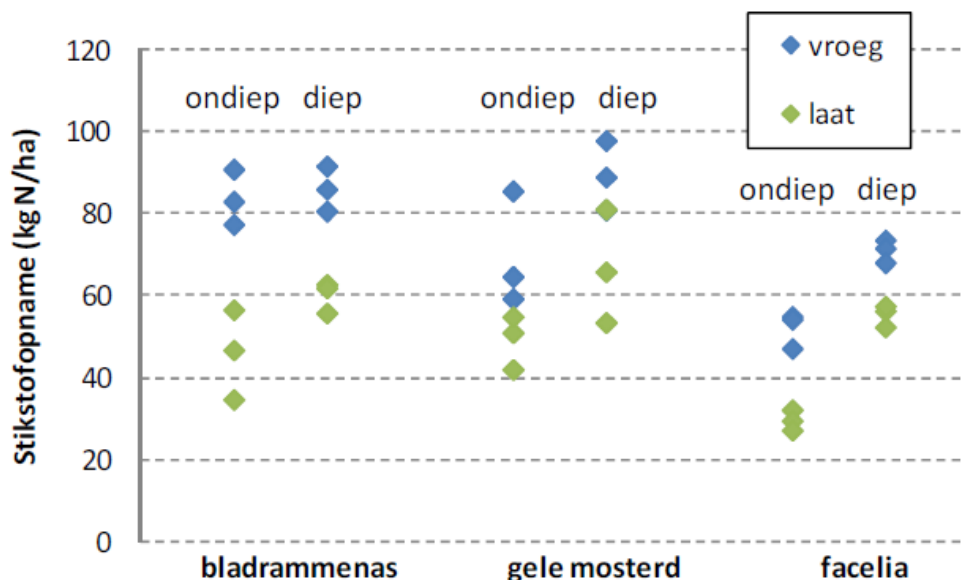
In Figuur 17 wordt de terminologie “groenbemester” gebruikt, we verkiezen in deze context de term vanggewas te hanteren aangezien het gewas ingezaaid wordt na de oogst van de hoofdteelt met als doel het nitraatgehalte in de bodem na de hoofdteelt te doen dalen. Het inzaaien van vanggewassen en wintervaste groenbedekkers beïnvloedt op meerdere manieren het nitraatresidu:

- Opname van stikstof. Hierbij is zowel de zaaidatum en datum van onderwerken of afvriezen van belang. Hoe later het gewas ingezaaid wordt hoe minder N-opname er zal zijn. Hierbij is de impact van de zaaidatum gewasafhankelijk (Hashemi et al., 2013; Toom et al., 2019) (Figuur 21). Onderzoek uit 2010 toont aan dat vanggewassen best voor 1 september ingezaaid worden, aangezien na deze datum de plantontwikkeling vooral bepaald zal worden door temperatuur en straling, en niet door stikstofvoorziening. De gevolgen van klimaatopwarming op vanggewassen worden verder in deze studie in detail besproken (zie 5.3).
- Door transpiratie van het gewas wordt het droger in de wortelzone en daalt het risico op N-uitspoeling en denitrificatie.

Er moet bovendien opgemerkt worden dat een vanggewas dat wintervast is, of wintergranen, niet enkel in het najaar, maar ook in de winter en het voorjaar zorgen voor een verdere N-opname, hetgeen uitspoeling in deze

////////////////////////////////////
//

natte seizoenen verder kan inperken. Diepwortelende wintergranen kunnen zelfs stikstof dat uitgespoeld is naar de 60-90 cm laag opnieuw opnemen in het voorjaar (zie 5.3).



Figuur 21 De stikstofopname in kg N/ha (0-90 cm) in functie van zaaitijdstip (in de studie van Hermans et al. (2010) werd een vroeg zaaitijdstip gedefinieerd als 17/8 en een laat zaaitijdstip als 2/9), groundbewerking voor de zaai (diep of ondiep) en gewasstype – demoperceel gelegen te Tongeren op leembodem (Hermans et al., 2010).

5.2.4 Alternatieven om bemestingspraktijken te evalueren en aanvullingen ter verbetering van de relatie nitraatresidu – uitgevoerde bemestingspraktijken

Bovenstaande literatuur toonde reeds aan dat de in- en outputfactoren die invloed hebben op het finale nitraatresidu op verschillende manieren beïnvloed kunnen worden door weersomstandigheden. Er zijn gemeenschappelijk zaken tussen de optimalisatie van de N-bemestingspraktijken en de optimalisatie van opvolging van de bemestingspraktijken. Het verder beperken van nutriëntenverliezen via een optimalisatie van N-bemestingspraktijken werd reeds in een vorig deel besproken, dit deel focust op andere manieren om bemestingspraktijken te evalueren, op mogelijkheden om landbouwers bewust te maken van nutriëntenverliezen en op aanvullingen op het huidige systeem om een verbetering te bekomen in de relatie tussen het nitraatresidu opgemeten op het einde van het teeltseizoen en de uitgevoerde bemestingspraktijken.

5.2.4.1 Opvolgen van de N-balans

De stikstofbodembalans kan landbouwers helpen om het nitraatresidu beter in te schatten en op elk moment van het groeiseizoen de N-status van het perceel te kennen (Vandelannoote, 2009). De N-aanvoer en N-afvoerposten die mee opgenomen worden in deze balans worden opgesomd in Tabel 9. Ook het aantal en opeenvolging van teelten is van belang. Zo moet wanneer een eerste teelt stikstofrijke gewasresten nalaat, de bemesting van de volgteelt verlaagd worden.



Tabel 9 N-aanvoer en N-afvoerposten van de stikstofbodembalans (Vandelannoote, 2009). Ook N-depositie is een N-aanvoerpost.

N-aanvoerposten	N-afvoerposten
N-reserve in het bodemprofiel	N-opname door gewas
Verwachte N-mineralisatie uit bodemhumus, oogstresten, groenbemester	N-opname door groenbemester
Toegediende minerale stikstofbemesting	Eventuele N-verliezen tijdens de teelt
N-vrijstelling uit toegediende dierlijke en andere organische meststoffen	Nitraatresidu 01/10 – 15/11

Deze tabel houdt rekening met de verwachte mineralisatie (net zoals in N-bemestingsadviezen volgens de N-index of het KNS). Er moet opgemerkt worden dat rekening houden met de verwachte mineralisatie gedurende een teeltseizoen ook risico's inhoudt. De verwachte mineralisatie kan namelijk theoretisch overschat worden indien er in de praktijk ongunstige weersomstandigheden zijn, waardoor er N-tekorten kunnen optreden. Er kan echter geargumenteed worden dat bij ongunstige weersomstandigheden het gewas minder goed groeit en dat de N-vraag dus kleiner is, en er niet noodzakelijk een N-tekort optreedt.

De N-bodembalansen hebben niet de bedoeling de adviezen te vervangen, maar het moet wel de landbouwer in staat stellen op elk moment in het groeiseizoen de N-status van het perceel in te schatten. Alle factoren die invloed hebben op het nitraatresidu worden momenteel ook al mee opgenomen in de berekening van de N-bemestingsadviezen volgens de N-index of het KNS. In het kader van klimaatverandering kan de N-balans landbouwers helpen om de invloed van variërende weersomstandigheden op het nitraatresidu beter te begrijpen, maar kan het ook een indicatie geven of het nog nuttig is om een eventuele bijbemesting nog uit te voeren. De theorie achter de N-balansen kan ook continu bijgesteld worden door per jaar enkele N-balansen op te stellen per teelt-bodem combinatie. Op deze manier kan mogelijks na jaren opvolging de impact van klimaatverandering op het nitraatresidu beter voorspeld en gekwantificeerd worden.

De parameters opgenomen in de N-balans zijn dezelfde als bij de N-adviezen, deze laatste is echter ook gebaseerd op gegevens van een bodemstaalname en doet een perceelspecifieke berekening om te bepalen hoeveel mest toegediend moet worden. De N-balans in deze context wordt gezien als een tool waarmee de landbouwer aan de slag kan om een indicatie te hebben van het nitraatresidu op het einde van het teeltseizoen, en ook om een inzicht te verkrijgen in welke factoren invloed hebben op het nitraatresidu. Het kan de landbouwer ook helpen om op het einde van het teeltseizoen het nitraatresidu te verklaren, en hieruit te leren naar de volgende bemestingsjaren. Het wordt dus gezien als een instrument ter sensibilisering. Het wordt echter in vraag gesteld of dit ingewikkeld is en misschien zelfs tot verwarring kan leiden door de grote gelijkenissen, maar anderzijds ook verschillen van bijbemestingsadviezen. Het blijft dan ook een belangrijk punt om het verschil tussen de bemestingsadviezen en de N-balans te duiden. Het is een concept dat via voorlichting tot bij de landbouwer moet geraken.

5.2.4.2 Aanpassen staalnameperiode



De staalnameperiode voor de bepaling van het nitraatresidu is gericht op het kwantificeren van de hoeveelheid stikstof die kan uitspoelen wanneer neerslagoverschot zal optreden.

Hogere temperaturen in het najaar, veroorzaakt door klimaatverandering, kunnen ervoor zorgen dat gedurende een langere periode gewasgroei mogelijk is. Dit geldt specifiek voor de vanggewassen, maar eventueel ook voor de laat geoogste teelten, door een zekere verschuiving van het groeiseizoen. Hier moet de kanttekening gemaakt worden dat een klimaatsverandering de daglengte – een belangrijke factor in de groei van gewassen – niet wijzigt. Hogere temperaturen beïnvloeden ook de mineralisatie van bodemorganische stof en van oogstresten. Het wijzigend klimaat op het N-gehalte in de bodem is dus dubbel, meer mineralisatie doet de bodem-N stijgen, terwijl meer of langere opname het bodem N-gehalte kan doen dalen. Anderzijds zal ook een verandering in het neerslagpatroon, met name het tijdstip wanneer neerslagoverschot optreedt en de grootte van het neerslagoverschot, een invloed hebben op de mogelijke nitraatverliezen, aangezien meer neerslag in het najaar (oktober-december, Figuur 37) het risico op stikstofverliezen verhoogt.

Het uiteindelijke doel blijft om een zo laag mogelijk nitraatresidu na te streven, om zo nutriëntenverliezen tijdens het natte najaar, winter en voorjaar zoveel als mogelijk te vermijden. Het aanpassen van de staalnameperiode op zich zal echter niet leiden tot een reductie in nutriëntenverliezen, maar kan wel tot een betere inschatting leiden van de bemesting en van de nazorg van het perceel na de oogst, en dus van de mogelijke nutriëntenverliezen. Belangrijk en een meer globaal aspect in het gehele verhaal is dat systemen voor bemestingsadvies (N-bijbemestingsadvies) ook best inspelen op die gevolgen van een wijzigend klimaat.

In wat volgt wordt aan de hand van voorbeelden en literatuur kort geschetst hoe het nitraatresidu kan variëren afhankelijk van de staalnamedatum

Dat het nitraatresidu in het najaar kan variëren afhankelijk van het moment van staalname werd reeds aangetoond in eerder onderzoek. Hofman & Broeck (2012) toonden aan dat in de periode van 1 oktober tot 15 november er een aanzienlijk verschil kan zijn in het gemeten nitraatresidu afhankelijk van het staalnamemoment en de perceelsituatie, met implicaties op de inschatting van de correctheid van de bemesting en de milieu-impact. De variatie van het nitraatresidu in de periode van 1 oktober tot 15 november werd door Hofman & Broeck (2012) bepaald op 50 percelen op 6 verschillende momenten. Tabel 10 geeft het aantal percelen per teelt mee opgenomen in de studie. De stalen op de zes momenten werden tesamen geanalyseerd en de analyse is allesomvattend, het maakt dus geen onderscheid tussen het al dan niet aanwezig zijn van een groeiend gewas of het inzaaien van een nateelt. Met andere woorden, gedurende de tijdsperiode van de zes staalnames kon er in het begin een groeiend gewas aanwezig zijn op het perceel, en op het einde een nateelt waartussen er groundbewerkingen gebeurd waren. Bij 40% van deze data was er een significante tijdscomponent aanwezig (bij 50% van de gevallen was er geen invloed van de tijd op het nitraatresidu), de invloed was zowel in de positieve als in de negatieve zin en niet afhankelijk van het gewas. Voor de overige data kon men geen uitspraak doen door een grote variatie in de resultaten.



Gewasgroep	# percelen
Aardappelen	5
Blijvend grasland	5
Tijdelijk grasland	5
Korrelmaïs	5
Silomaïs	5
Granen (met vanggewas)	7
Groenten	7
Suikerbieten	4
Wintertarwe	6
Triticale	1

Tabel 10 Aantal percelen per gewas die mee werden opgenomen in de studie van Hofman & Broeck (2012).

Het tijdstip van staalname is een belangrijk element, zoals geïllustreerd wordt door volgende voorbeelden

- Indien een staal genomen wordt begin oktober op een preiperceel, en de prei wordt pas geoogst tegen het einde van de nitraatresiducampagne of erna, dan is er nog N-opname door het gewas na de staalname. De benodigde N voor de verdere gewasgroei is reeds aanwezig in de bodem op het moment van staalname. Staalname begin oktober kan hier dan leiden tot een overschatting van het werkelijke nitraatresidu op het einde van de teelt.
- Indien bieten vroeg geoogst worden, kan een laat nitraatresidustaal een vertekend beeld geven van de bemestingspraktijk doordat er reeds minerale N is vrijgezet uit de oogstresten. Anderzijds indien bij bieten een staal genomen wordt bij oogst en erna nog mineralisatie optreedt van de oogstresten, dan zal de milieu-impact onderschat worden. In Wallonië wordt, wanneer de bieten geoogst worden voor de start van de staalnamecampagne en men dit kan staven met leverbon, het nitraatresidu bepaald op het reserveperceel dat geselecteerd werd bij deze landbouwer.
- Indien na staalname ter bepaling van het nitraatresidu een vanggewas nog stikstof opneemt, dan zal het risico op uitspoeling overschat worden.

Het differentiëren van de nitraatresidunormen voor percelen met groeiende gewassen kan een optie zijn, waarbij de (eerste) drempelwaarde voor het nitraatresidu hoger is vroeger op het seizoen (BDB & U.Gent, 2006). Aanvullend daaraan moet echter geduïd worden dat de waarde van het nitraatresidu niet enkel kan dalen maar ook kan stijgen. En dat daarbij een veelvoud van mogelijke praktijkgevallen telkens mogelijk is, wat de implementatie van deze strategie erg bemoeilijkt. In dit kader moeten we wijzen op de kracht van een bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu, die toelaat om een globaler beeld te maken van het risico op nitraatuitspoeling, waarbij mogelijke toename en afname van het nitraatresidu op elk van de percelen uitgemiddeld wordt op bedrijfsniveau.



Klimaatverandering kan een nog meer uitgesproken invloed hebben op de waarde van het nitraatresidu tijdens de staalnameperiode doordat hogere temperaturen in het najaar leiden tot een langere gewasgroei, en dus op de hoeveelheid stikstof en/of op het tijdstip van opname door laat geoogste teelten en/of vanggewassen. Klimaatverandering zal echter geen invloed hebben op de daglengte, een andere belangrijke factor die de gewasgroei bepaalt. Zoals reeds vermeld, kan klimaatverandering ook leiden tot een hogere stikstofmineralisatie uit oogstresten en humus. Bovendien kan meer neerslag in de wintermaanden (oktober-april) het risico op N-verliezen tijdens het najaar verhogen. De diverse effecten van klimaatverandering kunnen momenteel echter niet gekwantificeerd worden, gezien de klimaatverandering ook niet exact te voorspellen is. Nogmaals kan verwezen worden naar de kracht van een bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu.

Aangezien verwacht wordt dat door klimaatverandering het najaar (oktober-december) gekenmerkt wordt als een “nattere periode”, kan gesteld worden dat momenteel de huidige staalnameperiode volstaat om een inschatting te maken van het risico op nutriëntenverliezen. Ook het effect van klimaatverandering op een verschuiving in de tijd van de stikstofgewasopname en (bijkomende ?) stikstofmineralisatie is op heden niet exact te kwantificeren, waardoor uitspraken over een “ideale” staalnameperiode zeer moeilijk blijven.

5.2.4.3 Tussentijdse evaluatie van bemesting

Een bijkomende evaluatie om op basis van het nitraatresidu de juistheid van de bemesting te evalueren kan op basis van resultaten van tussentijdse staalnames waarbij de minerale N-reserve tijdens het groeiseizoen bepaald wordt (BDB & U.Gent, 2006). Een optie kan zijn om vanaf vier weken na bemesting een eerste bodemstaalname te doen ter evaluatie van de bemesting en dan te kijken of bijbemesting nog noodzakelijk is. Deze tussentijdse evaluatie van bemesting kan dan mee opgenomen worden in het kader van fractionatie van de bemesting en optimalisatie van de bemestingsadviezen (zie Luik 1 –Optimalisatie van bemestingspraktijken).

5.2.4.4 Opvolgen van de nitraat limietwaarden in referentiepercelen

In 2006 werd reeds gesuggereerd om een reeks referentiepercelen op te volgen (diverse teelten en geografische spreiding) voor de interpretatie van nitraatresidu's (BDB & U.Gent, 2006). Zo'n reeks referentiepercelen kan een oplossing bieden voor een evaluatie van de N-bemestingspraktijken bij veranderende klimaatomstandigheden. Deze referentiepercelen ondergaan een correcte bemesting (zoals beschreven in het MAP, vb. in MAP 6 volgens de 4 J's) en reflecteren de praktijksituatie zowel op vlak van toegepast technieken als grondsoort, klimaat en perceelshistoriek.

In 2012 werden in Vlaanderen reeds een reeks proeven opgesteld door het CVBB bij 135 land- en tuinbouwers waarbij op telkens vier percelen de teelt, de bemesting en het nitraatresidu opgevolgd werden (Coomans & Geerinckx, 2012). Voor alle percelen werd een advies afgeleverd (zonder verplichting deze op te volgen), er werd een mestanalyse gedaan indien nodig en verder werd gevraagd de vertrouwde teelttechnieken toe te passen om de praktijkomstandigheden zo goed mogelijk te reflecteren. Het gemiddeld nitraatresidu per teelt was hoger op de opgevolgde referentiepercelen van het CVBB, dan het gemiddelde over alle nitraatresidustalen opgenomen in de VLM-databank (Tabel 11). Vooral bij de groenten is dit het geval. Hier zijn twee mogelijke verklaringen voor volgens het artikel: (i) in het CVBB-netwerk zijn meer gespecialiseerde bedrijven opgenomen en werd vooral gezocht naar risicoteelten met een grotere kans op een hoger nitraatresidu en (ii) op de



referentiepercelen werd slechts 1 staal genomen, terwijl in praktijk een tegenstaal genomen kan worden dat lager kan zijn.

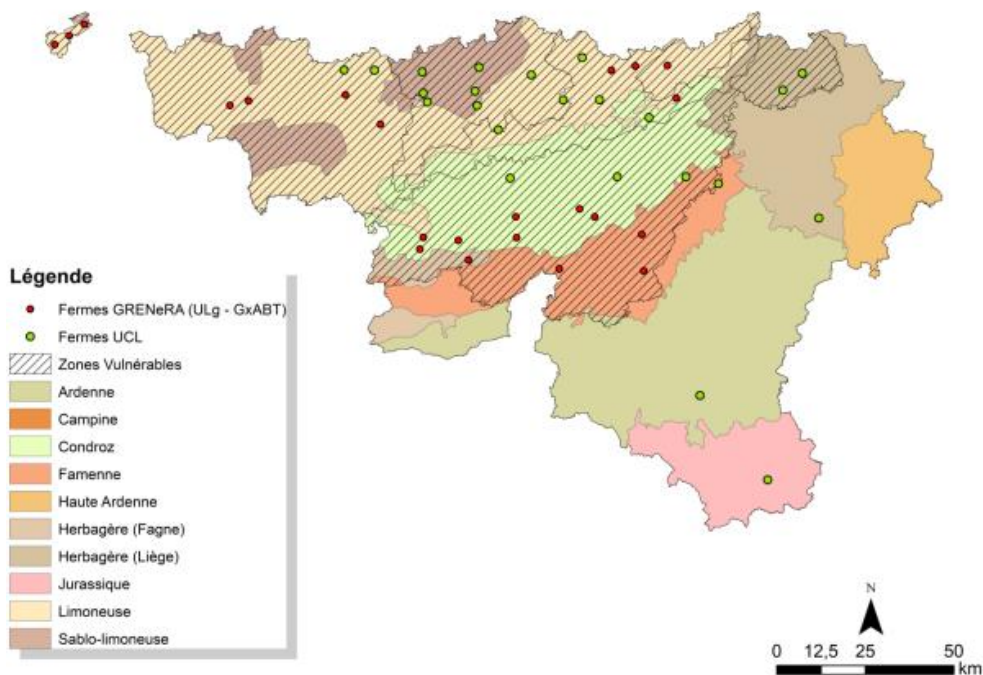
Tabel 11 Resultaten nitraatresidu 2012 per teeltgroep (Coomans & Geerinckx, 2012).

Tabel 4. – Resultaten nitraatresidu 2012 per teeltgroep

Teeltgroep	Gemiddeld nitraatresidu VLM	Gemiddeld nitraatresidu referentiepercelen CVBB
Aardappelen	91	108
Bieten	32	41
Granen	57	64
Maïs	62	74
Grasland	36	38
Groenten	73	161
Sierteelt	101	122

Op basis van nitraatresiduwaarden van referentiepercelen kan per teelt een limietwaarde bepaald worden die als grenswaarde gehanteerd wordt om de juistheid van bemesting te evalueren. Deze wordt in de verdere beschrijving de nitraatlimietwaarde genoemd. Deze limietwaarde wordt hier dus niet bepaald op basis van mogelijke milieurisico's. Zo'n systeem van nitraatlimietwaarden op basis van referentiepercelen wordt toegepast in Wallonië, en dit wordt hier als voorbeeld besproken (Azote Potentiellement Lessivable, Protect'eau, 2018). Hiervoor wordt sinds 2002 gebruik gemaakt van 25 landbouwbedrijven die bemestingsadviezen krijgen, vandaag de dag is dit aantal uitgebreid naar 45 landbouwbedrijven om voldoende observaties per teeltklasse te hebben (Figuur 22; Vandenberghe et al., 2020). In 2019 werden in totaal 280 percelen opgevolgd. Er worden acht groepen gewassen opgevolgd: bieten, granen gevolgd door een voorjaarsteelt, granen gevolgd door een wintersteelt en witloof, maïs, aardappel, koolzaad, groenten en weiden. Voor de eerste twee klassen moeten tien percelen opgevolgd, voor de anderen 20 percelen.



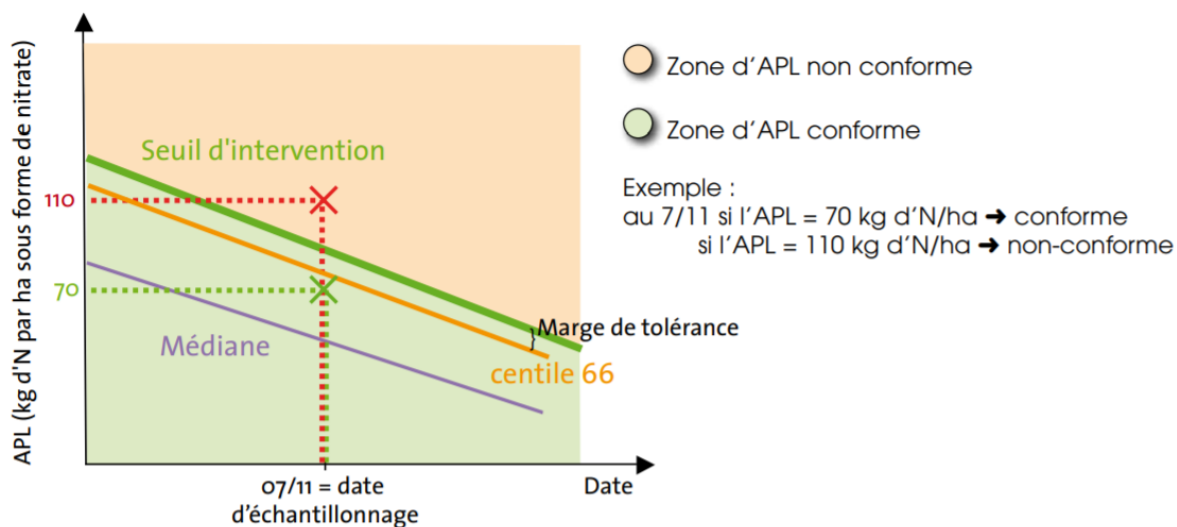


Figuur 22 Geografische verspreiding van de referentiepercelen om de APL-referenties op te stellen (Vandenberghe et al., 2020).

De percelen worden onderhouden en bemest volgens het PGDA (Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture), de Waalse tegenhanger van het MestActiePlan in Vlaanderen. Het voordeel hiervan is dat de referentiepercelen onderhevig zijn aan alle praktijk randvoorwaarden en niet aanliggen onder gecontroleerde omstandigheden. Hierdoor wordt elke verstoring (vb. klimatologisch) van het gewas dat leidt tot productieverliezen of productiewinsten en een respectievelijke verminderde of verhoogde N-opname mee opgenomen in de bepaling van de nitraatlimietwaarde voor dat jaar. Bovendien wordt deze waarde op meerdere tijdstipmomenten bepaald op deze referentiepercelen zodat de nitraatlimietwaarde varieert gedurende de staalnameperiode en het moment van staalname mee in rekening wordt gebracht bij de evaluatie. Een eerste meting gebeurt in de periode van 15 tot 30 oktober, een tweede meting gebeurt tussen 3 en 12 december (Vandenberghe et al., 2020). Indien men dit wil doortrekken naar Vlaanderen zullen er waarschijnlijk in totaal veel referentiepercelen noodzakelijk zijn doordat er o.a. veel verschillende groenteteelten en oogstperiodes van elk van die groenten zijn (tenzij groenten in klassen opgedeeld worden).

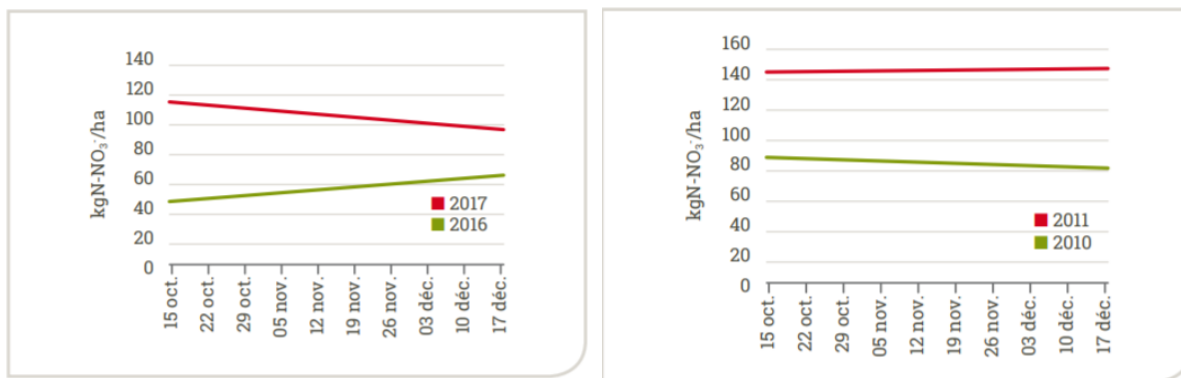
Hoe de nitraatlimietwaarde, waarmee de metingen op landbouwpercelen vergeleken worden, bepaald wordt in Wallonië is weergegeven in Figuur 23. Per jaar wordt een algemene grenswaarde gedefinieerd die het 66e centiel is van de metingen van alle percelen. Voor het bepalen van de bovengrens van de grenswaarde (de nitraatlimietwaarde) wordt er echter nog een veiligheidsmarge ingebouwd die overeenkomt met $\pm 20\%$ van de mediaan van alle grenswaarden van alle percelen, en die minimaal 15 kg nitraatstikstof/ha bedraagt. In Wallonië vormen weiden een uitzondering op deze regel, de marge is hier een vaste waarde van 23,8 kg nitraatstikstof/ha. Nitraatwaarden opgemeten op landbouwpercelen onder deze jaarlijkse nitraatlimietwaarde zijn conform, waarden erboven zijn niet conform.





Figuur 23 Mediaan (paars) en 66^e-centielwaarde (oranje) van de nitraatmetingen op de referentiepercelen. De groene lijn geeft de limietwaarde weer op basis van de 66^e centielwaarde en een veiligheidsmarge (Azote Potentiellement Lessivable, Protect'eau, 2018).

Elk jaar worden minimum 5% van de bedrijven gelegen in een nitraatgevoelige zone geëvalueerd. Of een exploitatie conform is, hangt af van het aantal percelen dat conform is op het bedrijf. Per bedrijf worden er drie percelen geëvalueerd. De metingen moeten gedaan worden in de periode van 15 oktober tot 30 november. Een positieve bevinding vindt plaats indien alle percelen conform zijn of indien één perceel niet conform is maar deze waarde niet hoger is dan de maximale waarde van (i) de limietwaarde + 100 kg en (ii) het dubbel van de nitraatlimietwaarde. In alle andere gevallen wordt het bedrijf negatief geëvalueerd en wordt het opgenomen in een opvolgingsprogramma. De nitraatlimietwaarden kunnen variëren over verschillende jaren zoals geïllustreerd in Figuur 24 voor maïs en aardappel. Deze figuur geeft de minimale en maximale nitraatlimietwaarden over de jaren heen bepaald op de referentiepercelen sinds 2008.



Figuur 24 Maximale en minimale limietwaarden in functie van staalnametijdstip voor maïs (links) en aardappel (rechts) vanaf 2008 (Azote Potentiellement Lessivable, Protect'eau, 2018).



Voordelen van het systeem zijn:

- Een evaluatie van de bemesting die rekening houdt met de weersomstandigheden
- Een evaluatie die afhangt van het staalnametijdstip
- Een systeem dat meer motiverend werkt voor de landbouwer

Er komen ook echter wel een aantal kritieken van landbouwers op dit systeem:

- Een onvoldoende ruimtelijke spreiding van de referentiepercelen.
- Referentiepercelen die jaren opeenvolgend dezelfde zijn. Intuïtief lijkt het beter om referentiepercelen met de jaren te variëren om zo geen onderliggend effect van exploitatie mee op te nemen in de bepaling van de nitraatlimietwaarde.
- Klimatologische omstandigheden kunnen ook lokaal sterk verschillend zijn (vb. regenbuien).

Voor elk van deze kritieken worden mogelijke oplossingen voorgesteld door de auteurs van deze literatuurstudie in de respectievelijke volgorde van de kritieken hierboven weergegeven.

- Voldoende ruimtelijke variatie te voorzien in de referentiepercelen
- Elk jaar een bepaald percentage nieuwe percelen op te nemen en eenzelfde percentage percelen achterwege te laten.
- Percelen met klimatologische extremen (vb. hagelschade) uit het gemiddelde te laten.

Als alternatieve variant van deze regelgeving kan een nitraat limietwaarde worden gedefinieerd op basis van een percentiel van gemeten praktijkstalen (per teelt, per bodemtextuurklasse).

5.2.4.5 Evaluatie bemesting afhankelijk van klimatologische indicatoren

De hierna beschreven aanpak baseert zich op het tussentijds syntheserapport van de “Uitwerking van een reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik”. Dit is een lopende studie waarbij het rapport de tussentijdse resultaten beschrijft. In het rapport wordt gebruikt gemaakt van verschillende indicatoren voor droogte/waterschaarste die moeten toelaten op ieder ogenblik de reële toestand van droogte en waterschaarste te bepalen en die objectief gebruikt kunnen worden om te bepalen of er een watertekort dreigt (droogteniveau 1) of een watertekort zich effectief voordoet (droogteniveau 2). Deze indicatoren worden dagelijks opgevolgd en kunnen bijvoorbeeld een klimatologische parameter (vb. Standardized Precipitation Index) of een bodemtoestand (vb. bodemvocht) zijn. In praktijk wordt dagelijks bepaald of de parameterwaarde de vastgelegde drempelwaarden overschrijdt en wordt het totale aantal dagen waarbij niet voldaan werd aan de drempelwaarde opgevolgd. Dit geeft een indicatie van de droogte gedurende het seizoen. In praktijk wordt voor de parameter bodemvocht de overschrijding van drempelwaarden dagelijks bepaald voor verschillende referentiecasses. Deze omvatten 9 verschillende teeltgroepen, 4 bodemtypes, 2 bodemvochttrappen (droog/nat, deze laatste omvat ook capillaire opstijging) en 2 irrigatieregimes (wel/niet).

Deze droogte-indicatoren bieden ook potentieel om mee opgenomen te worden voor het opstellen van een kader om bemestingspraktijken te evalueren bij variërende klimatologische omstandigheden. Een optie is om in het najaar de nitraatresidudrempelwaarde te laten variëren afhankelijk van hoe vaak een indicator overschreden werd in het seizoen, maar ook afhankelijk van in welke groeifase deze overschrijdingen



plaatsvonden. Indien men met dit systeem wil verder gaan moet eerst nog wel verder nagegaan worden hoe de verhoogde (of eventueel verlaagde) drempelwaarde precies bepaald wordt. De indicatoren hierboven focussen op droogte. De laatste jaren werden opmerkelijke droogte waargenomen. Het is waarschijnlijk dat er af en toe een extreem nat jaar komt in de toekomst, hetgeen ook een invloed kan hebben op de gewasgroei. Een mogelijke indicator hiervoor is het neerslagoverschot.

Vooraleer dit geïmplementeerd kan worden, is er echter nog verder onderzoek nodig in Vlaanderen naar de exacte invloed van droogte/extreme regenval op de gewasproductie, dit moet bekeken worden per gewas en in functie van de periode van droogte. Een meta-analyse op data van 1980-2015 op granen, groenten en wortels/knollen toonde inderdaad aan dat gewassen gevoeliger zijn voor droogte tijdens de reproductieve dan tijdens de vegetatieve fase (Daryanto et al., 2017). Vervolgens moet een relatie gemaakt worden met hoe het nitraatresidu zal evolueren (welke range) bij deze verminderde gewasgroei om zo te komen tot een nitraatresidudrempelwaarde die varieert op basis van de indicatoren die een maat zijn voor de klimatologische condities.

De klimatologische indicator SPI-3 op 1 juli (bronmaanden: april-juni) vertoont een verband met het gemeten nitraatresidu in het najaar (zie 5.2.2). Voor bijbemesting die nog moeten gebeuren na deze periode kan het een optie zijn om deze parameter te evalueren en deze mee op te nemen in de beslissing over het al dan niet bijbemesten. Hiervoor moet het verband tussen de SPI-3 1 juli (bronmaanden: april-juni) en de teelt eerst verder uitgewerkt worden.

5.2.5 Conclusie

De meting van het nitraatresidu op zich is klimaatrobuust. Het nitraatresidu is sterk afhankelijk van een aantal in- en outputfactoren van N in de bodem (Figuur 17, zie 5.2.3) die op zich al reeds enige variatie kunnen vertonen onafhankelijk van weersomstandigheden. Klimaatverandering kan voor verschillende van deze factoren leiden tot een grotere variatie op hun waarde. Dit is het geval voor de mineralisatie van de bodemorganische stof, de N-opname door het gewas en een vanggewas, de N-vrijstelling uit oogstresten, de nitraatuitspoeling, de vervluchtiging en denitrificatie. Hierdoor blijft het nitraatresidu nog steeds een goede indicator voor het inschatten van het milieurisico op nitraatuitspoeling en zal een nog gericht bemestingsmanagement nodig zijn om het nitraatresidu laag te houden. Enige onzekerheid op deze in- en outputfactoren is wel reeds ingebouwd in het huidige systeem van het gebruik van het nitraatresidu via de perceels- en bedrijfsevaluatie door middel van het gebruik van drempelwaarde 1 en drempelwaarde 2, hetgeen enige flexibiliteit geeft. Deze literatuurstudie beschreef verschillende alternatieven om bemestingspraktijken te evalueren en aanvullingen ter verbetering van de relatie nitraatresidu – uitgevoerde bemestingspraktijken:

- Opstellen van N-balansen zodat telers doorheen het seizoen inzicht kunnen krijgen in het verwachte nitraatresidu. Dit is eerder een instrument voor een betere bewustmaking en dient niet ter evaluatie van de juistheid van bemesting. Het kan landbouwers helpen in een beslissing of een bijbemesting nog effectief gegeven moet worden (zie 5.2.4.1)
- Indien men kijkt naar de staalnameperiode moet men in rekening houden wat het uiteindelijke doel van de meting is (zie 5.2.4.2). Om de juistheid van de bemesting te evalueren, moet het nitraatresidu zo kort mogelijk op de oogst gemeten worden. Anderzijds zal om de milieu-impact in te schatten best zo laat



mogelijk op het seizoen gemeten worden om zo de invloed van mineralisatie en vanggewassen mee op te nemen in de meting.

- Tussentijdse evaluatie van bemesting:
Vanaf vier weken na bemesting kan men een eerste bodemstaalname doen ter evaluatie van de bemesting (zie 5.2.4.3). Deze tussentijdse evaluatie van bemesting wordt idealiter dan mee opgenomen in het kader van fractionatie van de bemesting en optimalisatie van de bemestingsadviezen (zie 5.1).
- Het gebruik van referentiepercelen waarop jaarlijks nitraatresiduwaarden bepaald worden (systeem analoog aan ALP in Wallonië, zie 5.2.4.4). Op basis van een percentiel van deze gemeten praktijkstalen op de referentiepercelen wordt dan een nitraatlimietwaarde opgesteld per teelt en bodemtextuur. Door de diversiteit aan teelten en bodemtexturen in Vlaanderen zouden er een heel aantal percelen moeten opgenomen worden. Deze referentiepercelen ondergaan een correcte bemesting en reflecteren de praktijksituatie zowel op vlak van toegepaste technieken als grondsoort, klimaat en perceelshistoriek. Voordelen van het systeem zijn dat het rekening houdt met weersomstandigheden, dat de evaluatie van de landbouwpercelen afhangt van het staalnametijdstip en dat het systeem meer motiverend werkt voor de landbouwer omdat deze niet afgestraft wordt door weeromstandigheden. Er komen ook wel enkele kritieken op het systeem van landbouwers zoals een onvoldoende ruimtelijke spreiding van de percelen, dat er onvoldoende afwisseling is in de referentiepercelen en dat de klimatologische omstandigheden ook lokaal erg verschillend kunnen zijn (vb. hagelbuien).
- Evaluatie van de juistheid van bemesting afhankelijk van klimatologische indicatoren (zie 5.2.4.5). Hierbij varieert de nitraatresidudrempelwaarde waarmee perceelwaarden vergeleken worden afhankelijk van het klimaat van het afgelopen seizoen. Deze aanpak vereist nog verder onderzoek.



Klimaatrobuustheid van de bepaling in het kader van nutriëntenbeheersing: gevolgen van veranderende weersomstandigheden op de effectiviteit van de bepaling m.b.t. nutriëntenemissies

Niet klimaatrobuust

Enigszins klimaatrobuust

De meting van het nitraatresidu op zich is klimaatrobuust. Het nitraatresidu is sterk afhankelijk van een aantal in- en outputfactoren van N in de bodem (Figuur 17, zie 5.2.3) die op zich al reeds enige variatie kunnen vertonen onafhankelijk van weersomstandigheden. Klimaatverandering kan voor verschillende van deze factoren leiden tot een grotere variatie op hun waarde. Dit is het geval voor de mineralisatie van de bodemorganische stof, de N-opname door het gewas en een vanggewas, de N-vrijstelling uit oogstresten, de nitraatuitspoeling, de vervluchtiging en denitrificatie. Hierdoor blijft het nitraatresidu nog steeds een goede indicator voor het inschatten van het milieurisico op nitraatuitspoeling en zal een nog gericht bestedingsmanagement nodig zijn om het nitraatresidu laag te houden. Enige onzekerheid op deze in- en outputfactoren is wel reeds ingebouwd in het huidige systeem van het gebruik van het nitraatresidu via de perceels- en bedrijfsevaluatie door middel van het gebruik van drempelwaarde 1 en drempelwaarde 2, hetgeen enige flexibiliteit geeft.

Klimaatrobuust, maar:

Klimaatrobuust

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het “klimaatrobuuster” maken van de bepaling; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

mogelijkheden met beperkt potentieel

- Opstellen van N-balansen zodat telers doorheen het seizoen inzicht kunnen krijgen in het verwachte nitraatresidu. Dit is eerder een instrument voor een betere bewustmaking en kan landbouwers helpen om te beslissen of een bijbemestingsadvies effectief uitgevoerd moet worden (zie 5.2.4.1).
- Indien men kijkt naar de staalnameperiode moet men in rekening houden wat het uiteindelijke doel van de meting is (zie 5.2.4.2). Om de juistheid van de bemesting te evalueren, moet het nitraatresidu zo kort mogelijk op de oogst gemeten worden. Anderzijds zal om de milieu-impact in te schatten best zo laat mogelijk op het seizoen gemeten worden om zo de invloed van mineralisatie en vanggewassen mee op te nemen in de meting.

mogelijkheden met veel potentieel

- Referentiepercelen waarop nitraatlimietwaarden jaarlijks bepaald worden (zie 5.2.4.4). Deze referentiepercelen ondergaan een correcte bemesting en reflecteren de praktijksituatie zowel op vlak van toegepast technieken als grondsoort, klimaat en perceelshistoriek. Voor elke teelt wordt een nitraatlimietwaarde bepaald die als grenswaarde gehanteerd wordt.
 - o Voordelen:
 - Houdt rekening met de weersomstandigheden



- Evaluatie hangt af van het staalnametijdstip
- Systeem werkt meer motiverend voor de landbouwer omdat deze niet afgestraft wordt door weeromstandigheden.
- Kritieken
 - De ruimtelijke spreiding van de percelen moet voldoende zijn.
 - Er moet voldoende afwisseling in referentiepercelen zijn
 - Klimatologische omstandigheden kunnen ook lokaal sterk verschillend zijn (vb. regenbuien)
- Evaluatie van de juistheid van bemesting afhankelijk van klimatologische indicatoren (zie 5.2.4.5). Hierbij varieert de nitraatresidudrempelwaarde waarmee perceelswaarden vergeleken worden afhankelijk van het klimaat van het afgelopen seizoen. Deze aanpak vereist nog verder onderzoek.
- Tussentijdse evaluatie van bemesting (zie 5.2.4.3): Vanaf vier weken na bemesting kan men een eerste bodemstaalname doen ter evaluatie van de bemesting. Deze tussentijdse evaluatie van bemesting moet dan mee opgenomen worden in het kader van fractionatie van de bemesting en optimalisatie van de bemestingsadviezen (zie 5.1).

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Inschatting van de bijdrage (positief of negatief) van de bepaling tot klimaatmitigatie

- veel positief
- matig positief
- matig negatief
- veel negatief
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het verbeteren van de bijdrage tot klimaatmitigatie; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

- mogelijkheden met beperkt potentieel
- mogelijkheden met veel potentieel
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven



5.3 Vanggewassen en teeltcombinaties

5.3.1 Inleiding

5.3.1.1 Definities

Deze paragraaf wordt gestart met een definitie van begrippen. Onder teeltcombinaties wordt een combinatie van teeltfuncties bedoeld. Mogelijke teeltfuncties zijn:

- Hoofdgewas: een teelt bedoeld om opbrengst te behalen.
- Tussenteelt: een teelt bedoeld om bijkomende opbrengst te halen, zoals bijvoorbeeld een snede gras na maïs.
- Groenbedekker: een teelt die als functie heeft om de bodem bedekt te houden tijdens het najaar of de winter om risico's op erosie en dichtslaan te verminderen. Deze teelt is niet bedoeld om er opbrengst uit te halen en wordt normaal gezien enkel in de nazomer/het najaar ingezaaid, tenzij bij onderzaai (vb. gras in maïs). In de biologische teelt worden ze soms ook als rustgewas ingezaaid.
- Vanggewas: een teelt bedoeld om de residuele stikstof in de bodem in het najaar op te vangen en vast te houden met tot doel het nitraatgehalte in de bodem te doen dalen en bijgevolg nutriëntenverliezen te vermijden.
- Groenbemester: een teelt die na afsterven en onderwerken nutriënten voorziet voor een volgende hoofdteelt.

Er is enige overlap tussen deze teeltfuncties. Zo fungeren niet-vlinderbloemige groenbedekkers ook als N-vanggewas en als groenbemester. Vlinderbloemige groenbedekkers fungeren dan eerder enkel als groenbemester en in mindere mate als vanggewas om stikstof op te vangen. Ze nemen wel enige stikstof op uit de bodem maar ze doen dit eerder inefficiënt. Hoe meer stikstof in de bodem, hoe minder moeite ze zullen doen om de symbiose met de N-bindende *Rhizobium*-bacteriën in stand te houden waardoor ze meer N uit de bodem zullen opnemen. Tussenteelten staan (meestal) ook in het najaar-de winter op het veld maar worden wel geoogst (vb. gras ingezaaid na maïs waarvan in het voorjaar een snede geoogst wordt). Naast hun opbrengstfunctie fungeren ze dus ook als vanggewas en groenbedekker, maar niet als groenbemester. Tijdig ingezaaide winter-hoofdteelten zoals bijvoorbeeld wintergranen, kunnen dan weer als vanggewas fungeren maar zijn geen groenbedekker of groenbemester.

In wat volgt wordt eerst dieper ingegaan op de soorten vanggewassen en de huidige MAP-regelgeving omtrent vanggewassen, gevolgd door de invloed van klimaatverandering op vanggewassen. Vervolgens worden mogelijke alternatieven voor/aanpassingen aan de huidige MAP-regelgeving besproken die kaderen in de hierboven beschreven inleiding. Een aandachtspunt om nog aan te halen is de sensibilisering van de landbouwers over het belang van de inzaai van vanggewassen. Een mogelijk instrument ter sensibilisering is de stikstofbalans zoals besproken werd in de sectie "Alternatieven voor de opvolging van bemestingspraktijken (zie 5.2). Deze stikstofbalans kan landbouwers een inschatting geven van het effect van het zaaien van vanggewassen op het nitraatresidu.



5.3.1.2 Vanggewassen

Niet-vlinderbloemige groenbemesters, die als vanggewassen kunnen fungeren, worden onderverdeeld in twee grote groepen zoals besproken in Hermans et al. (2010).

- Bladrijke groenbedekkers vertonen een snelle en bovengrondse groei met een aanzienlijke N-opname. In België zijn de meest voorkomende soorten gele mosterd, bladrammenas, bladkool en phacelia. Ze zijn vorstgevoelig waardoor ze vaak afvriezen in de winter. Tijdens zachte winters kan het voorkomen dat het gewas niet doodvriest en dat het doodgespoten moet worden. De resten worden erna typisch ondergewerkt en verteren snel, waardoor er reeds een vroege vrijstelling van stikstof plaatsvindt. Gele mosterd, bladrammenas en bladkool zijn kruisbloemigen en hebben slechts een beperkt aantal zijwortels op de penwortel waardoor in vergelijking met grassen en vlinderbloemigen er weinig wortelbiomassa is. Ook phacelia kent slechts een ondiepe doorworteling, doorgaans slechts in de bovenste 15 cm van de grondlaag. Ondanks dat alle bladrijke groenbedekkers als vorstgevoelig omschreven worden is er binnen deze groep toch ook enige variatie. Phacelia is erg vorstgevoelig, bladrammenas sterft af bij een strenge winter maar kan bij een zachte winter gedeeltelijk overleven en hergroeien, gele mosterd is na een vorstperiode volledig afgevroren en bladkool is slechts beperkt vorstgevoelig (Braekman et al., 2015).
- Grasachtige groenbemesters vertonen een hoge maar langzame N-opname. Bovendien zijn ze niet of slecht matig vorstgevoelig waardoor ze gedurende de winter en het voorjaar stikstof verder opnemen. Landbouwers uit onze contreien kiezen vaak voor Italiaans of Engels raagras, en in mindere mate voor rogge of haver. In tegenstelling tot bladrijke groenbedekkers vertonen grassen een uitgesproken wortelontwikkeling waardoor ze bijdragen aan de bodem organisch stof en bodemverslapping tegengaan. De hoge C/N-verhouding zorgt voor een trage vertering na onderwerpen waardoor de vastgelegde stikstof pas later in het groeiseizoen vrijgesteld wordt.

Vlinderbloemige groenbedekkers en hun N-opname worden hier niet in detail besproken omdat ze geen deel uitmaken van vanggewassen, ook niet in een mengsel, een uitzondering hierop is het mengsel gras-klover.

5.3.1.3 Huidige MAP-regelgeving omtrent vanggewassen

Het huidige MAP stelt dat op percelen bouwland in gebiedstype 1, 2 en 3 die geen zware kleigrond zijn, na een hoofdteelt die uiterlijk op 31/8 geoogst werd, uiterlijk op 15/9 een vanggewas ingezaaid moet worden, tenzij er een nateelt ingezaaid wordt. Echter, bij een nateelt als vanggewas moet deze ook gezaaid worden uiterlijk op 15/9. Voor de vanggewassen als moet een aanhoudperiode gerespecteerd worden, tot 30/11 op percelen in de leemstreek, tot 15/10 op zware kleigronden en tot 31/1 op overige percelen (Vlaamse Overheid, 2019). In gebiedstype 2 en 3 moeten de bedrijven voldoen aan een bedrijfseigen en verplicht areaal vanggewassen (het zogenaamde doelareaal). Dat areaal wordt bepaald door een referentiepercentage en een toename daarvan, zoals opgenomen in het Mestdecreet (Tabel 12). Vanggewassen en teeltcombinaties die meetellen voor het voor het gerealiseerde areaal vanggewassen zijn (zoals gedefinieerd in MAP 6; Vlaamse Overheid, 2019):

- Tijdelijk grasland, tagetes (Afrikaantje) en phacelia,
- Teelten waarna uiterlijk 15/9 een vanggewas ingezaaid werd
- Niet-vroege aardappelen en maïs waarna uiterlijk 15/10 een vanggewas ingezaaid werd
- Maïs met onderzaai gras.



- Niet-nitraatgevoelige hoofdteelten gevolgd door een laag risico nateelt

Tabel 12 Toename in areaal vanggewassen bovenop een referentiepercentage (gemiddelde van 2016, 2017 en 2018), (Vlaamse Overheid, 2019).

Jaar	GT2	GT3
2019	+ 0 %	+ 5 %
2020	+ 5%	+ 10%
2021	+ 5%	+ 15%
2022	+ 5%	+ 20%

De landbouwer kan er ook voor kiezen om zijn doelareaal (deels of volledig) te laten uitvoeren door een andere landbouwer. Specifieke regels gelden daarvoor. Men kon in 2020 ook kiezen voor equivalente maatregelen in plaats van het inzaaien van vanggewassen. Deze equivalente maatregelen zijn het inzaaien van wintergranen na een nitraatgevoelige teelt en het bemesten van groenten volgens het adviessysteem KNS. De sancties voor het niet naleven van deze equivalente maatregelen zijn groter dan de sancties opgelegd voor het niet behalen van het doelareaal van de vanggewassenregeling.

5.3.2 Klimaatverandering en vanggewassen

Vanggewassen worden mee opgenomen in MAP 6 omdat ze het risico op nitraatuitspoeling verminderen. Uit de antwoorden op de online vragenlijst bleek dat men verwacht dat de invloed van klimaatverandering op de effectiviteit van de vanggewassen om nutriëntenverliezen tegen te gaan eerder beperkt is. Er wordt wel verwacht dat aanpassingen aan de maatregelen mogelijks wel een positieve invloed hebben om nutriëntenverliezen extra te reduceren. Hierbij speelt de toenemende onzekerheid van de weersomstandigheden een belangrijke rol. Droogte en piekregens worden verwacht toe te nemen bij klimaatverandering in onze regio's (European Environment Agency, 2019).

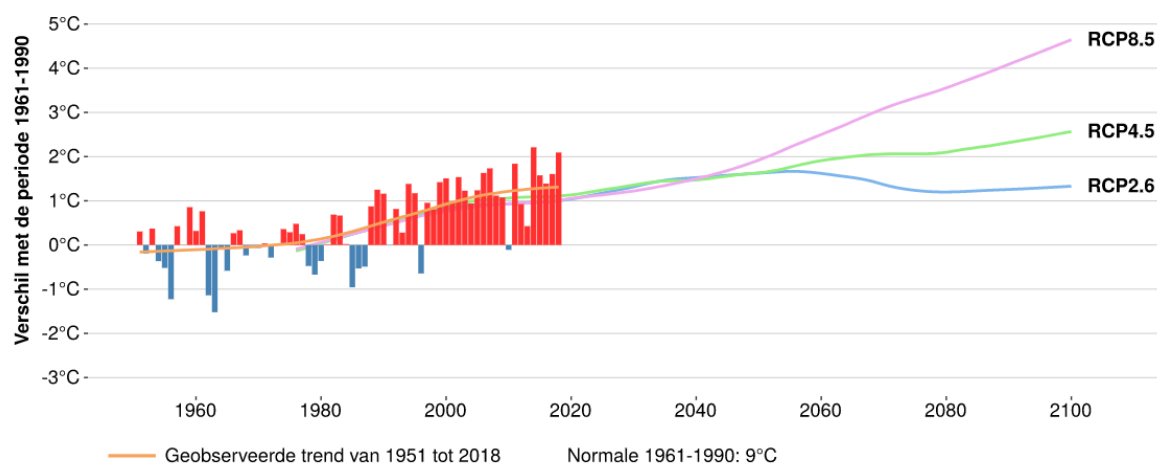
Klimaatverandering kan via een hogere temperatuur mogelijk leiden tot een verlengd groeiseizoen. Figuur 25 geeft de evolutie weer van de gemiddelde jaartemperatuur in België tot het jaar 2100 voor drie broeikasgasscenario's (RCP 2.6, RCP 4.5 en RCP 8.5) (KMI, 2020). Afhankelijk van het scenario is de temperatuur in 2100 0.7 tot 5°C hoger dan de gemiddelde referentieperiode 1961-1990. In de figuur valt ook te zien dat we momenteel al aan temperatuurstijging van meer dan 1°C zitten ten opzichte van de referentieperiode, en dat deze temperatuurstijging hoger ligt dan wat berekend werd met het meest extreme broeikasscenario van RCP 8.5.





Evolutie van de gemiddelde jaartemperatuur in België

Klimaatprojecties tot 2100 volgens 3 broeikasgasscenario's (RCP2.6, RCP4.5 en RCP8.5)
Observaties van 1951 tot 2018 (gemiddelde voor 8 historische stations)



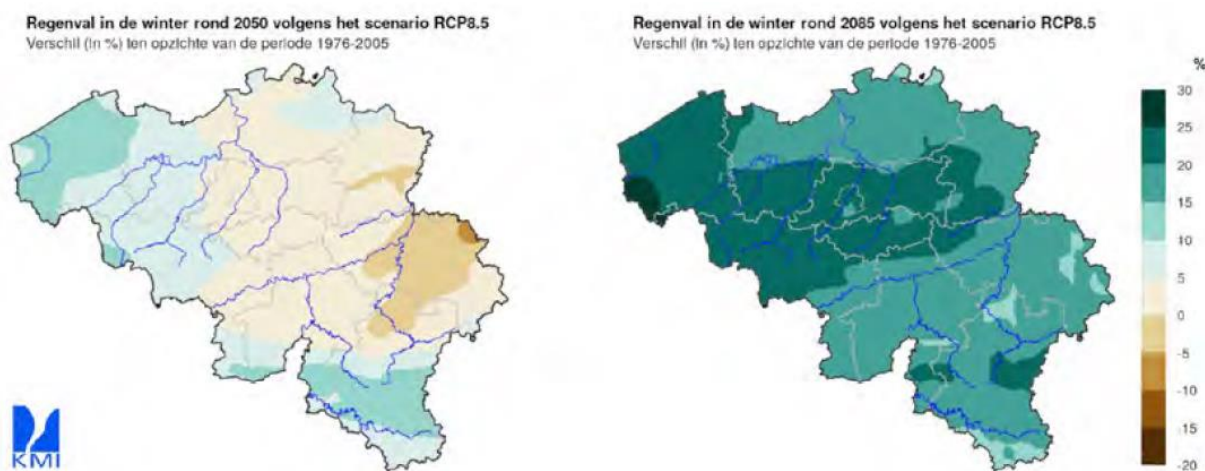
Figuur 25 Evolutie van de gemiddelde temperatuur in België (ten opzichte van de referentieperiode 1961-1990) voor de periode 1951-2100. De lijnen stemmen overeen met het verloop van de geobserveerde temperaturen in het verleden. Voor de toekomst tonen ze het verloop van de gemodelleerde temperaturen volgens verschillende broeikasgasscenario's (RCP 2.6, RCP 4.5 en RCP 8.5). De verticale rode en blauwe balken zijn de geobserveerde jaargemiddelden tot 2018 (KMI, 2020).

Hogere temperaturen kunnen voornamelijk een invloed hebben op de kieming en opkomst. Bij eenzelfde inzaaidatum kan een snellere start van het gewas in theorie zorgen voor een langer groeiseizoen en een langere ontwikkeling van het gewas. Anderzijds kunnen vanggewassen die nu eerder in augustus ingezaaid moeten worden (vb. phacelia, gele mosterd, bladrammenas; Braeckman et al., 2014)) mogelijks ook kiemen en een voldoende opkomst kennen bij een iets latere zaaidatum in september. Het exacte effect zal afhankelijk zijn van de effectieve temperatuurstijging. Bij een temperatuurstijging van 1-2°C verwachten de schrijvers van deze literatuurstudie eerder een beperkt effect, en dat vier weken later inzaaien bijvoorbeeld niet mogelijk zal zijn om eenzelfde gewasopbrengst te realiseren. Dit heeft er deels mee te maken dat de klimaatverandering geen invloed zal hebben op de daglengte en lichtintensiteit, dewelke ook twee belangrijke parameters zijn die bepalend zijn voor de gewasgroei. Een afnemende daglengte kan een negatieve rol hebben op de ontwikkeling. Bij het inzaaien van vanggewassen moet bovendien ook rekening gehouden worden met de teelttechnische kant.

Hogere temperaturen in de winter, en bijgevolg het gebrek aan voldoende vorst, kunnen ervoor zorgen dat het vanggewas niet of niet volledig doodvriest, langer kan doorgroeien of zelfs weer in zaad komt. Dit werd de laatste jaren reeds waargenomen bij bv. gele mosterd die overvloedig hergroeit in januari en biomassa aanmaakt, en dus ook pas later nutriënten ter beschikking stelt in het voorjaar. Ook grassen blijven langer doorgroeien waarbij dit gewas ook stikstof blijft opnemen. Dit in tegenstelling tot andere vanggewassen die waarschijnlijk al eerder hun maximum opname bereiken bij een langere groei en niet extra stikstof opnemen. Een langere doorgroei van het vanggewas is echter niet altijd in het voordeel van de hoofdteelt in het daaropvolgende jaar (Alonso-Ayuso et al., 2018). Bij een te lange doorgroei kan het vanggewas in het voorjaar te veel vocht opnemen uit de bodem zodat, zeker in een droog voorjaar, de gewasontwikkeling van de volgteelt in het gedrang komt. Een langere



doorgroei van het vanggewas kan dus zorgen voor extra stikstofonttrekking uit de bodem (afhankelijk van het type vanggewas) maar geeft ook competitie met het volgende hoofdgewas indien het vanggewas afgevoerd wordt. Indien het gewas ondergewerkt wordt na een langere doorgroei kan er mogelijks een risico zijn op een te late nutriëntenvrijzetting voor de volgteelt. Hogere wintertemperaturen houdt ook een ander risico in, namelijk dat het vanggewas doodvriest maar dat erna door hogere temperaturen mineralisatie reeds op gang komt. In combinatie met de voorspelde nattere winters (Figuur 26) geeft dit ook risico's op meer nitraatuitspoeling in zachte winters. Nattere winters zouden er ook toe kunnen leiden dat de bodem langer nat is in het voorjaar met een pak dood organisch materiaal dat de bodem bedekt, hetgeen niet gunstig is voor de bodemkwaliteit, en kan zorgen voor een verhoogd risico op het ontwikkelen van slakken.



Figuur 26 Gemiddelde procentuele neerslagverandering tijdens de winter voor de toekomstige periodes 2036-2065 (links) en 2071-2100 (rechts) ten opzichte van de historische periode 1976-2005. De veranderingen zijn gebaseerd op de klimaatprojecties van het ALARO-0 model met het RECP 8.5 scenario (KMI, 2020)

Een goede gewasontwikkeling vereist ook voldoende beschikbaar water. Een verwachte daling in de zomerneerslag ligt aan de basis van de verwachting van toenemende droogte. Simulaties door onderzoekers van het KMI toonden aan dat we voor het RCP 8.5 klimaatscenario meer droogteperiodes en meer ernstige droogteperiodes kunnen verwachten op het einde van deze eeuw, (KMI, 2020). Dat het landbouwkundig neerslagtekort de laatste jaren reeds hoger lag dan het algemene gemiddelde van de periode 1959-2019 werd reeds aangetoond in Figuur 14 Figuur 14 Landbouwkundig neerslagtekort in 2018 en 2019 in vergelijking met de referentieperiode van 1959-2019 en het 5^e en 95^e percentiel van deze data (KMI, databank BDB).. Een droogteperiode net na het inzaaien van vanggewassen kan zorgen voor een suboptimale opkomst en suboptimale gewasontwikkeling. De voorspelling dat er nattere winters zullen zijn in toekomst (Figuur 26) en dat hogere temperaturen in het najaar kunnen leiden tot meer mineralisatie, doen vermoeden dat het opnemen van de reststikstof in het najaar door vanggewassen enkel in belang zullen toenemen voor het tegengaan van nitraatuitspoeling bij een veranderend klimaat. Bovendien zorgen vanggewassen voor een verminderde kwetsbaarheid voor erosie bij extreme regen en is er een positieve invloed van de vanggewassen op het waterhoudend vermogen van de bodem, en dus op de bodem-waterhuishouding, waardoor de bodem beter bestand is tegen periodes van droogte en saturatie.



een basisvereiste van vanggewassen en vereist uiteraard een goede gewasontwikkeling, hetgeen door extreme weersomstandigheden bij klimaatverandering in het gedrang kan komen. Specifiek kunnen vaste oogst- en inzaaidata van vanggewassen als vereiste om ze mee op te kunnen nemen als gerealiseerd areaal beperkend zijn door het toenemend risico op extreme weersomstandigheden op het moment van inzaaien. Vaste inzaaidata kunnen contraproductief zijn voor een goede ontwikkeling van vanggewassen, maar kunnen ook beperkend zijn op rotatieniveau (zie 5.3.3.6). Meer flexibele zaaidata kunnen motiverend werken voor de landbouwer en uiteindelijk resulteren in een hoger areaal. De basisgedachte moet steeds een goede ontwikkeling van vanggewassen blijven, om een voldoende hoge N-opname te realiseren.

Uiteraard is er striktheid noodzakelijk in de zaaidata aangezien vanggewassen nog steeds tot doel hebben om stikstof op te nemen. Een aanpassing van de zaaidata kan resulteren in een gewijzigde gewasontwikkeling en dit heeft dan weer een invloed op de stikstofopname (Tabel 14).

Tabel 14 Stikstofopname door groenbemesters uitgezaaid in het najaar (in kg N/ha) (Hermans et al., 2010).

	Ontwikkeling groenbemester		
	slecht	normaal	goed
Bladrijke groenbemesters	30 – 50	50 – 70	70 – 90
Grasachtige groenbemesters	20 – 40	40 – 60	60 – 80
Vlinderbloemige groenbemesters	30 – 50	50 – 75	75 – 100

Een optie ter flexibiliteit van inzaaidata is om jaarlijks het weer te evalueren rond de uiterste inzaaidatum. Indien bijvoorbeeld uit een 14-daagse weersvoorspelling blijkt dat tijdens de eerste week of de tweede week na de uiterste inzaaidatum extreme weerscondities voorspeld worden, dan kan men verwachten dat er onvoldoende gewasontwikkeling zal zijn en kan er geopteerd worden om voor dat jaar de uiterste inzaaidatum te verlaten. Hierbij moet uiteraard de afweging gemaakt worden tussen enerzijds het risico op een lagere stikstofopname bij een tijdige inzaai (vóór de uiterste zaaidatum) in ongunstige omstandigheden, met een verminderde gewasgroei als gevolg, en anderzijds een verminderde stikstofopname door het later inzaaien van het gewas (kortere groeiperiode). In 2020 was 15 september (de uiterste inzaaidatum voor vanggewassen) de warmste dag sinds de start van de metingen, met metingen tot 34,4 °C in Ukkel (De Standaard, 2020). Verwacht wordt dat in de toekomst ook hittegolven kunnen voorkomen in september. Deze extreme omstandigheden kunnen aanzienlijke implicaties hebben op de kieming en groei van vanggewassen, met nefaste gevolgen voor stikstofopname indien er een onvoldoende gewasontwikkeling is. Een mogelijke optie is dus om de uiterste zaaidata aan te houden, maar jaarlijks te evalueren, op basis van de weersomstandigheden, of deze datum opgeschoven zou moeten worden. Anderzijds moet men niet tot op de laatste moment wachten om vanggewassen in te zaaien. Wanneer de hoofdteelt reeds geoogst is kan men bij gunstige omstandigheden (voldoende bodemvocht en geen directe vooruitzichten op droogte) reeds het vanggewas vervroegd inzaaien.

Om het effect van meer extreme weersomstandigheden op de opkomst en de ontwikkeling van vanggewassen na te gaan, m.a.w. is de grens van 15/9 voldoende in de toekomst of moet dit vervroegd of verlaat worden, gebeuren idealiter proeven bij weersomstandigheden zoals voorspeld worden voor de toekomst. Uiteraard is dit praktisch niet haalbaar omdat deze weerfactoren niet gecontroleerd kunnen worden. Een uitgebreide modellering, die buiten deze literatuurstudie valt, zou hier een antwoord kunnen op bieden om de impact van



veranderende weersomstandigheden op de ontwikkeling en N-opname van vanggewassen te kunnen inschatten. Bovendien blijft een correcte bemesting de basis, dit is (zie 5.1 – Optimaliseren van N-bemestingspraktijken), een eerste belangrijke stap om nutriëntenverliezen tegen te gaan. Verder moeten goede praktijken er ook uit bestaan dat bij een vroege oogst van de hoofdteelt een vanggewas reeds tijdig ingezaaid wordt indien er gunstige omstandigheden zijn.

5.3.3.2 Verplicht afvoeren van stikstofrijke oogstresten

Het verplicht afvoeren van stikstofrijke oogstresten is een optie om stikstofverliezen te vermijden, maar kan wel nadelig zijn voor de opbouw van de bodemkwaliteit indien deze oogstresten veel koolstof bevatten. Een compostering van oogstresten om het nadien terug te gebruiken als compost is hier wel een mogelijkheid voor koolstofrijke oogstresten. Belangrijk bij deze compostering is om te vermijden dat N-rijke sappen ontsnappen. Het afvoeren van oogstresten wordt in de praktijk echter nog niet veel gedaan door praktische belemmeringen (zie 17.5 - Innovaties:Robuuster teeltsysteem).

5.3.3.3 Mengsel van vanggewassen

Vanggewassen vriezen af tijdens de winter in Vlaanderen. Indien ze niet op deze manier kapot gaan kunnen ze bespoten worden ter vernietiging. Klimaatverandering leidt tot een algemene temperatuurstijging en dus ook tot hogere winterse temperaturen (Figuur 25). Hierdoor is het mogelijk dat vanggewassen niet afsterven en verder groeien gedurende de winter, waardoor ook een stikstofvrijzetting pas later op het seizoen zal plaatsvinden. Hogere winterse temperaturen vergroten ook de kans dat een koudeperiode in de winter gevolgd wordt door een warmere periode. Doordat er ook nattere winters voorspeld worden (Figuur 26), is het mogelijk dat dit gepaard gaat met een natte bodem hetgeen een risico geeft op nutriëntenverliezen ten gevolge van uitspoeling of denitrificatie. Een mengsel van vorst- en niet-vorstbestendige vanggewassen kan hieraan tegemoetkomen. Op basis van de groei en N-opname lijkt een combinatie van bladrijke en grasachtige groenbedekker een combinatie te zijn. Deze combinatie van de snelle N-opname door eerder vorstgevoelige, bladrijke groenbedekkers en een tragere N-opname door niet-vorstgevoelige grasachtige groenbedekkers (Herman et al., 2010; Braeckman et al., 2014), kan in theorie ertoe leiden dat bij doodvriezen van de bladrijke groenbedekkers en indien er lekken zijn, de vrijgekomen N terug opgenomen wordt door de grassen.

Theoretisch gezien kunnen alle zaden van vanggewassen als mengsel ingezaaid worden, in de praktijk zijn er echter een aantal aandachtspunten om rekening mee te houden (Cadillon, 2018; Inagro, 2016).

- Combineer planten met verschillende en complementaire ontwikkelingsstrategieën.
- Combineer planten met een verschillende morfologie.
- Gebruik species met een verschillend wortelsysteem.
- Gebruik species die snel bloeien in de herfst zodat deze voorzien in pollen en nectar voor insecten in een periode dat deze bronnen er nauwelijks zijn.
- Pas de zaaidensiteit voor elk specie aan zodat er geen overaanwezigheid is van een plant of excessieve competitie. Hou hierbij rekening met de eigenschappen van de gewassen. De zaaidichtheid van een snelgroeiende en sterk bedekkende soort wordt verhoudingsgewijs tot de andere component best verlaagd of omgekeerd, voorzie de minder vlot ontwikkelende soort aan een ruimere zaaidichtheid in het mengsel.



de vanggewassen pas later ingezaaid kunnen worden en dus minder stikstof opnemen (BDB & U.Gent, 2006). In wat volgt worden mogelijkheden tot het verder beperken van nutriëntenverliezen met behulp van vanggewassen besproken.

Vollegrondssierteelt

In de vollegrondssierteelt bewijzen vanggewassen ook hun nut, ook al aarzelen heel wat telers om ze in te zaaien omdat ze liever een onkruidbestrijding tot eind oktober/november willen uitvoeren. Bracke (2020) deed proeven gedurende drie opeenvolgende jaar op laanbomen (*Tilia cordata*) die al dan niet met stalmest bemest werden en zonder inzaai van vanggewas, met gele mosterd als vanggewas, of met winterrogge als vanggewas. De vanggewassen werden ingezaaid op 21 september in 2016, op 25 september in 2017 en op 5 september in 2018. Resultaten van de berekende nitraatuitspoeling op basis van de bodemnitraatbalans worden weergegeven in Tabel 15. Hieruit bleek dat bij het gebruik van vanggewassen er een daling in nitraatuitspoeling van 24-34% werd waargenomen voor de behandeling zonder stalmest en een daling van 39-42% voor de behandeling met stalmest.

Year	1	2	3	4	5	6
From April to March	NF, 0	NF, YM	NF, WR	F, 0	F, YM	F, WR
2016	137.1	94.8	81.2	191.4	116.9	74.1
2017	159.0	107.1	134.1	235.5	162.2	157.2
2018	95.8	55.2	81.7	151.1	71.0	103.0
Average	130.6	85.7	99.0	192.7	116.7	111.4
Total	391.9	257.1	296.9	578.0	350.1	334.2

Tabel 15 Nitraatuitspoeling (kg NO₃-N/ha) berekend op basis van de bodemnitraatbalans. NF = geen stalmest toegevoegd sinds 2016; F: stalmest bemesting in 2016, 0= geen vanggewassen , YM = gele mosterd, WR= winterrogge

Aardappelen

Aardappelen vereisen een relatief hoge stikstofbemesting en nemen nagenoeg geen stikstof op uit de bodemlagen dieper dan 60 cm. Het is een teelt waarvoor typisch na de oogst hoge nitraatresiduwaarden teruggevonden worden in de bodem en waar de inzaai van vanggewassen dus noodzakelijk is.

Aangezien graangewassen diepwortelend zijn en hierdoor de nog aanwezige stikstof in de bodemlagen 30-60 cm en 60-90 cm kunnen opnemen tijdens het voorjaar, kan de stikstofbemesting theoretisch gezien op deze percelen verlaagd worden. Het lopende demonstratieproject “Aardappelen telen binnen de restricties van MAP 6” gaat hier dieper op in en gaat na welke vanggewassen het meeste stikstof opnemen na een late aardappelteelt en dus het meest efficiënt de uitspoeling beperken. De objecten aangelegd in 2020-2021 worden weergegeven in Tabel 16. Dit project zal bijkomende informatie leveren over de mogelijkheden van wintergraangewassen om N op te nemen na een teelt van aardappelen. Ook hier geldt weer dat een gepaste bemestingsstrategie tijdens de hoofdteelt van aardappelen op zich al bijdraagt tot het verminderen van het risico op nutriëntenverliezen.



de weersomstandigheden en de gewasontwikkeling dewelke sterk afhangt van het tijdstip van onderzaai en het type vanggewas.

Op zes veldproeven gedurende 2015-2018 was de waarde van het nitraatresidu gemiddeld drie keer lager bij een gelijktijdige zaai van het vanggewas en de maïs dan bij een zaai van het vanggewas na de maïs oogst (Van de Ven, 2019). Bij een gelijktijdige zaai of bij onderzaai van het vanggewas in maïs kan het vanggewas echter ook in competitie treden met de maïs, met verlaagde maïsoopbrengsten als gevolg. Zo werden er in praktijkproeven bij een gelijktijdige zaai een maïsoopbrengst waargenomen die slechts 75% was in vergelijking met percelen waar het vanggewas pas na de oogst gezaaid werd (Van de Ven, 2019). Het is dus noodzakelijk om aandacht te besteden aan de gewasconcurrentie. Het risico op productieverliezen is afhankelijk van de keuze van het vanggewas. Indien bijvoorbeeld Italiaans raaigras tegelijkertijd met de maïs ingezaaid wordt zal het al snel de maïs overwoekeren door de snelle ontwikkeling van deze grassoort. Rietzwenkgras is meer geschikt voor een gelijktijdige zaai omdat het trager ontwikkelt. Bij een onderzaai tijdens de groei van de maïs (bv. 4-6-bladstadium) zijn de opbrengstverliezen kleiner, maar, is er een grotere invloed van de weersomstandigheden op de ontwikkeling van het vanggewas. Een droge periode kort voor of na de zaai vertraagt de kieming en hoe later op het jaar hoe groter het risico op droogte. In proeven in 2015 waren er bij gelijktijdige zaai van maïs met rietzwenkgras weinig opkomstproblemen. Bij de onderzaai van het rietzwenkgras ongeveer 2 weken na de zaai van de maïs was de opkomst van het gras quasi nihil omwille van de droogte. In 2015 begon het ondergezaaide gras pas na de regen in juli te kiemen, met een te ijle en te dunne stand tot gevolg (Geudens et al., 2018). Ook mengsels zijn een optie: Italiaans raaigras zal voornamelijk de bovenste laag intensief doorwortelen en hieruit stikstof opnemen. Rogge daarentegen ontwikkelt zich beter bij minder gunstige omstandigheden en wortelt dieper, waardoor het beter bestand is tegen droogte en ook stikstof kan opnemen uit de onderste lagen. Het mengen van beide gewassen zou voor een betere doorworteling van de verschillende bodemlagen kunnen zorgen waardoor er tot op grotere diepten stikstof wordt opgenomen. Er moet opgemerkt worden dat de laatste jaren door de droge zomers hakselmaïs in veel streken al voor 1 oktober geoogst werd. In dit geval kan men zich de vraag stellen of onderzaai nog steeds een even groot voordeel biedt als inzaai van het vanggewas na oogst, indien dit dus vroeger op het seizoen kan gebeuren. Een nadeel van onderzaai is namelijk dat het gras het volgende jaar niet gemaaid kan worden. Bij inzaai van het gras na de maïs kan de bodem mooi effen aangelegd worden en zijn ook de maïsstoppels ondergewerkt, zodat er in het voorjaar wel gemaaid kan worden.

Een overzicht van parameters waar aandacht aan besteed moet worden bij de inzaai van vanggewassen bij maïs, gelijktijdig en in onderzaai wordt gegeven in Figuur 27.





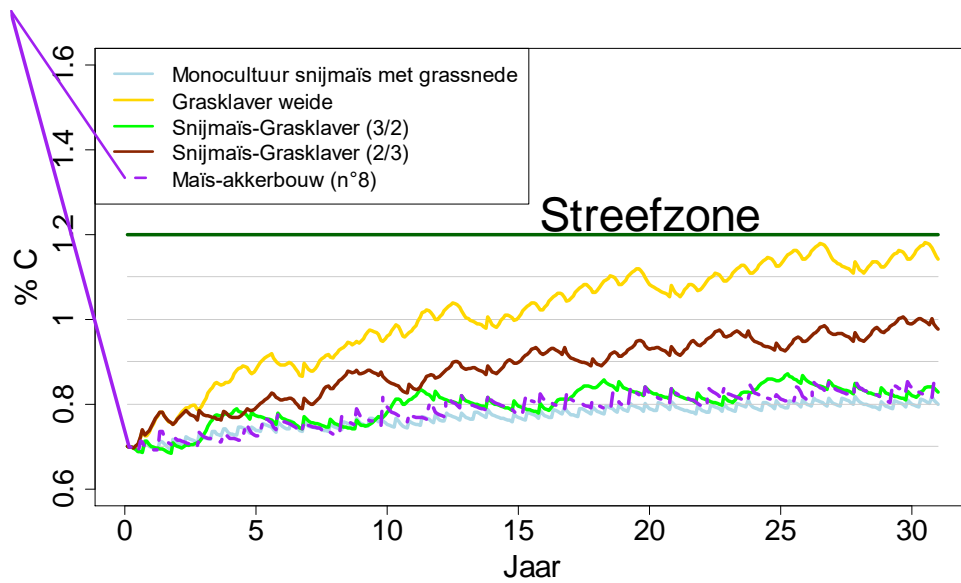
**GROENBEDEKKERS BIJ MAÏSTEELT
SAMEN MET DE MAÏ ZAAIEN OF TOCH ONDERZAAI?**



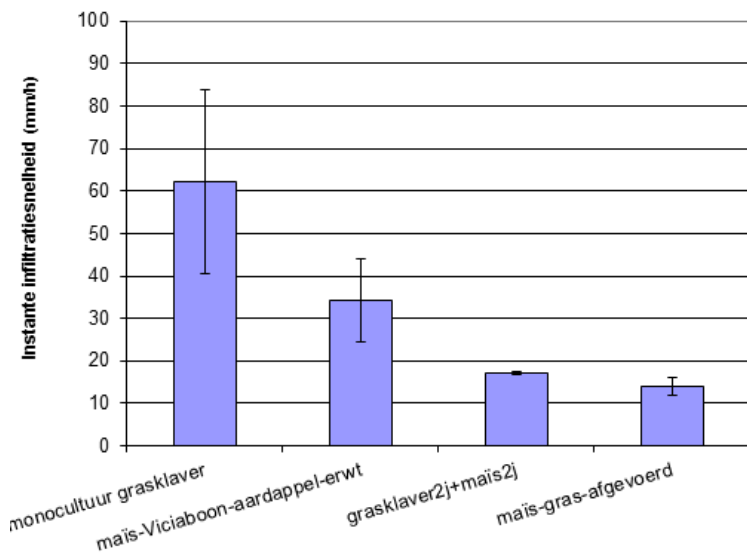
Figuur 27 Overzicht van parameters waar aandacht aan besteed moet worden bij de inzaai van vanggewassen bij een inzaai met maïs en bij onderzaai bij maïs (Van de Ven, 2019)

Op rotatieniveau wordt op veel maïspcelen een monocultuur maïs aangehouden. Dit is in alle opzichten ongunstig voor de bodemkwaliteit en leidt tot een daling in organische-stofgehalte hetgeen dan weer tot productieverliezen kan leiden. Vruchtwisseling is onder andere positief voor de biologische, chemische en fysische vruchtbaarheid van de bodem, voor een betere waterinfiltratie, voor een betere weerbaarheid tegen grondgebonden ziekten en plagen en tegen gewasstress, en het heeft bovendien ook een positieve invloed op het milieu en onkruidflora. In het demonstratieproject ‘Richtlijnen voor het doorbreken van de monocultuur maïs’ werd het organische-stofgehalte geanalyseerd en gesimuleerd voor verschillende vruchtwisselingen voor een proef te Bottelare (Figuur 28). Hieruit blijkt dat vruchtwisseling op termijn leidt tot een hogere organische-stofgehalte in de bodem. Als gevolg hiervan is ook de infiltratiesnelheid van water beter bij vruchtwisseling dan bij monocultuur maïs (Figuur 29). Een vruchtwisseling zorgt dus voor een betere doorlaatbaarheid hetgeen tot minder erosie leidt. Een monocultuur heeft ook nadelige gevolgen voor de productie (Figuur 30) in vergelijking met een vruchtwisseling. De gevolgen zijn het grootst voor de behandeling met het minste stikstof. Uit de resultaten weergegeven in Figuur 30 volgt dat de stikstofbemesting in een vruchtwisseling lager kan zijn dan in een monocultuur maïs, zonder de opbrengsten in het gedrang te brengen. Bovendien is het verband tussen de weersomstandigheden (temperatuur, neerslag) en de maïsopbrengst in een ruime vruchtwisseling veel kleiner dan bij monocultuur. De opbrengst varieert dus minder over de jaren heen en er is een grotere oogstzekerheid. Dit is van het belang in het kader van klimaatverandering om gewassen weerbaarder te maken tegen de meer variërende en extremere weersomstandigheden. De teeltcombinatie maïs voorafgegaan door een snede gras vergroot het risico op een gereduceerde opbrengst van maïs na een snede gras door droogte-effecten bij een veranderend klimaat (zie 5.1.3.5).



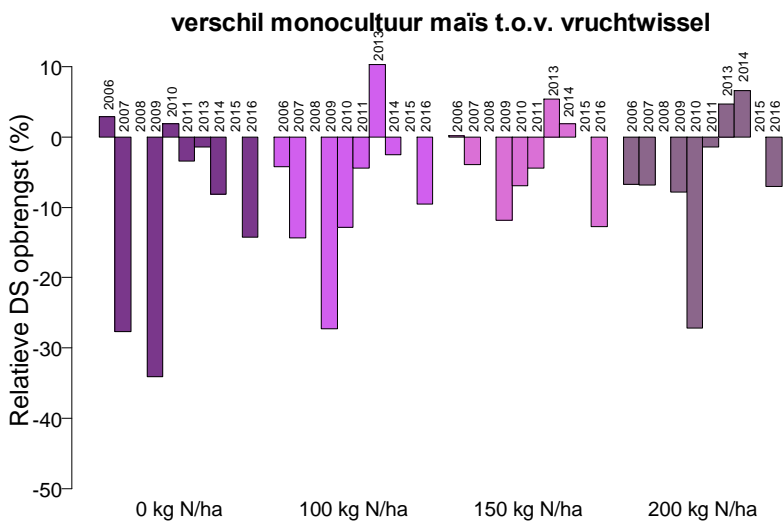


Figuur 28 Organische koolstofgehalte in functie van de tijd voor verschillende vruchtwisselingsscenario's: monocultuur snijmaïs gecombineerd met een snede Italiaans raaigras (lichtblauw), grasklaverweide (geel), twee jaar maïs afgewisseld met twee jaar grasklaver (groen), maïs afgewisseld met grasklaver maar meerdere jaren grasklaver (bruin), maïs afgewisseld met verschillende akkerbouwgewassen (paars) (Landschoot *et al.*, 2018).



Figuur 29 Infiltratiesnelheid voor verschillende vruchtwisselingen (Landschoot *et al.*, 2018).





Figuur 30 Droge stofopbrengst monocultuur snijmaïs ten opzichte van vruchtwissel voor verschillende N-bemestingstrappen (Landschoot et al., 2018).

Groenten

Veel groenten zijn typisch teelten met hoge nitraatresidu's door hun hoge stikstof-vraag tot aan de oogst, korte groeicycli en ondiepe beworteling. Door de late oogst van sommige groenten (bv. prei) is het bovendien niet altijd mogelijk/nuttig om nog een vanggewas in te zaaien. Echter, indien vanggewassen kunnen overwinteren bewijzen ze nog bijkomend nut door in het vroege voorjaar N in het perceel te houden voor de eerste groententeelt in plaats van uit te spoelen (Agneessens et al., 2014).

Proeven met onderzaai van vanggewassen (Italiaans raaigras, winterrogge en phacelia) bij bloemkool vier weken na het planten van de bloemkool werden uitgevoerd op twee locaties (Agneessens et al., 2014). Het planten van de bloemkool gebeurde op 13/8 op het proefveld in Sint-Katelijne-Waver (zandbodem) en op 30/7 te Beitem (zandleem). Het vanggewas werd voor de locaties respectievelijk ingezaaid op 16/9 en op 21/8. De oogst van de bloemkool vond plaats op 30/11 in Sint-Katelijne-Waver en tussen 5-12/11 in Beitem. De vanggewassen vertoonden een goede opkomst tot het moment waarop de bloemkool de vanggewassen begon te overschaduwen. Erna was er een terugval op te merken voor rogge en phacelia. De vanggewassen nemen de stikstof op in de rijen tussen de bloemkool, die anders onbenut blijft (Figuur 31). Er was geen invloed op de opbrengst van de bloemkool (Agneessens et al., 2014). Het minerale-stikstofgehalte tussen de plantrijen was wel lager bij de onderzaai van een vanggewas. Het overschot op de stikstofbalans was het hoogst zonder onderzaai, gevolgd door onderzaai van phacelia, rogge en Italiaans raaigras. Onderzaai van Italiaans raaigras deed het overschot op de stikstofbalans met 90 kg N/ha dalen (Tabel 18). Er was dus een lager stikstofoverschot. Een nadeel is dat er handmatig geschoffeld moet worden om onkruid te bestrijden. In de studie van Agneessens et al. (2014) was er niet op elk proefveld onkruid aanwezig. De onkruidgevoeligheid van een perceel is dus van belang. Deze eerste resultaten van de onderzaai van een vanggewas bij groenten zijn positief, maar bijkomend onderzoek is noodzakelijk. Bovendien moet er rekening mee gehouden worden dat er competitie kan optreden tussen het vanggewas en de groente voor licht, nutriënten en water. Het draagvlak om dit toe te passen is eerder beperkt bij telers uit bezorgdheid voor een negatieve invloed op de hoofdteelt, de onkruiddruk en de onzekere



opkomst van de onderzaai. De competitie tussen nutriënten zal bovendien toenemen bij een lagere nutriëntenconcentratie in de bodem. Gezien de hoge positieve stikstofbalans op het einde van het teeltseizoen moet men de vraag stellen hoe men het meeste reductie in nitraatresidu kan behalen. Is dit door in te zetten op een onderzaai, of kan men nog betere resultaten halen door te kijken naar de bemesting. Ook hier geldt dat men in eerste instantie moet inzetten op een optimale N-benutting. De resultaten zullen variëren afhankelijk van in welk seizoen de bloemkool geteeld wordt, en of de teelt nog gevolgd kan worden door een vanggewas.



Figuur 31 Onderzaai van Italiaans raaigras (A) en rogge (B) ingezaaid vier weken na het planten van bloemkool te Sint-Katelijne-Waver (Agneessens et al., 2014).

Tabel 18 Gemiddelde N-balans (kg N/ha) voor de onderzaai van vanggewassen bij bloemkool op twee locaties. De standaardafwijking wordt tussen haakjes weergegeven, n=4 (Agneessens et al., 2014).

Onderzaai	Sint-Katelijne-Waver	Beitem
Geen	+ 202 (63)	+ 182 (47)
Italiaans raaigras	+ 113 (60)	+ 86 (30)
Winterrogge	+ 194 (59)	+ 92 (45)
Phacelia	-	+ 131 (21)

Agneessens et al. (2014) bestudeerden ook het potentieel van alternatieve gewasrotaties (combinatie groenten met niet-groenten) en vanggewassen bij groenten. Dit werd geëvalueerd op basis van de stikstofefficiëntie over de volledige duur van de rotatie om snelle nutriëntenvrijstelling uit oogstresten te vermijden. Oogstresten zoals koolbladeren kunnen namelijk nog tijdens de winter afbreken. De combinatie van groenteteelt met vanggewassen werd vergeleken met een klassieke dubbele teelt groenten. Hierbij werd gekozen voor twee vanggewassen, Italiaans raaigras en rogge, en twee inzaaitijdstippen, half september en half oktober. In het voorjaar werd het vanggewas ingewerkt en gevolgd door eenzelfde combinatie groente – vanggewas. Het EU-rotate model werd gebruikt om de grootte van de uitspoeling en gasvormige stikstofverliezen te bepalen. Daaruit bleek dat inzaai van winterrogge of Italiaans raaigras op 1/9 aanzienlijk minder gasvormige verliezen en minder uitspoeling geeft dan bij een late teelt bloemkool (Tabel 19). Deze trend werd waargenomen zowel in 2012 als in 2013. In vergelijking met de bloemkool-braak balans vertoonden de meeste scenario's een negatieve stikstofbalans. Dit duidt dus op een lager stikstofoverschot hetgeen positief is voor het milieu. De balans was



meer negatief indien er geen tweede teelt bloemkool was en naarmate het veggewas vroeger ingezaaid werd. Een late bloemkoolteelt brengt extra stikstofbemesting met zich mee en de mineralisatie van de oogstresten brengt extra stikstof in de bodem. Bij een winter met lage temperaturen zal deze mineralisatie pas tijdens het voorjaar gebeuren, bij een zachtere winter kan al een aanzienlijk deel van de oogstresten mineraliseren waardoor het risico op stikstofverliezen in de winter groter wordt, Zeker gezien er nattere winters verwacht worden. In het kader van de klimaatverandering worden temperatuurstijgingen verwacht waardoor er in het algemeen zachtere winters zullen zijn. Een late groenteteelt met N-rijke oogstresten verhoogt hier dan het risico op uitspoeling. Ook de zaaidatum van de veggewassen bleek hier weer cruciaal. De veggewassen gezaaid na september slaagden er niet meer in zich te ontwikkelen en hun stikstofopname tijdens de winterperiode was verwaarloosbaar.

Tabel 19 Gesimuleerde cumulatieve uitspoeling en gasvormige verliezen (kg N/ha) gedurende de periode oktober 2012 tot en met maart 2013 voor het proefveld te Eikevliet (cc=veggewas, tussen = tussenteelt). De veggewassen worden in het voorjaar volledig ingewerkt. Van de tussenteelt wordt er echter een snede geoogst vóór het inwerken van de overblijvende biomassa (Agneessens et al., 2014).

oktober 2012-maart 2013	Uitspoeling	Gasvormig	Totaal N-verlies
Rotatie	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹
Blk - braak	90	52	143
Blk - it r (cc) vroeg	63	8	71
Blk - blk - it r (cc) laat	141	55	196
Blk - it r (tussen) vroeg	71	8	79
Blk - blk - it r (tussen) laat	141	55	196
Blk - rogge (cc) vroeg	83	10	93
Blk - blk - rogge (cc) laat	92	53	144
Blk - blk - braak	90	52	143

5.3.3.5 Rotatiegerichte systemen

In het kader van klimaatverandering kan het interessant zijn om naar een rotatiegericht systeem te kijken omdat een goede teeltrotatie ook inzet op een goede bodemkwaliteit. Door de huidige klimaatverandering zijn er reeds vele factoren zoals temperatuur en neerslag die niet te controleren zijn die een aanzienlijke invloed hebben op de gewasproductie. Inzetten op factoren waar we wel in enige mate invloed op hebben, om zo de meest gunstige omstandigheden voor gewassen te creëren en geen onnodige stressfactoren te hebben, is dus voordelig voor de gewasontwikkeling. Veggewassen en teeltrotaties spelen hier dan een belangrijke rol omdat ze niet enkel inzetten op de reductie van stikstofverliezen maar ook op de bodemkwaliteit. Meer diversiteit in gewasrotaties verhoogt ook de stikstofretentie-capaciteit van landbouwbodems (Norton & Ouyang, 2019). Veggewassen dragen bovendien bij tot het behoud van het organische-stofgehalte en de bodemstructuur, ze bestrijden erosie, ze remmen onkruidontwikkeling af, ze zorgen voor een N-vrijstelling voor de volgteelt, ze bestrijden ziekten en plagen (bv. kruisbloemige groenbemesters produceren zwavelhoudende verbindingen (glucosinolaten) die een aaltjesreducerende en antifungale werking hebben) en zorgen voor een beter waterhoudend vermogen (Geudens et al., 2018; Hermans et al., 2010). Deze positieve effecten kunnen ervoor zorgen dat de gewasgroei minder gevoelig is voor veranderende klimaatomstandigheden. Innovaties die invloed hebben op de bodemkwaliteit worden besproken in het thema “Bodemkwaliteit”.



tragere N-opname door niet-vorstgevoelige grasachtige groenbedekkers. Ook een mengsel van grasachtige groenbedekkers (niet-vorstgevoelig) komt in aanmerking.

- Mogelijkheden tot het verder beperken van nutriëntenverliezen met behulp van vanggewassen (zie 5.3.3.4).
 - Bij de vollegrondssierteelt kan men vanggewassen inzaaien in september om nitraatuitspoeling tegen te gaan.
 - Het lopende demonstratieproject “Aardappelen telen binnen de restricties van MAP 6” onderzoekt de mogelijkheden van wintergraangewassen om N op te nemen na een teelt van aardappelen.
 - Bij maïs kan men opteren voor de onderzaai of gelijkzaai van een vanggewas. De keuze tussen gelijkzaai en onderzaai is erg afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen die de verdere ontwikkeling en de kans op succes verder bepalen. Een nadeel van onderzaai is dat het gras het volgende jaar niet gemaaid kan worden omwille van de maïsstopfels.
 - Het afstappen van de monocultuur maïs en het gebruik van andere vruchtwisselingschema’s kan een positieve invloed hebben op de bodemkwaliteit hetgeen bijdraagt aan gewassen meer weerbaar te maken tegen variërende en extreme weersomstandigheden, hetgeen verwacht wordt bij klimaatverandering.
 - Bij groenten kan gekeken worden naar de onderzaai van een vanggewas tijdens de teelt. Het draagvlak om dit toe te passen is eerder beperkt bij telers uit bezorgdheid voor een negatieve invloed op de hoofdteelt, de onkruiddruk en de onzekere opkomst van de onderzaai. Alternatieve gewasrotaties zoals de combinatie van groenten met niet-groenten kunnen de stikstofefficiëntie op de volledige duur van de rotatie verhogen.
- In te zetten op rotatiegerichte systemen waardoor de algemene bodemkwaliteit verbetert, hetgeen de weerbaarheid van gewassen en de bodem tegen klimaatverandering verhoogt (zie 5.3.3.5).



Klimaatrobuustheid van de bepaling in het kader van nutriëntenbeheersing: gevolgen van veranderende weersomstandigheden op de effectiviteit van de bepaling m.b.t. nutriëntenemissies

Niet klimaatrobuust

Enigszins klimaatrobuust:

Klimaatrobuust, maar: Er wordt verwacht dat het belang van vanggewassen voor het tegengaan van nitraatuitspoeling bij een veranderend klimaat toeneemt. Hogere temperaturen in het najaar kunnen namelijk tot meer mineralisatie en bijgevolg tot een hoger risico op nitraatuitspoeling leiden. Droogte bij inzaai kan leiden tot een onvoldoende gewasopkomst. Hogere temperaturen kunnen leiden tot een langere doorgroei van het gewas, hetgeen eventueel gepaard kan gaan met een extra stikstofopname afhankelijk van het type gewas. Hogere temperaturen in de winter kunnen er dan weer toe leiden dat het vanggewas niet of niet volledig doodvriest, langer kan doorgroeien of zelfs weer in zaad komt. Hierdoor wordt gedurende een langere periode vocht opgenomen hetgeen nadelig kan zijn voor het volggewas op droogtegevoelige percelen en bij droogte in het voorjaar, en er zal ook een latere N-vrijstelling zijn voor het volggewas. Hogere temperaturen verhogen de kans op het voorkomen van een vorstperiode gevolgd door een warmere periode waar mineralisatie van het doodgevroren gewas kan plaatsvinden met extra nutriëntenverliezen als gevolg.

Klimaatrobuust:

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het “klimaatrobuuster” maken van de bepaling; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

mogelijkheden met beperkt potentieel

- Het gebruik van een mengsel van vanggewassen om N-mineralisatie van afgestorven vanggewassen op te vangen in de late winter (zie 5.3.3.4). Dit werd momenteel echter nog niet uitgebreid beproefd op Vlaamse bodem.
- Ook in verschillende andere teelten zijn er nog mogelijkheden tot het verder beperken van nutriëntenverliezen (niet noodzakelijk klimaatgerelateerd) met behulp van vanggewassen (zie 5.3.3.5):
- onderzaai van een vanggewas tijdens de groententeelt

mogelijkheden met veel potentieel

- Flexibiliteit aanhouden in de zaaidata van vanggewassen (zie 5.3.3.1). Een goede N-opname blijft een basisvereiste van vanggewassen en vereist uiteraard een goede gewasontwikkeling, hetgeen door extreme weersomstandigheden bij klimaatverandering in het gedrang kan komen.(zie 5.3.3.1).
- Ook in verschillende andere teelten zijn er nog mogelijkheden tot het verder beperken van nutriëntenverliezen (niet noodzakelijk klimaatgerelateerd) met behulp van vanggewassen (zie 5.3.3.5):
-het inzaaien van een vanggewas bij de vollegrondssierteelt



-Het lopende demonstratieproject "Aardappelen telen binnen de restricties van MAP 6" onderzoekt de mogelijkheden van wintergraangewassen om N op te nemen na een teelt van aardappelen.

-onderzaai of gelijkzaai van een vanggewas bij maïsteelt

-het afstappen van de monocultuur maïs

-Alternatieve gewasrotaties zoals de combinatie van groenten met niet-groenten om de stikstofefficiëntie op de volledige duur van de rotatie te verhogen.

- Inzetten op rotatiegerichte systemen waardoor de algemene bodemkwaliteit verbetert, hetgeen de weerbaarheid van gewassen en de bodem tegen klimaatverandering verhoogt

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Inschatting van de bijdrage (positief of negatief) van de bepaling tot klimaatmitigatie

veel positief

matig positief

Het toepassen van vanggewassen draagt bij aan klimaatmitigatie door het reduceren van N₂O-emissies en bij te dragen aan bodem C-sequestratie

matig negatief

veel negatief

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het verbeteren van de bijdrage tot klimaatmitigatie; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

mogelijkheden met beperkt potentieel

mogelijkheden met veel potentieel

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven



5.4 Optimalisatie van mestopslag en stallen

5.4.1 Inleiding

In de groepsdiscussie met de experts werd gesteld dat de efficiëntie van de huidige maatregelen om nutriëntenverliezen te vermijden betreffende het thema 'mest' weinig onderhevig zijn aan klimaatverandering. Er zijn wel nog steeds optimalisaties van de huidige technieken mogelijk, alsook een betere implementatie van de huidige technieken in de praktijk. Het klimaat kan hiervoor als hefboom gebruikt worden. Het gaat hier dan voornamelijk over de optimalisatie van de mestopslag en een betere uitwerking van de technische vereisten van staltypes. Mestopslag moet hier opgevat worden in de ruime zin: zowel mestopslag op de kopakker, maar evengoed in de mestput in de stal en op de mesthoop op het bedrijf of in meer gesloten systemen van mestopslag zoals een mestzak. Een betere uitwerking van de technische vereisten van staltypes omvat o.a. de optimalisatie van de huidige systemen (bijvoorbeeld monitoring om lekken te detecteren), het verbeteren van het stalklimaat, de reductie van de mestoppervlakte en de emissietijd, enz. Aanpassingen zullen voornamelijk een invloed hebben op nutriëntenverliezen via een reductie in de luchtmissies van ammoniak, lachgas en methaan en hebben dus een potentieel in klimaatmitigatie.

Dit deel zal niet dieper ingaan op nutriëntenverliezen ten gevolge van de aanwendingswijze van meststoffen. Uit de vragenlijst en de paneldiscussies bleek dat er weinig negatieve invloed van de klimaatverandering verwacht wordt op de effectiviteit van deze maatregel om nutriëntenverliezen tegen te gaan, alsook op de broeikasgasemissies. Een bijsturing van de maatregel zou een eventuele toename in nutriëntenverliezen wel kunnen inperken, maar dit is dan niet noodzakelijk klimaatgerelateerd.

5.4.1.1 Wettelijke maatregelen omtrent mestopslag

De mestopslagcapaciteit voor de opslag van dierlijke mest is vastgelegd. Zo moet er voor dieren die steeds op stal staan een opslagcapaciteit van ten minste 9 maanden voorzien zijn, voor dieren met buitenloop is dit een opslagcapaciteit van ten minste 6 maanden en voor stalmest is dit een capaciteit van minstens 3 maanden. Indien de landbouwer echter kan aantonen dat de hoeveelheid mest boven de werkelijke opslagcapaciteit verwijderd kan worden op een voor het leefmilieu onschadelijke wijze, dan geldt deze verplichting niet. Deze verplichting geldt ook niet voor pluimvee waarvan de mest in de stal blijft en na elke ronde afgevoerd wordt. De minimale opslagcapaciteit uitgedrukt in volume-eenheden naargelang diersoort en staltype kan men terugvinden in Vlare II Bijlage 5.28. Deze bijlage beschrijft o.a. ook bouwvoorschriften voor de opslag van dierlijke mest in mestlo's zoals bijvoorbeeld vereisten voor de grondplaat, de opstaande muur, de afwerking, leidingen en de levensduur van de constructie. Ook richtlijnen voor het bouwen van foliebassins en mestzakken zijn gegeven, alsook aanbevelingen voor het afdekken van opslagplaatsen met mengmest.

MAP 6 stelt dat stalmest, champost en traagwerkende meststoffen tijdelijk mogen worden opgeslagen op de kopakker. Bij opslag gedurende de periode van 1 november tot 15 januari is het verplicht om deze meststoffen af te dekken op een luchtdoorlatende semi-permeabele wijze om insijpeling van regenwater te verminderen (uitgezonderd voor gecertificeerde gft-, groen- en boerderijcompost). De rest van het jaar mogen de meststoffen zonder afdekking opgeslagen worden en op voorwaarde dat de opslag maximaal gedurende twee maanden voor spreiden is. Andere voorwaarden verbonden aan de mestopslag op de kopakker is dat er niet meer mest opgeslagen mag worden dan dat er zal worden uitgereden, dat de afstand tot de perceelsgrens en het

////////////////////////////////////
//

Tabel 20 Enkele voorbeelden van emissiearme stallen voor biggen tot 20 kg die zorgen voor een reductie in ammoniakemissie door het contactoppervlakte en/of de contacttijd met de lucht zoveel mogelijk te beperken (V-lijst). Ook de stikstofverliezen en de ammoniak emissiefactoren per staltype worden weergegeven. (Vlaamse landmaatschappij)

Diercategorie	Code staltype en opslag	Naam staltype	Stikstofverliezen in kg N/dier/jaar	Ammoniak EF kg NH ₃ /dierplaats/jaar
Biggen tot 20 kg	V-1.2	Ondiepe mestkelder met water- en mestkanaal (max 0,35 m ² hokoppervlak)	0,26	0,26
	V-1.3	Gescheiden afvoer van mest en urine door middel van een hellende mestband	0,26	0,20 max 0,35 m ² hokoppervlak 0,25 > 0,35 m ² hokoppervlak
	V-1.4	Koeldekstelsysteem met 150% koeloppervlak	0,26	0,15 max 0,35 m ² hokoppervlak 0,19 bij > 0,35 m ² hokoppervlak
	V-1.5	Volledig rooster met water- en mestkanalen, eventueel voorzien van schuine putwand(en), emitteren oppervlak < 0,10 m ²	0,26	0,20

5.4.2 Luchtemissies in Vlaanderen

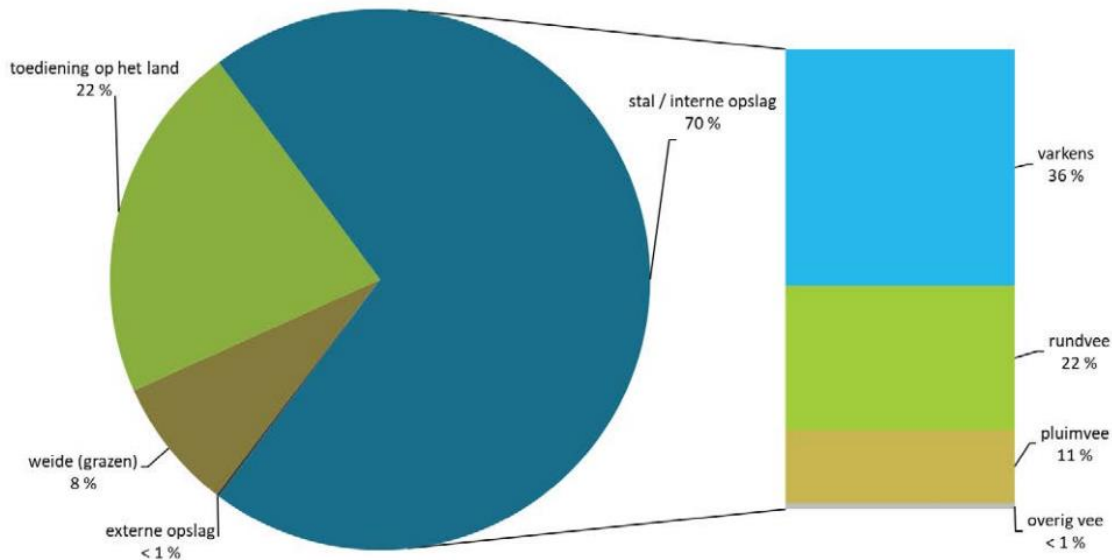
5.4.2.1 Ammoniak (NH₃)

Ammoniakemissies in Vlaanderen worden voor ongeveer 95% veroorzaakt door de land- en tuinbouwsector. In 2018 was 86% van de ammoniakemissie door de land- en tuinbouwsector afkomstig van de veeteelt, waarvan dan weer 44% afkomstig was van varkens en 42% van rundvee (VMM, 2020a).

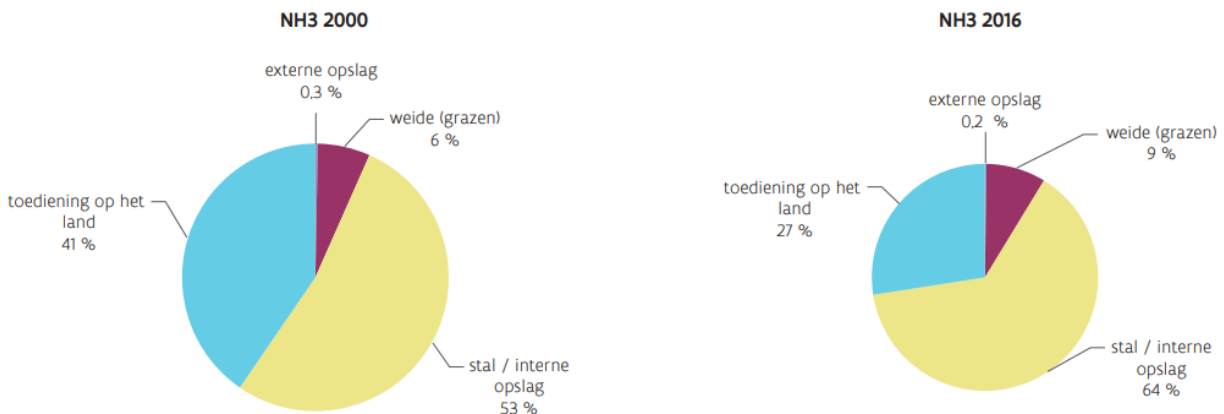
Ammoniakemissie naar de lucht vindt voornamelijk plaats via stallen en mestopslagplaatsen, tijdens mestuitspreiding en -verwerking, beweiden en bij het gebruik van kunstmeststoffen (Figuur 32). Hiervan wordt 70% veroorzaakt door emissies uit stallen (inclusief mestopslag in mestkelder). Een verplichting tot het ammoniakemissiearm bouwen van nieuwe pluimvee- en varkensstallen sinds 2003 heeft reeds tot aanzienlijke ammoniakemissiereducties geleid. In 2018 was er door de ammoniakemissiearme stalsystemen een reductie van ongeveer 12% van de totale ammoniakemissie door de veeteelt ten opzichte van traditionele systemen (VMM, 2020a). Sinds 2000 is het aandeel van de ammoniakemissie door de veeteelt via het toedienen van mest op het land gedaald van 41% tot 27% in 2016 (Figuur 33; VMM, 2016), en zelfs tot 22% in 2018 (Figuur 32 en Figuur 33). Het aandeel van de ammoniakemissies van stallen en interne opslag is gestegen tussen 2000 en 2018 (Figuur 32 en Figuur 33). Dit komt niet door een stijging van de absolute emissies uit stallen maar door een afname van de totale emissie vanuit de landbouw. De meer structurele aanpassingen aan de stallen tonen minder snel hun effect dan andere maatregelen zoals het emissiearm toedienen van mest, en door een

////////////////////////////////////
//

algemene afname resulteert dit in een procentuele toename van de ammoniakemissie door stallen. Dit aandeel geeft wel een indicatie van waar men nog op kan inzetten.



Figuur 32 Aandeel emissiestadia in de NH₃-emissie door de veeteelt en aandeel diersoorten binnen het emissiestadium stal/interne opslag in 2018 (%) (VMM, 2020a)



Figuur 33 Aandeel (%) van de verschillende emissiestadia in de totale NH₃-emissie in Vlaanderen (2000, 2016) (VMM, 2016)

Brusselman *et al.* (2016) beschrijven de volgende mechanismen voor de vorming van ammoniak uit ammonium uit dierlijke mest. Ammoniak vervluchtigt uit de mest door de transfer van ammoniakgas van de mest naar de grenslaag tussen de mest en de omgevingslucht, waarna deze vervolgens vrijgesteld wordt in de omgevingslucht. Het evenwicht tussen ammoniak in gasvorm en in opgeloste vorm in mest wordt bepaald door de wet van Henry (Figuur 34, reactie 1). Hoe hoger de concentratie van ammoniak in de opgeloste vorm, hoe hoger de partiële druk van het ammoniakgas. Hogere temperaturen zorgen ervoor dat het evenwicht naar de



gasvorm verschuift. De hoeveelheid ammoniak die overgaat van de grenslaag net boven de mest naar de omgevingslucht (Figuur 34, reactie 2) hangt af van de massatransfercoëfficiënt, en het verschil in partiële druk tussen de grenslaag en de omgeving. De massatransfercoëfficiënt op zich is dan weer afhankelijk van de temperatuur, de lichtsnelheid aan de grenslaag en het emitterend oppervlak (Philippe *et al.*, 2011). In waterige omgeving staat ammoniak in evenwicht met ammonium (Figuur 34, reactie 3). Dit evenwicht wordt bepaald door de temperatuur en de pH. Een hogere temperatuur verschuift het evenwicht naar de opgeloste ammoniakvorm. Bij pH-waarden lager dan 7 vindt men voornamelijk de ammoniumvorm terug in oplossing, vanaf een pH van 7 stijgt het aandeel van de ammoniakvorm in oplossing en bij een pH van 11 is voornamelijk het niet-geïoniseerde ammoniak aanwezig (Philippe *et al.*, 2011). Het ammonium in oplossing wordt gevormd uit ureum (urine). De urease aanwezig in mest versnelt deze omzetting.



Figuur 34 Vormingsmechanismen van ammoniak uit dierlijke mest (Brusselman *et al.*, 2016). (1) Er bestaat een evenwicht in de mest tussen ammoniak in zijn gasvorm $\text{NH}_3(\text{g})$ en zijn opgeloste vorm $\text{NH}_3(\text{l})$, (2) Ammoniak die de grenslaag net boven de mest overgaat naar de omgevingslucht, (3) In waterige omgeving is $\text{NH}_3(\text{l})$ in evenwicht met ammonium (NH_4^+).

Kort samengevat hebben de volgende factoren dus een invloed op de ammoniakemissie: temperatuur, windsnelheid, emitterend oppervlak, pH en concentratie in de vloeistof- en gasfase (dit heeft invloed op de partiële drukken). Het beïnvloeden van deze factoren kan dus zorgen voor een verdere reductie van ammoniakemissies. Voor varkens en pluimvee bestaat er al een lijst van emissiearme stallen (Ministerieel besluit van 31 mei 2011 (B.S. 8.07.11) en daaropvolgende ministeriële besluiten). Voor de stalconstructie vertalen deze theoretische factoren zich in de praktijk als de invloed van het ventilatiesysteem, de interne windsnelheid en de emitterende oppervlakte per koe. Voor mestopslag zullen de volgende zaken van belang zijn: opslag in of uit de stal, overdekt of open, oppervlakte, korstvorming, additieven en management van mengmest.

UNECE (2014) beschrijft de volgende mogelijkheden om NH_3 -emissies te reduceren in veestallen:

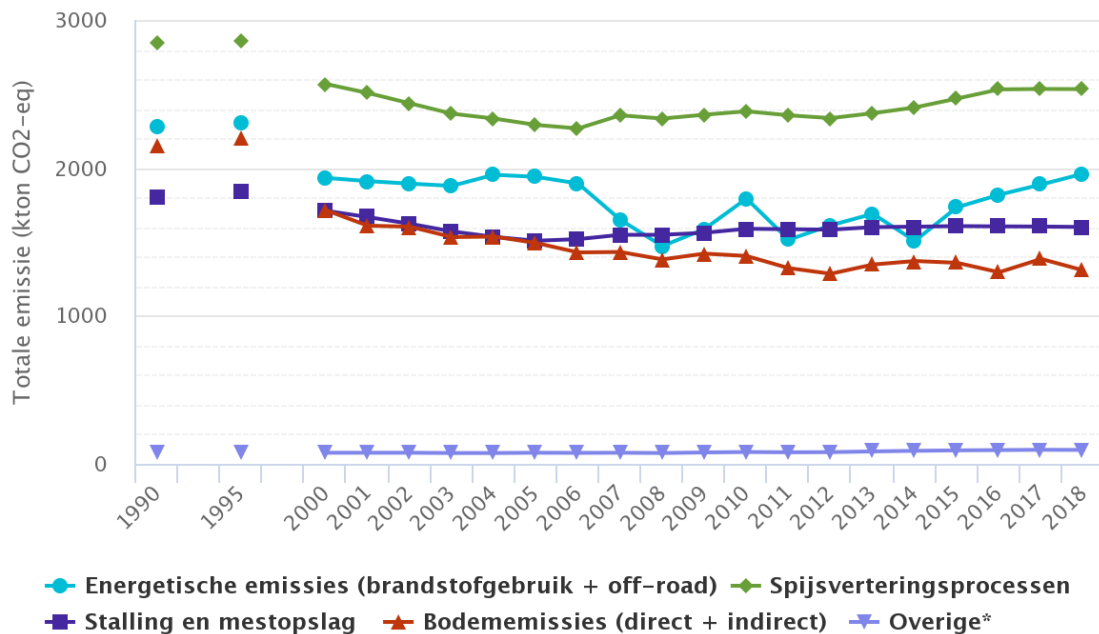
- Verminderen van de oppervlakte bevuild door mest;
- Absorptie of adsorptie door strooisel;
- Snel verwijderen van urine of snelle scheiding van faeces en urine;
- Daling van de snelheid en temperatuur van de lucht boven de mest, uitgezonderd indien de mest gedroogd wordt;
- Daling van de mesttemperatuur;
- Toename van de begrazing;
- Luchtwassers.

De ammoniakemissie uit vaste mest zou zo'n 17-23% van de totale N bedragen. Dit is groter dan de ammoniakemissie uit mengmest, die geschat wordt op zo'n 2-10% van de totale N (Nicholson *et al.*, 2002). In wat volgt worden verschillende opties besproken ter reductie van nutriëntenverliezen bij de opslag van mest



5.4.2.1 Broeikasgasemissies: methaan (CH₄) en lachgas (N₂O)

In 2018 was de landbouwsector verantwoordelijk voor een kleine 10% van de totale Vlaamse broeikasgasemissie (VMM, 2020b). Methaan en lachgas uit de landbouw zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 74% en 59% van de Vlaamse methaan- en lachgasuitstoot en zijn voornamelijk gerelateerd aan de grootte van de veestapel (VMM, 2020b). Methaan ontstaat voornamelijk bij de voedervertering in de pens van herkauwers en komt ook vrij uit mest bij anaerobe omstandigheden tijdens de afbraak van organisch materiaal in de mest door micro-organismen of bacteriën. Een groot deel van de lachgasemissies is het gevolg van (de)-nitrificatieprocessen na mesttoediening op landbouwbodems, de rest is afkomstig van (de)-nitrificatieprocessen tijdens de opslag. In 2018 was zo'n 21% van de broeikasgasemissies afkomstig van mestopslag en stalling (Figuur 35). Over emissies gerelateerd aan spijsverteringsprocessen wordt meer ingegaan in de sectie 'Innovatie rantsoenen'. Het thema van de lachgasemissies afkomstig van (de)-nitrificatieprocessen na mesttoediening op landbouwbodems wordt hier verder niet besproken, aangezien dit thema niet geselecteerd werd voor een verdere uitdieping in deze literatuurstudie maar er specifiek gefocust wordt op de mestopslag en stallen.



Figuur 35 Emissie broeikasgassen per emissiebron in de landbouw (VMM, 2020b). De categorie overige omvat broeikasgasemissie ten gevolge van bekalking en ureumgebruik op landbouwbodems.

In Vlaanderen wordt de meeste mest opgeslagen onder de stal. De methaanemissie uit mengmest wordt voor runderen en varkens een factor tien hoger ingeschat dan die uit stalmest. Vaste mest heeft dan weer een hogere N-inhoud waardoor deze een hogere lachgasemissie heeft dan mengmest (Maertens *et al.*, 2016). Mengmest wordt bovendien verzameld onder de stal, waar geen afwisseling is van aerobe en anaerobe omstandigheden die noodzakelijk zijn voor de vorming van lachgas (Ecolas, 2006). Hoe lager de opslagtemperatuur, hoe lager de emissies. Klimaatverandering kan door hogere temperaturen dus leiden tot hogere emissies.



Nicholson *et al.*, 2002; Webb *et al.*, 2005). Een groter reductiepotentieel wordt gerealiseerd naarmate de tank/silo hoger gebouwd wordt, maar dit heeft wel als nadeel dat het moeilijker wordt om de mest te mengen.

Een efficiënte reductie van ammoniakemissie uit opslagplaatsen van mengmest (bv. silo's, tank, ...) wordt bekomen door deze af te dekken met een deksel, dak of tentstructuur (Webb *et al.*, 2005). Een minimale ventilatie is hier echter noodzakelijk om te vermijden dat onvlambare gassen zoals methaan zich opstapelen (Webb *et al.*, 2005; UNECE, 2014). Deze aanpak vermijdt ook dat er regenwater in de opslag terecht komt. Ook natuurlijke korstvorming op de mest kan bijdragen tot de reductie van ammoniakemissie. Dit is echter enkel praktisch realiseerbaar indien de mest niet regelmatig geroerd wordt, indien de nieuwe mest onder het korstoppervlakte bijgevoegd wordt en indien de mest ook effectief een korst vormt (UNECE, 2014). Nicholson *et al.* (2002) melden echter dat het technisch moeilijk is om bassins van onderuit te vullen en dat dit eenvoudiger is bij bovengrondse tanks. Volgens Webb *et al.* (2005) is deze techniek moeilijk bruikbaar, minder efficiënt maar wel een goedkope oplossing. Kleine opslagbekkens kunnen ook afgedekt worden met drijvende afdekzeilen bestaande uit plastic, canvas, geotextiel of andere geschikte materialen (UNECE, 2014). Grotere opslagbekkens, tanks en silo's zijn technisch moeilijker af te dekken met drijvende materialen. Permeabele zeilen moeten beveiligd worden tegen de wind, impermeabele zeilen hebben een minimale ventilatie nodig en het verzamelde regenwater moet afgevoerd kunnen worden. Beide types moeten verticale beweging toelaten. Volgens UNECE (2014) moet de duurzaamheid van deze afdekzeilen voor gebruik op grote oppervlakten nog geoptimaliseerd worden. Ook andere afdekking kan gebruikt worden als emissiereducerende toplaag, zoals bijvoorbeeld geëxpandeerde kleikorrels, olie, versneden stro, turf of commerciële toepassingen zoals Hexacover (Webb *et al.*, 2005; UNECE, 2014). Voordelen ten opzichte van afdekzeilen is dat er geen scheuren kunnen optreden en dat er geen hemelwater op verzameld wordt. Een nadeel is wel dat deze afdekkingen de homogenisering van de mest voor het uitrijden kunnen bemoeilijken (UNECE, 2014). Tabel 21 geeft voorbeelden van afdektechnologieën om ammoniakemissie te reduceren, hun reductiepotentieel en hun economische kost (UNECE, 2014).

<i>Techniques</i>	<i>Emission reduction (%)</i>	<i>Cost (€ per m³ per year)</i>	<i>Cost (€ per kg NH₃-N saved)</i>
Tight lid	> 80	2–4	1–2.5
Plastic cover	> 60	1.5–3	0.5–1.3
Floating cover	> 40	1.5–3 ^{b)}	0.3–5 ^{a)}

Tabel 21 Emissiereductieniveaus en kosten verbonden aan technologieën om mest af te dekken (UNECE, 2014)

Ook opslagzakken kunnen gebruikt worden om mengmest op te slaan, maar de zakgrootte is hier uiteraard limiterend voor de hoeveelheid mest die opgeslagen kan worden.

Mest kan ook opgeslagen worden in een anaerobe vergistingsinstallatie. Onderzoek toonde aan dat hierbij 76% minder ammoniakemissie plaatsvond dan in een afgedekte tank, maar dat dit effect teniet gedaan werd bij het uitrijden van het digestaat, waar er een stijging van 18% in ammoniakemissie was ten opzichte van de onbehandelde mest, vermoedelijk door een hogere pH en hogere ammoniakale N-inhoud van het digestaat



(Amon *et al.*, 2006). Gecombineerd over de opslag en het uitrijden was er evenveel ammoniakemissie bij de onbehandelde mest als bij de mest behandeld via de anaerobe vergistingsinstallatie. Het grote voordeel wordt hier dan ook behaald in de reductie van het broeikasgas methaan. In CO₂-equivalenten was er 59% minder broeikasgasemissie bij opslag in een anaerobe vergister in vergelijking met de afgedekte referentieopslag.

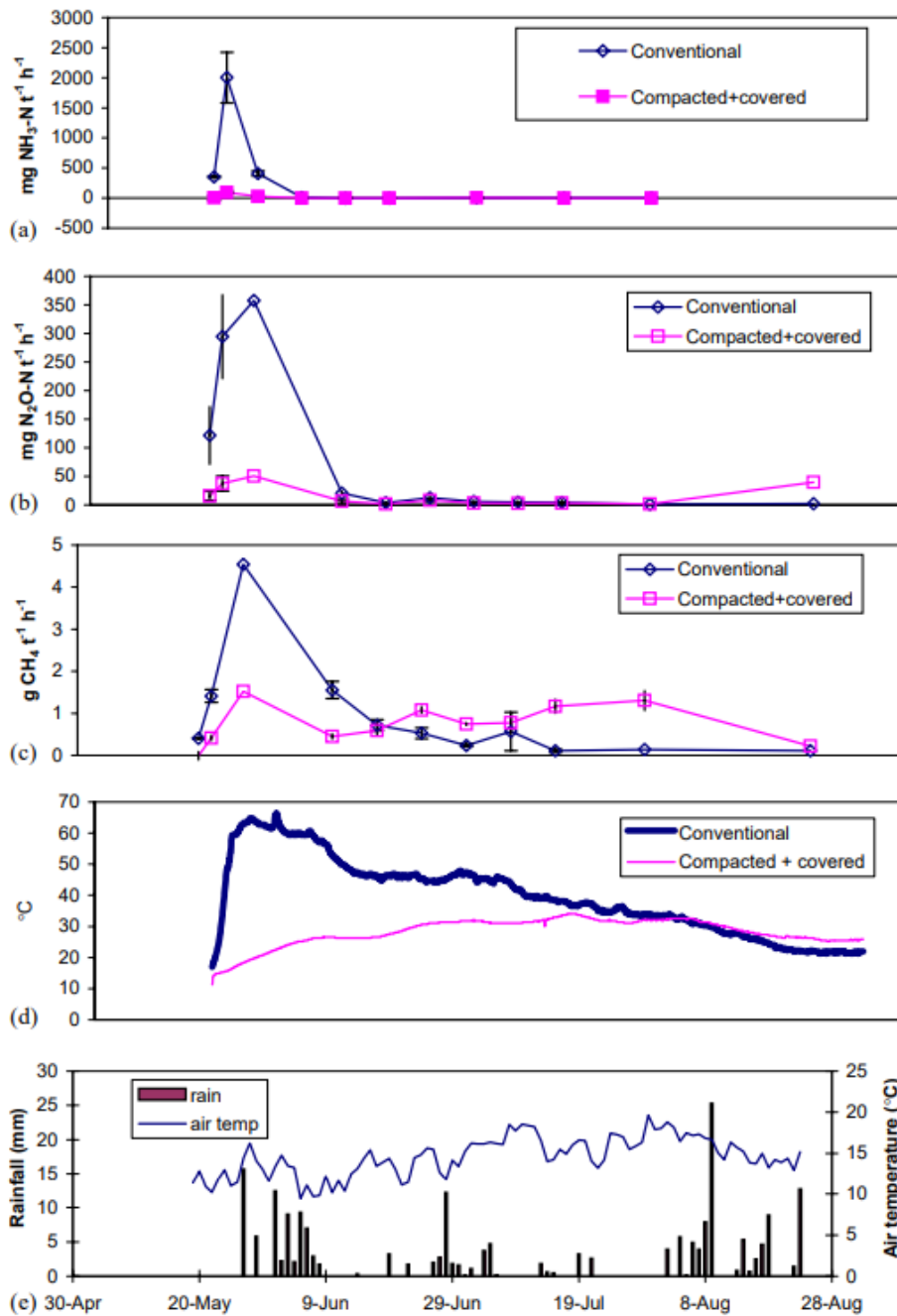
Uit de paneldiscussies met de experts kwam naar voor dat er ook ingezet moet worden op afgesloten systemen buiten de stal met een kleine oppervlakte en waar lekdetectie gemakkelijk is, om zo nutriëntenverliezen sneller te detecteren en sneller in te grijpen om deze verliezen in te perken. Dit kan praktisch bijvoorbeeld bewerkstelligd worden door mest slechts tijdelijk op te slaan in een kelder die klein in volume en oppervlakte is, en vervolgens de mest regelmatig door te pompen naar een externe mestopslag zoals een mestsilo. Dit brengt ook andere voordelen met zich mee zoals het beter kunnen homogeniseren van de mest vooraleer staalname en/of uitrijden, waardoor er meer controle is op de bemesting van gewassen. Een staalname in mestkelders onder de stal is namelijk moeilijk, en ook mengen is vaak uitgesloten wanneer dieren erboven staan. Hierdoor kunnen vaste fracties uitzakken in de mestput waardoor een bezinklaag ontstaat, zodat er bij het uitrijden van de mest vrachten met een zeer variabele mestsamenstelling kunnen afgevoerd worden. Het is ook eventueel mogelijk om verschillende mestsoorten te mengen om tot een nog meer optimale samenstelling te komen. Een ander voordeel van externe mestopslag is dat het minder gevoelig is aan effecten van klimaatopwarming en extra ventilatie in de stal.

5.4.4.2 Reductie van broeikasgasemissies

Maertens *et al.* (2016) bespreken de aerobe opslag van mengmest en vaste mest. Voor beide mestsoorten is bij beluchting een reductie in methaanemissie waar te nemen, maar de lachgasemissie zou dan wel weer stijgen. Het netto-effect geeft wel een verlaging in broeikasgasemissies (Ecolas, 2006; Chadwick *et al.*, 2011; Hristov *et al.*, 2013a; Montes *et al.*, 2013).

Chadwick (2005) vond dat verdichting van mesthoopen in bunkers (verhoging in dichtheid van 0.6 ton/m³ naar 0.7 ton/m³ en afdekking met een plastic zeil) leidt tot een temperatuurdaling in de mesthoop, vermoedelijk doordat er minder microbiële activiteit is door de meer anaerobe condities. Gedurende een eerste testperiode waren de ammoniakemissie meer dan 90% lager en de lachgasemissie zo'n 30% lager in de verdichte en afgedekte hoop in vergelijking met de conventionele hoop (Figuur 36). Methaanemissies lagen initieel lager bij de compacte en afgedekte mesthoop in vergelijking met de conventionele mesthoop, maar stegen vervolgens weer waardoor de netto-methaanemissie over de bestudeerde periode (96 dagen) hetzelfde bleef. Het effect van verdichting en afdekking op de ammoniak- en lachgasemissie was lager voor de andere twee opslagperiodes en voor methaan werd er geen consistente trend waargenomen.





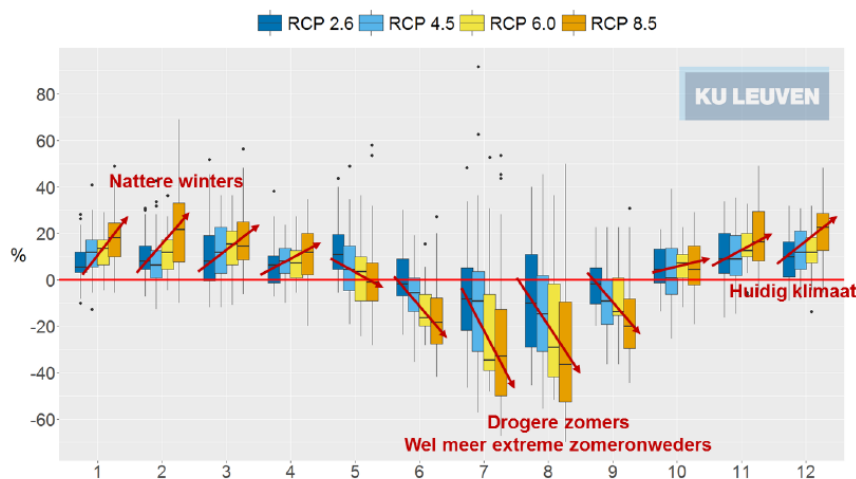
Figuur 36 Ammoniak (a) lachgas (b) en methaan (c)- emissies, en temperatuur in de mesthoop (d) voor een verdichte/gecompacteerde mesthoop en een conventionele mesthoop. Grafiek e geeft de weersomstandigheden (temperatuur en regenval) in de bestudeerde periode weer

////////////////////////////////////
 //

5.4.4.3 Reductie van nutriëntenverliezen bij tijdelijke opslag op de kopakker

Opslag op de kopakker kan risico's geven op gasvormige verliezen (NH_3) en op nitraatverliezen door uitspoeling. Deze laatste kunnen veroorzaakt worden door regen die door de mesthoop sijpelt en nutriënten mee opneemt uit de mest of door mestvocht dat uit de mesthoop geperst wordt door het toenemend volumegewicht. N-verliezen vanuit de mesthoop naar de bodem gebeuren doorgaans onder vorm van NH_4 , die omgezet wordt naar nitraat en onder nitraatvorm naar het oppervlakte- of grondwater uitspoelt (Kolenbrander & de la Lande Cremer, 1967).

Men kan in vraag stellen of de periode van verplichte afdekking nog overeenkomt met het verwachte neerslagpatroon bij klimaatverandering. Neerslagsimulaties tonen aan dat de wintermaanden in 2100 natter zullen zijn dan tijdens de referentieperiode van 1961-1990 (Figuur 37; Willems, 2020). De onzekerheid van de voorspellingen is gebaseerd op 200 klimaatmodelruns. Hoe extremer het scenario van stijging in broeikasgassen (weergegeven door de RCP-scenario's) hoe natter de voorspelde winters. Verwacht wordt dat meer regenval leidt tot potentieel hogere risico's op nitraatuitspoeling uit mesthoven. Een verlenging van de periode van verplichte afdekking kan dus mogelijks bijkomende nutriëntenverliezen door klimaatverandering voorkomen.



Van Uytven, E., Willems, P. (2018), 'Greenhouse gas scenario sensitivity and uncertainties in precipitation projections for central Belgium', *Journal of Hydrology*, 558, 9-19

KU LEUVEN

Figuur 37 Voorspellingen voor het jaar 2100 op basis van verschillende klimaatmodelruns tonen aan dat we te maken zullen hebben met nattere winters en drogere zomers met meer extreme zomeronweders (Willems, 2020).

Nelissen *et al.* (2015) bestudeerden manieren om de opslag en bewerking van vaste rundermest op de kopakker te optimaliseren. Los gestorte stalresten zonder afdekking werd vergeleken met een afdekking met plastic en een TopTex-zeil in de periode midden december-midden februari. De opslag van runderstalmest op de kopakker leidde tot een lokaal en relatief beperkt verlies van de initiële stikstofinhoud van de mest door uitspoeling (maximum 1,8%). Het afdekken had in deze proef geen aantoonbaar milderend effect op het stikstofverlies onder een mesthoop in vergelijking met het niet afdekken, maar het afdekken van de mesthoop resulteerde wel

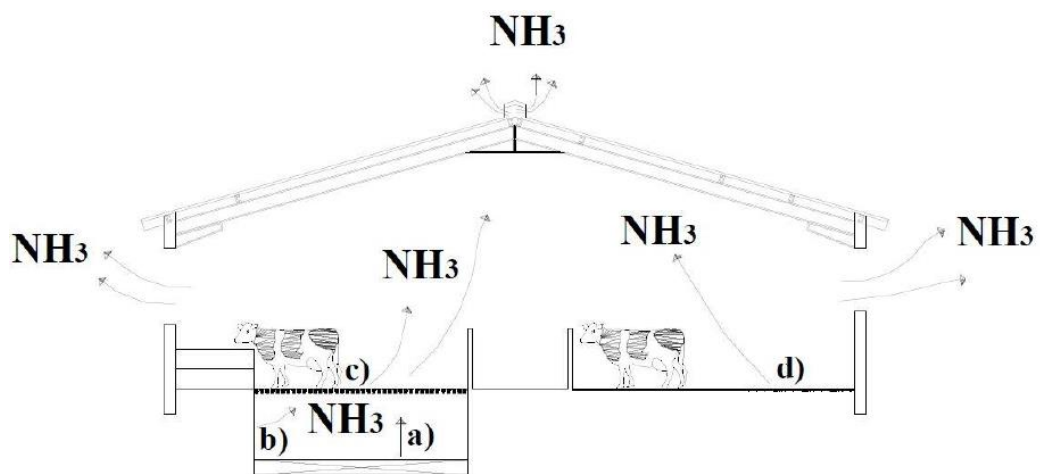


bijhorende referenties) en relevant in de context van de optimalisatie van de stallen wordt hieronder besproken. Enkel technieken en strategieën die reeds onderzocht zijn, die (potentieel) toepasbaar zijn in de praktijk en met kwantitatieve gegevens over hun emissiereducerend potentieel worden hier besproken. Voor technologieën die niet voldoen aan deze voorwaarden verwijzen we naar Brusselman *et al.* (2016). Het aanzuren van mest als optie om de ammoniakemissie te reduceren werd niet mee opgenomen in deze literatuurstudie aangezien de experts tijdens de paneldiscussies hier eerder negatief over waren en dit niet als een oplossing zagen. Er is namelijk nog onzekerheid over het effect van bemesting met aangezuurde mest.

Melk- en vleesvee

Melkvee in Vlaanderen is voornamelijk aanwezig in ligboxstallen waar ammoniakemissie via verschillende bronnen kan plaatsvinden (Figuur 38): a) het mestoppervlak in het mestkanaal, b) de muren in het mestkanaal bevuild met mest, c) de roostervloer bevuild met mest en d) de vaste vloer bevuild met mest (Brusselman *et al.*, 2016). Het vleesvee in Vlaanderen is voornamelijk gehuisvest in gedeeltelijk ingestrooide stallen, hetgeen via verschillende wegen een invloed heeft op de ammoniakemissies (Brusselman *et al.*, 2016; Sommer *et al.*, 2013):

- Het contactoppervlak met de lucht verkleint doordat urine infiltreert in het strooisel;
- De luchtsnelheid boven het strooiselbed daalt omdat het diep strooisel een hoge oppervlakteruwheid heeft;
- De aanwezigheid van biologisch materiaal stimuleert de omzetting van stikstof door oxidatie van ammoniakal stikstof of door immobilisatie van anorganische N waardoor er organische N geproduceerd wordt.



Figuur 38 Ammoniak transportprocessen in een melkveestal (Brusselman *et al.*, 2016 dewelke verder refereren naar Pereira&Trinada, 2014 en Sommer *et al.*, 2006)

Loopvloermanagement en emissiereducerende vloeren

Het vloerontwerp heeft een grote invloed op de ammoniakemissies uit veestallen. Ook bij de paneldiscussies met de experts kwam aan bod dat het principe van mestopslag onder een roostervloer herbekeken moet worden aangezien het een vals gevoel geeft dat de mestopslag afgedekt is. Doordat een stal continu



geventileerd wordt, is de mestopslag onder de rooster ook een groot emissieoppervlak dat geventileerd wordt en kan dit dus gepaard gaan met grote ammoniakverliezen. Swierstra *et al.* (1995) concludeerden dat een extra bovenlaag uit een epoxy beton op een roostervloer niet zorgde voor een extra emissiereductie. Dit had mogelijks zelfs een tegengesteld effect op de emissie door een vertraagde afvoer van urine. Een dichte, licht hellende betonvloer (3°) daarentegen zorgde echter voor minstens 48% emissiereductie ten opzichte van een gewone roostervloer. Ook Braam *et al.* (1997) ondervond een positief effect van een licht afhellende vloer: een niet hellende dichte vloer had een vergelijkbare emissie als een traditionele vloer terwijl een hellende vloer (3%) waarop een schraper 12 keer per dag actief was, een ammoniakreductie van 21% vertoonde ten opzichte van een traditionele roostervloer. Er moet echter ook aandacht worden besteed aan de beliepbaarheid van zo'n hellende systemen. Deze kunnen namelijk glad zijn. Het design van nieuwe systemen moet hier rekening mee houden. Swierstra *et al.* (2001) testten ook een systeem waarbij de urine via groeven en door perforaties in deze groeven afgevoerd werd. Hierbij werd een ammoniakemissiereductie van 46% behaald ten opzichte van een traditionele roostervloer. Salden & Sol (2020) waarschuwen echter voor het gevaar voor verstopping van deze groeven door mest, waardoor de urine niet meer afgevoerd wordt. Zhang *et al.* (2005) testten verschillende vloertypes en concludeerden dat voor stallen met een dichte vloer emissies gereduceerd worden door het gebruik van een gladde, afhellende vloer die gereinigd wordt met schrapers. Voor stallen met een roostervloer kon de emissie gereduceerd worden door het gebruik van een schraper op de rooster of in de put, of door de behandeling van mest met zuur. Onderzoek in Duitsland toonde aan dat menging van de mest de ammoniakemissie aanzienlijk verhoogt bij een open roostervloer (Schiefler, 2013). Echter, van Dooren *et al.* (2019) hadden een andere conclusies op basis van vier experimenten, namelijk dat het regelmatig mixen van de drijfmest met lucht geen invloed heeft op de ammoniakemissie van melkveestallen met mestkelders onder roostervloeren (Van Dooren *et al.*, 2019). Van Dooren *et al.* (2019) wijst er op dat op basis van de bestaande literatuur geen éénduidige uitspraak gemaakt kan worden over het effect van mixen van mest in het algemeen of het mixen met luchtbellen op de ammoniakemissie.

Brusselman *et al.* (2016) concludeerden op basis van bovenstaande studies dat het niet mogelijk is om een emissiearme vloer voor te schrijven en dat het noodzakelijk is om te kijken naar de efficiëntie waarmee mest afgevoerd wordt, hetgeen neerkomt op een koppeling van principes. Het is dus noodzakelijk om elke stal individueel te evalueren.

Roosters en vloeren reinigen met water

Het gerealiseerde principe is hier het verdunnen en wegspoelen van de urine waardoor een reductie in ammoniakemissie behaald kan worden (Monteny & Erisman, 1998). Ogeink & Kroodsmas (1996) vonden een reductie in ammoniakemissie van 14% door te spoelen met water (20l/koe/dag) na passage van de mestschraper op de roostervloer (elke twee uur). Monteny & Erisman (1998) vonden dat bij het reinigen van roostervloeren de hoeveelheid gebruikt water geen invloed had op de reductie in ammoniakemissie, terwijl de hoeveelheid water wel een belangrijke factor is in het bepalen van de effectieve ammoniakreductie bij het reinigen van V-vormige vloeren. Brusselman *et al.* (2016) concludeerden uit voorgaande onderzoeken dat er reeds verschillende systemen op de markt zijn waarbij roostervloeren gespoeld worden met water. Zo is er bijvoorbeeld in Nederland al een wettelijke erkenning voor een spoelsysteem. Een belangrijk voordeel van spoelsystemen is een algemeen betere hygiëne. Maar er zijn ook een aantal nadelen aan verbonden zoals de kost van het water, de extra mestopslag en een groter uit te rijden mestvolume. Een mogelijkheid om deze



nadelen te beperken is het afhankelijk maken van het sproeien van de temperatuur in de stal en de aanwezigheid van dieren. Om deze techniek te optimaliseren is er echter verder onderzoek nodig.

Ventileren van stallen met luchtwassers

Rong *et al.* (2014) beschrijven een melkstal met een hybride ventilatiesysteem, waarbij er zowel een natuurlijke ventilatie als een mechanisch putventilatiesysteem is. Dit laatste heeft als doel sterk geconcentreerde lucht te collecteren, uit de kelder te extraheren en te reinigen met behulp van een zure luchtwasser, om zo tot een reductie in ammoniakemissie te komen. In deze studie werd in de winter 83% van de NH₃-missies opgevangen in het putventilatiesysteem, in de zomer was dit 64%. Brusselman *et al.* (2016) merken op dat bijkomend onderzoek noodzakelijk is om na te gaan of dit systeem toepasbaar is bij de gebruikte stalsystemen in Vlaanderen. Bovendien moet opgelet worden dat, indien een biologische luchtwasser gebruikt wordt, de temperatuur niet onder de tien graden mag zakken aangezien deze systemen dan niet meer zullen werken. Brusselman *et al.* (2016) beschrijven ook een systeem van een Nederlandse firma Agro Air Concepts waarbij chemische luchtwassers gebruikt worden in natuurlijk geventileerde melkstallen. Hiermee wordt een voorlopige emissiefactor van 4 kg NH₃/dierplaats/jaar zonder beweiding gerealiseerd.

Stallen kunnen ook mechanisch geventileerd worden waardoor de vervuilde lucht geconcentreerd kan worden. Smith *et al.* (2008) onderzochten een stal die geventileerd werd via nokventilatoren, met een kelderextractie naar een luchtwasser. De nokventilatoren maakten het mogelijk om de ammoniakflux met 35-50% te verminderen doordat de kelderlucht apart opgezogen kon worden. Chemische luchtwassers zouden 70-90% ammoniakemissiereductie realiseren (UNECE, 2014).

Varkens

Voor varkens zijn er reeds verschillende emissiearme stalsystemen erkend in Vlaanderen (Ministerieel besluit van 31 mei 2011 (B.S. 8.07.11) en daaropvolgende ministeriële besluiten). De huidige ammoniakemissiearme stallen voor varkens worden in detail beschreven door Van Gansbeke & Van den Bogaert (2020). De ammoniakemissiearme stallen zijn erop gericht om het contactoppervlak en/of de contacttijd met de lucht zoveel mogelijk te beperken en om de stallucht door een centrale installatie te behandelen alvorens ze in de buitenlucht terecht komt. In wat volgt worden technieken die potentieel hebben om de ammoniakemissie uit varkensstallen verder te reduceren en die momenteel niet wettelijk erkend zijn, verder besproken op basis van Brusselman *et al.* (2016) (met bijhorende referenties). Deze auteurs haalden hun inspiratie hiervoor uit Aarnink *et al.* (2010). Wederom worden enkel technieken en strategieën die reeds onderzocht zijn, die (potentieel) toepasbaar zijn in de praktijk en met kwantitatieve gegevens over hun emissiereducerend potentieel besproken.

Verkleinen van het emitterend kelderoppervlak

Het emitterend oppervlak kan op verschillende manieren gereduceerd worden, bijvoorbeeld door een schuine plaat te zetten in de mestkelder en gebruik te maken van een overloop. Door een reductie van het emitterend oppervlak tot 0,27 m²/varken kan een reductie in ammoniakemissie tot 40% behaald worden (Aarnink *et al.*, 2010). Indien er een deel vaste vloer en een deel roostervloer is in een stal die volledig onderkelderd is, dan kan



men een stankafsluiter aanbrengen waardoor er geen luchtcontact is tussen de mest onder de dichte vloer en de lucht in het hok. Hierdoor zou de ammoniakemissie met 17% dalen (Aarnink *et al.*, 2010).

Mest verdunnen met water

Het verdunnen van mest met water wordt in de praktijk bewerkstelligd door na het volledig leegmaken van de mestkelder deze voor de helft te vullen met water. Deze verdunning zorgt voor een reductie van de ammoniakemissie. Het voorzien van minimaal 1m³/dierplaats/jaar kan voor een reductie van de ammoniakreductie met 46% zorgen (Aarnink *et al.*, 2010). Nadelen zijn ook hier de kost van water, extra mestopslag en een groter uit te rijden volume mest, hetgeen leidt tot meer transport en dus ook tot extra brandstof en meer CO₂-uitstoot. Een ander nadeel is dat er bij het verdunnen van mest met water ook geen forfaitaire mestsamenstellingen bruikbaar zijn, waardoor er steeds een afvoer met analyses nodig is.

Balansballen in de mestkelder

Een balansbal is een bol uit polyethyleen die voor de helft gevuld is met lucht en voor de helft met water. Meerdere balansballen samen zorgen voor een afdichting van het oppervlakte van de mestput en reduceren daarmee de ammoniakemissie (Figuur 39). De balansballen drijven met het zwaarste punt naar beneden en wanneer mest op de ballen valt, dan kantelen ze door het gewicht van de mest waardoor de mest in de put terecht komt. Theoretisch gezien wassen de ballen zichzelf proper in de vloeibare laag. De vulling zorgt ervoor dat, wanneer mest op de bal valt, deze zich draait waardoor de mest in de put terecht komt. Mosquera *et al.* (2009) testte deze techniek op vier vleesvarkensbedrijven en ondervond dat de ballen niet gemakkelijk kantelden en vaak was het noodzakelijk om met een stok op de bal te duwen om deze te doen kantelen. Er werd een gemiddelde emissiereductie van 29% opgemeten door deze balansballen te gebruiken. Het in de praktijk niet automatisch kantelen van de balansballen (zoals theoretisch zou moeten) heeft uiteraard een negatieve invloed op de ammoniakemissiereductie van dit systeem.



Figuur 39 Voorbeeld van een mestkelder afgedekt met balansballen (bron foto: www.balansbal.nl)

//////////////////////////////////////
//

Pluimvee

Ook voor pluimvee zijn er reeds verschillende emissiearme systemen gekend in Vlaanderen (Ministerieel besluit van 31 mei 2011 (B.S. 8.07.11) en daaropvolgende ministeriële besluiten). De huidige ammoniakemissiearme stallen worden voor pluimvee in detail beschreven door Van Gansbeke & Van den Bogaert (2019). Deze zijn erop gericht om het contactoppervlak en/of de contacttijd met de lucht zoveel mogelijk te beperken en om de stallucht door een centrale installatie te behandelen alvorens het in de buitenlucht terecht komt. In wat volgt worden technieken die potentieel hebben om de ammoniakemissie uit pluimveestallen verder te reduceren en die momenteel niet wettelijk erkend zijn verder besproken op basis van Brusselman *et al.* (2016) (met bijhorende referenties).

Mobiele voer- en drinklijn

Een mobiele voer- en drinklijn, waarbij de voeder- en drinkbakken opgehangen worden aan een stalen frame dat kan bewegen, en dat gekoppeld is met een beluchtingssysteem, kan de ammoniakemissie reduceren doordat het voedersysteem langzaam in de breedterichting beweegt doorheen de stal. Hierdoor vindt het voeren plaats over de gehele stal en niet op één vaste plaats waardoor de mest niet op dezelfde plekken geconcentreerd wordt maar over het gehele staloppervlak. Bovendien zorgt de beluchting ervoor dat het strooisel sneller gedroogd wordt hetgeen de ammoniakemissies reduceert. Hol *et al.* (2007) noteerde zo een reductie in ammoniakemissie van 35%. Dit systeem heeft dus zeker de potentie om emissies te reduceren maar het is momenteel nog onvoldoende geoptimaliseerd en er moeten dezelfde productieresultaten gehaald worden als bij traditioneel gehuisveste kuikens.

Conditionering van binnenkomende lucht

Van Harn *et al.* (2012) melden een mogelijke reductie in ammoniakemissie met 30-45% door de lucht die binnenkomt in een vleeskippenstallen te conditioneren met een warmtewisselaar. Afhankelijk van de buitentemperatuur en de gewenste staltemperatuur koelt of verwarmt het systeem de lucht tot de optimale staltemperatuur. Hierdoor werd het ventilatiedebiet sterk verlaagd.

5.4.5.2 Reductie van broeikasgasemissies

Zoals aangehaald in de inleiding van dit hoofdstuk zijn lachgasemissies uit mest voornamelijk gerelateerd aan het (de)-nitrificatieprocessen die optreden na het uitrijden van mest. Dit onderwerp wordt hier dan ook niet besproken. Ook voor methaan is de grootste reductie te bekomen door naar het voeder (zie deel Innovatie rantsoenen) te kijken. Methaan komt vooral vrij via boeren (oprispingen) van runderen en winden van varkens maar kan ook vrijkomen uit mest. Zo kunnen bijvoorbeeld niet-verteerbare koolhydraten die aanwezig zijn in de mest gefermenteerd worden onder zuurstofarme omstandigheden (bv. in de mestkelder), met een extra productie van methaan tot gevolg (Van Wesemael *et al.*, 2015). Šebek & Schils (2006) bekeken verschillende maatregelen om methaan- en lachgasemissies uit de Nederlandse melkveehouderij te beperken. De kansrijke, kosteneffectieve reductiemaatregelen zoals geselecteerd door een groep experts in de studie van Šebek & Schils (2006) worden weergegeven in Tabel 22. Zij zien een stalgerelateerde reductie van methaan enkel mogelijk bij nieuwbouw van stallen.

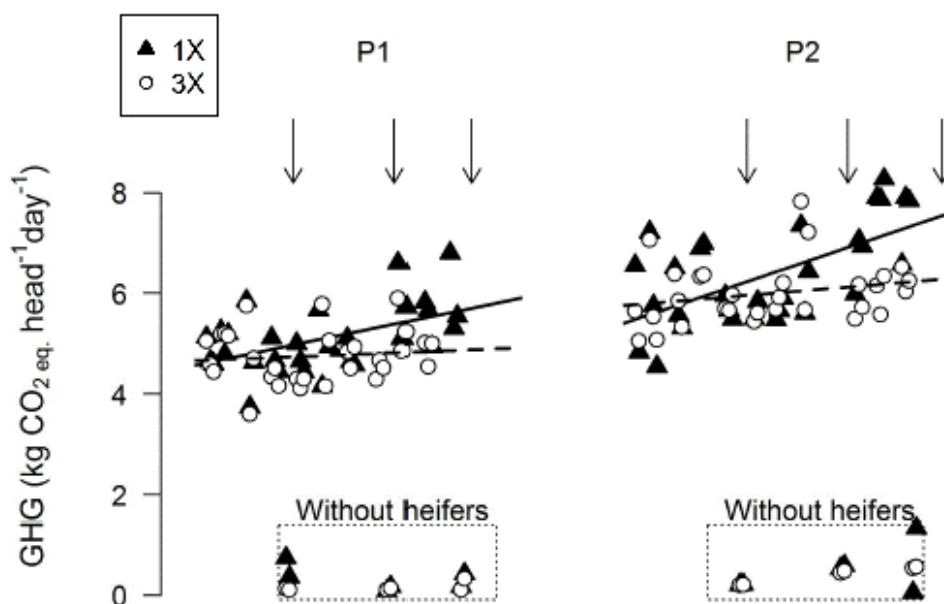
////////////////////////////////////
//

Tabel 22 Kansrijke reductiemaatregelen voor de emissie van broeikasgassen zoals geselecteerd door een groep experts in de studie van Šebek & Schils (2006)

Broeikasgas	Maatregel
Methaan	Verhoging melkproductie per koe Optimale rantsoensamenstelling Mestvergisting Optimale huisvesting en opslag (alleen bij nieuwbouw)
Lachgas	Verlaag stikstofjaargift Kunstmest met 100% ammonium, in voorjaar Verlaag beweidingsduur Verhoging melkproductie per koe Optimale rantsoensamenstelling Geen drijfmest en kunstmest op zelfde perceel Meer mest naar grasland i.p.v. bouwland Vermijd natte omstandigheden Minimaliseer scheuren grasland Niet scheuren na 1 augustus Vlinderbloemigen In rotatie korter grasland en langer bouwland Afstemming berekening op bemesting

Mathon (2020) onderzocht in zijn doctoraat o.a. de broeikasgasemissies vanuit stallen en bij de opslag van mest van het Belgische blauw vee. Hij vergeleek diepstrooiselsystemen en verschillende mestverwijderingssnelheden (1X, elke $63,5 \pm 3,5$ dagen vs. 3X, elke $23,1 \pm 1,5$ dagen) voor twee verschillende perioden: 1 in het najaar en 1 in de winter. Er was geen significant effect van de verwijderingssnelheid op de totale broeikasgasemissies (som CH_4 en N_2O ; Figuur 40). Uitgedrukt in CO_2 -equivalenten werd er meer emissie waargenomen tijdens de warmere opslagperiode (P2) dan tijdens de koudere opslagperiode (P1) (Figuur 40). In de figuur wordt ook het verschil gemaakt tussen de emissies van de mest uit de stal ($\pm 4\%$; without heifers). Deze zijn veel lager dan de emissies gerelateerd aan het vee ($\pm 35\%$).





Figuur 40 Broeikasgasemissies (uitgedrukt in CO₂-equivalenten) in de rundveestallen voor de verschillende behandelingen: (driehoek: 1x mestverwijdering op het einde, na 63 dagen; cirkels: 3x mestverwijdering tijdens de proef, om de 20 dagen ongeveer) voor de koudere (P1) en warmere (P2) testperiode (Mathon, 2020). Onderaan worden de emissies zonder vee weergegeven, hetgeen de emissies enkel en alleen vanuit de mest uit de stal zijn.

Mosquera & Hol (2012) bepaalden emissiefactoren voor methaan en lachgas in varkensstalsystemen. Hieruit werd geconcludeerd dat ammoniakemissiearme varkensstalsystemen, die inzetten op frequente mestafvoer en het gescheiden afvoeren van urine en faeces, ook de emissies van CH₄ en N₂O verminderen. Betreffende luchtwassers wordt in het rapport “Klimaatmitigatie in landbouw: een literatuurstudie” (Maertens *et al.*, 2016) vermeld dat luchtwassers die ammoniak afvangen geen methaan verwijderen en dat dit zelfs kan leiden tot de productie van lachgas (Hristov *et al.*, 2013a; Van der Heyden *et al.*, 2016). Voor rundveestallen is volgens Maertens *et al.* (2016) nog meer onderzoek nodig om na te gaan of ammoniakemissiearme stalsystemen ook een invloed hebben op de broeikasgasemissies.

5.4.6 Conclusies

In de groepsdiscussie met de experts werd gesteld dat de efficiëntie van de huidige maatregelen om nutriëntenverliezen te vermijden betreffende het thema ‘mest’ weinig onderhevig zijn aan klimaatverandering. Echter, er zijn wel nog steeds optimalisaties van de huidige technieken mogelijk, alsook een betere implementatie van de huidige technieken in de praktijk, en het klimaat kan hiervoor als hefboom gebruikt worden.

Ammoniakemissies in Vlaanderen worden voor ongeveer 95% veroorzaakt door de land- en tuinbouwsector. In 2018 was 86% van de ammoniakemissie door de land- en tuinbouwsector afkomstig van de veeteelt, waarvan dan weer 44% afkomstig was van varkens en 42% van rundvee (VMM, 2020a). De ammoniakemissie wordt voor 70% veroorzaakt door emissies uit stallen (inclusief ondergrondse mestopslag). In 2018 was de landbouwsector



verantwoordelijk voor een kleine 10% van de totale Vlaamse broeikasgasemissie (VMM, 2020b). Methaan en lachgas uit de landbouw zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 74% en 59% van de Vlaamse methaan- en lachgasuitstoot en zijn voornamelijk gerelateerd aan de grootte van de veestapel (VMM, 2020b). Methaan ontstaat voornamelijk bij de voedervertering in de pens van herkauwers en komt ook vrij uit mest bij anaerobe omstandigheden tijdens de afbraak van organisch materiaal in de mest door micro-organismen of bacteriën. Een groot deel van de lachgasemissies is afkomstig van de bemesting, de rest is afkomstig van de (de)-nitrificatieprocessen tijdens de opslag

Klimaatverandering kan leiden tot (zie 5.4.3):

- Hogere temperaturen, wat tot meer hittestress kan leiden bij dieren en bijgevolg ook tot stalaanpassingen (bv. vernevelingsinstallaties, meer ventilatoren), deze laatste kan leiden tot meer ammoniakemissies.
- Meer piekregens die kunnen leiden tot een hoger risico op puntuitspoeling bij de opslag van mest op kopakkers.
- Hogere temperaturen, wat kan leiden tot meer broeikasgasemissies en ammoniakemissies vanuit mest.

Reductie van nutriëntenverliezen bij de opslag van mest

Ammoniakemissies tijdens de opslag van mengmest kunnen gereduceerd worden door (zie 5.4.4.1):

- Het verkleinen van het mestoppervlak. Dit is enkel mogelijk bij de bouw van een nieuwe opslagstructuur.
- Het opslaan van mest in een externe mestopslag. Dit biedt ook een voordeel naar klimaatverandering omdat er geen impact kan zijn van extra ventilatie wegens meer hitteperiodes.
- Het afdekken van opslagplaatsen van mengmest in silo's en tank met een deksel, dak of tentstructuur. Een minimale ventilatie blijft noodzakelijk zodat ontvlambare gassen zoals methaan zich niet opstapelen.
- Natuurlijke korstvorming. Dit is echter enkel praktisch realiseerbaar indien de mest niet regelmatig geroerd wordt, indien de nieuwe mest onder het korstoppervlak aangevoerd wordt en indien de mest ook effectief een korst vormt.
- Het afdekken van opslagbekkens, bassins en silo's. Afhankelijk van het type afdekking moet men opletten voor scheuren, wind, ventilatie, afvoeren van regenwater en de homogenisatie van de mest.
- Het gebruik van opslagzakken. De zakgrootte is hierbij limiterend voor de hoeveelheid mest die opgeslagen kan worden.
- Een anaerobe vergistingsinstallatie. Echter, bij het uitrijden is er dan een hogere ammoniakemissie.

Broeikasgasemissies bij de opslag van mest kunnen gereduceerd worden door (zie 5.4.4.2):

- Aerobe opslag (d.i. beluchting) van vaste mest en mengmest;
- Verdichting en afdekking van mesthopen.

De opslag van mest op de kopakker (zie 5.4.4.3) zal mogelijk een groter risico op uitspoeling vertonen bij klimaatverandering. Ten gevolge van klimaatverandering worden nattere winters voorspeld. Een verlenging van de periode van verplichte afdekking kan dus mogelijk bijkomende nutriëntenverliezen door klimaatverandering voorkomen. Onderzoek met vaste rundermest toonde echter aan dat het afdekken van de mesthoop geen milderende effecten had op stikstofverliezen onder de hoop ten opzichte van niet afdekken.

//
//

Reductie van nutriëntenverliezen uit stallen

Voor de reductie van broeikasgasemissies vanuit stallen wordt een mogelijkheid gezien in het frequenter verwijderen van mest (zie 5.4.5.2). Betreffende de optimalisatie van stallen ter reductie van ammoniakemissies wordt een onderverdeling gemaakt in rundveestallen, varkensstallen en pluimveestallen (zie 5.4.5.1).

Voor rundveestallen kunnen roostervloeren herbekeken worden. Een voorbeeld is het toepassen van een licht hellende vloer die gereinigd wordt met schrapers. Een andere mogelijkheid is het reinigen van roosters en vloeren met water. Nadelen aan deze mogelijkheid zijn de kost van water, extra mestopslag en een groter uit te rijden volume mest. Verder kan men ook kijken naar het ventileren van stallen met luchtwassers.

In varkenstallen kan ammoniakemissie gereduceerd worden door het emitterende oppervlak te verkleinen door bijvoorbeeld een schuine plaat aan te brengen met overloop in de mestkelder of een stankafsluiter. De mest kan ook verdund worden met water. Verder hebben ook het gebruik van balansballen in de mestkelder een ammoniakreductiepotentieel, maar deze functioneren niet altijd even goed in de praktijk.

Voor pluimvee heeft een mobiele voer- en drinklijn de potentie om emissies te reduceren. Het systeem is momenteel nog onvoldoende geoptimaliseerd en er moeten dezelfde productieresultaten kunnen gehaald worden als bij traditioneel gehuisveste kuikens. Ook het conditioneren van lucht die binnenkomt in vleeskippenstallen met een warmtewisselaar kan ervoor zorgen dat het ventilatiedebiet sterk verlaagd wordt, waardoor er ook een emissiereductie is.



Klimaatrobuustheid van de bepaling in het kader van nutriëntenbeheersing: gevolgen van veranderende weersomstandigheden op de effectiviteit van de bepaling m.b.t. nutriëntenemissies

- Niet klimaatrobuust
- Enigszins klimaatrobuust
- Klimaatrobuust, maar:

In het algemeen zijn de maatregelen klimaatrobuust, al kan er wel enig effect zijn van klimaatverandering op de nutriëntenverliezen (zie 5.4.3).

- Hogere temperaturen kunnen leiden tot meer hittestress bij dieren en bijgevolg ook tot stalaanpassingen (bv. vernevelingsinstallaties, meer ventilatoren), hetgeen op zijn beurt kan leiden tot meer ammoniakemissies.
- Piekregens ten gevolge van klimaatverandering kunnen leiden tot een hoger risico op puntuitspoeling bij de opslag van mest op kopakkers.
- Hogere temperaturen kunnen ook leiden tot meer broeikasgasemissies en ammoniakemissies vanuit de mest.

- Klimaatrobuust
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het “klimaatrobuuster” maken van de bepaling; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

- mogelijkheden met weinig potentieel

De opslag van mest op de kopakker (zie 5.4.4.3) zal mogelijk een groter risico op uitspoeling vertonen bij klimaatverandering. Ten gevolge van de klimaatverandering worden nattere winters voorspeld. Een verlenging van de periode van verplichte afdekking van de mesthopen kan dus mogelijk bijkomende nutriëntenverliezen door klimaatverandering voorkomen. Onderzoek met vaste rundermest toonde echter aan dat het afdekken van de mesthoop geen milderende effecten had op stikstofverliezen onder de hoop ten opzichte van niet afdekken.

- mogelijkheden met veel potentieel

Externe mestopslag buiten de stal. Dit is uiteraard enkel relevant bij nieuwe investeringen/vergunningen.

- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Inschatting van de bijdrage (positief of negatief) van de bepaling tot klimaatmitigatie

- veel positief
- matig positief: De huidige maatregelen voor opslag en stallen beperken reeds luchtemissies van nutriënten.
- matig negatief
- veel negatief
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het verbeteren van de bijdrage tot klimaatmitigatie; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)



mogelijkheden met weinig potentieel

Er zijn nog vele optimalisaties mogelijk aan stallen en opslag om luchtmissies te verminderen, meer specifiek de ammoniakemissies. Deze worden besproken in paragraaf 5.4.4.1 en 5.4.5.1.

mogelijkheden met veel potentieel

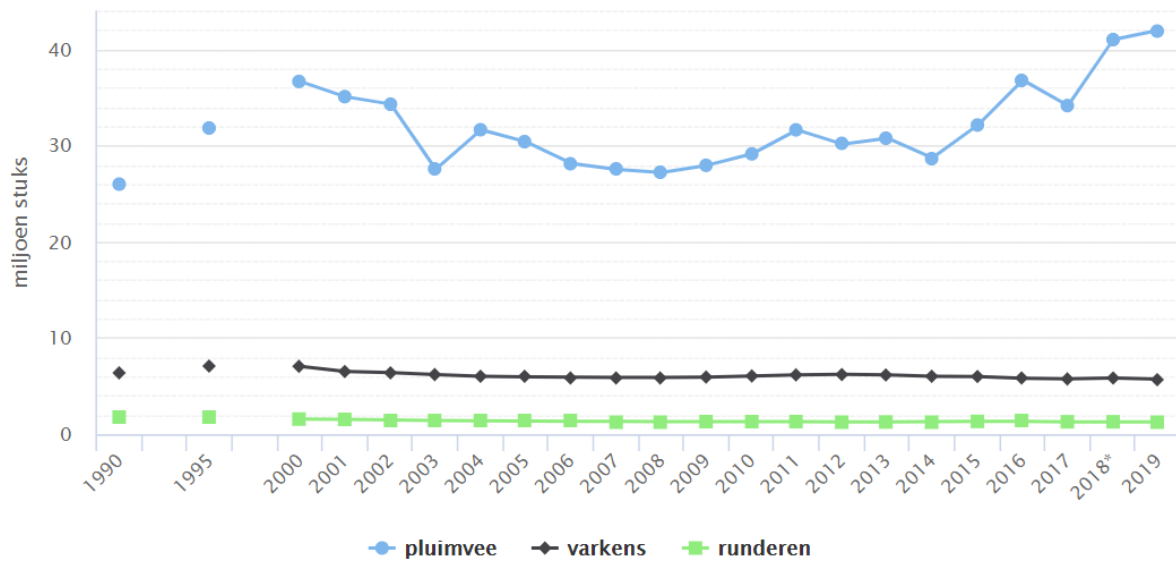
Voor de reductie van broeikasgasemissies vanuit stallen wordt een mogelijkheid gezien in het frequenter verwijderen van mest (zie 5.4.5.2). Broeikasgasemissies bij de opslag van mest kunnen gereduceerd worden door (zie 5.4.4.2):

- Aerobe opslag (d.i. beluchting) van vaste mest en mengmest;
- Verdichting en afdekking van mesthopen.

Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven



//

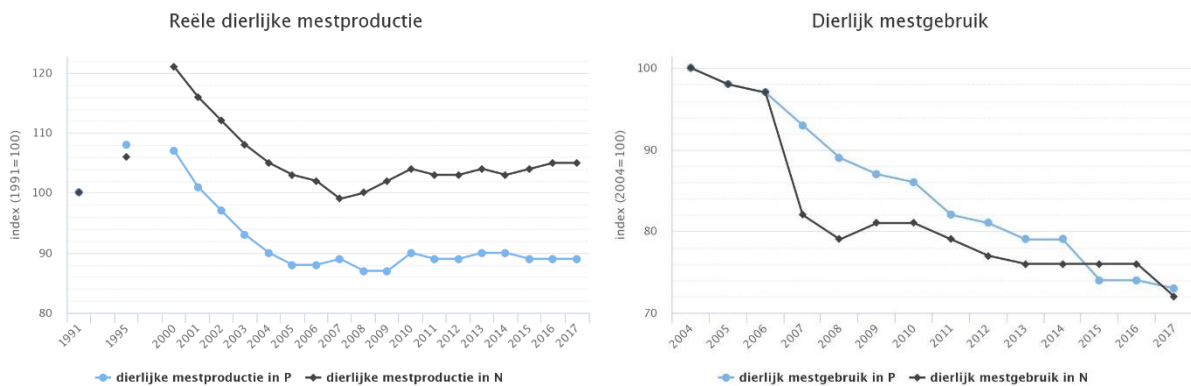


Figuur 41 Evolutie van de omvang van de veestapel in Vlaanderen voor de periode 1990-2019 (Vlaamse Milieumaatschappij 2020)

De evolutie van de mestproductie door de jaren heen wordt weergegeven in Figuur 42 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019a). De productie steeg van 1991-2000 door een vergroting van de veestapel en vervolgens daalde de mestproductie door een verhoogde voederefficiëntie en een krimpende veestapel. Sinds 2007 is het terug mogelijk om de veestapel per bedrijf te vergroten mits bijkomende mestverwerking. In 2017 bedroeg de totale reële dierlijke mestproductie 162,4 miljoen kg stikstof (N) en 26,3 miljoen kg fosfor (P). Ten opzichte van 1991 was er een stijging in N-productie en een daling in P-productie. Rundermest heeft het grootste aandeel in N en P in mest, gevolgd door varkens en pluimvee. Nutriëntenarme voeders en verbeterde voedertechnieken hebben er reeds toe geleid dat de hoeveelheid nutriënten in mest daalde.

Strengere bemestingsnormen opgenomen in het MAP hebben de laatste decennia geleid tot een daling van het dierlijke-mestgebruik (Figuur 42, Vlaamse Milieumaatschappij, 2019a). Hierbij is meestal de hoeveelheid P in de dierlijke mest een beperkende factor, waardoor er vaak nog extra stikstof via kunstmeststof toegevoegd wordt. Ongeveer alle ruwe rundermest en de helft van de varkensmest in Vlaanderen kan afgezet worden op de Vlaamse landbouwgrond. In 2017 was er een gebruik van 90,6 miljoen kg N en 38,9 miljoen P uit dierlijke mest.

Het dierlijk mestgebruik vertoonde de laatste decennia een dalende trend, die veroorzaakt werd door strengere bemestingsnormen. Voor de dierlijke mestproductie is in de periode van 2000-2006 ook een dalende trend waarneembaar, veroorzaakt door een krimpende veestapel, waarna de productie stagneert. Voor zowel stikstof als fosfor is de totale hoeveelheid dierlijke mest die geproduceerd wordt hoger dan het totale mestgebruik. Het mestoverschot in Vlaanderen wordt onbehandeld geëxporteerd of verwerkt tot bodemverbeterende stoffen in mestverwerkingsinstallaties, die vervolgens buiten Vlaanderen afgezet worden.



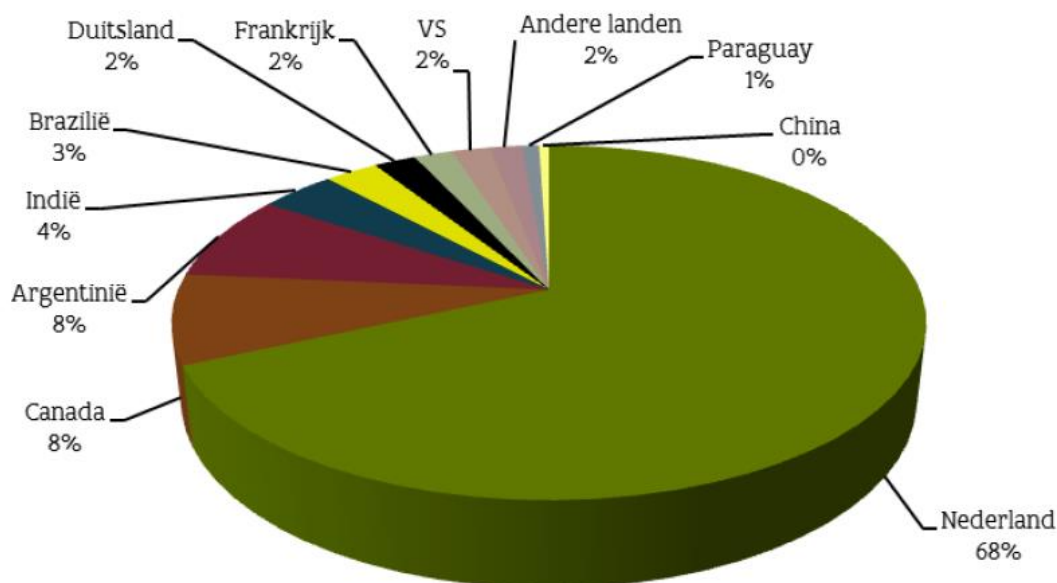
Figuur 42 Reële dierlijke mestproductie sinds 1991 (referentiejaar = 100) tot 2017 (links) voor N (zwart) en P (blauw) en dierlijke mestgebruik sinds 2004 (referentiejaar 2004=100) (rechts) voor N en P tot 2017. In 2017 bedroeg de totale reële dierlijke mestproductie 162,4 miljoen kg stikstof (N) en 26,3 miljoen kg fosfor (P) en was er 90,6 miljoen kg N en 38,9 miljoen kg P₂O₅-gebruik vanuit dierlijke mest. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019a)

Deze mestverwerking zorgt ervoor dat de mestbalans sinds 2007 in evenwicht is en draagt bij tot een lagere mestdruk en een vermindering van de ammoniakemissie. In 2017 werd zo'n 55,9 miljoen kg stikstof en 14,2 miljoen kg fosfor verwerkt en geëxporteerd. Voor stikstof komt dit overeen met 26% van de geproduceerde dierlijke N in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019b). Een kwart van deze geëxporteerde N bestond uit niet-dierlijke Vlaamse mest. Dit is dan geïmporteerde dierlijke mest of andere toegevoegde materialen die als input gebruikt worden tijdens het verwerkingsproces. Sinds 2008 is er een sterke stijging van de totale verwerking als gevolg van nieuwe mogelijkheden voor het uitbreiden van de veestapel op een bedrijf, hetgeen gekoppeld is aan de verplichte verwerking van de bijkomende dierlijke mest. Deze cijfers illustreren dus dat er een overproductie is van dierlijke mest in Vlaanderen.

5.5.1.2 Import van veevoeder

De productie van veevoeder vindt deels plaats op eigen bodem (bv. gras, snijmaïs, ...) maar wordt ook aangevuld met voeder afkomstig van buitenlandse bodem. Eiwitbronnen in de mengvoedersector zijn in België voor 50% afkomstig van buiten de EU. Bronnen van binnen de EU zijn koolzaad-, zonnepit-, lijnzaad- en een deel sojaschroot (Danckaert, 2016). In 2014 importeerde België in totaal zo'n 1,578 miljoen ton sojaproducten uit 31 verschillende landen waarvan een deel opnieuw geëxporteerd werd. 74 % van de totale import was afkomstig van binnen de EU (Figuur 43, hoofdzakelijk uit doorvoerland Nederland (Danckaert, 2016)).





Figuur 43 Herkomst van de soja-import in België in 2014. 74 % van de totale import was afkomstig van binnen de EU (hoofdzakelijk uit doorvoerland Nederland) (Danckaert, 2016 dewelke refereert naar FAOstat).

Netto voerde België in dat jaar 690.000 ton sojaschroot in, alsook 75.000 ton sojaolie (61% voor technische doeleinden (industrie, farmacie, veevoer) en 39% voor voeding) en 193.000 ton sojabonen (Danckaert, 2016). Sojabonen worden gebruikt in zowel de voedings- als de veevoedingsindustrie, sojaschroot wordt vooral in veevoeder gebruikt (een klein aandeel gaat naar de voedingsindustrie) en sojaolie en andere raffinageproducten (bv. sojalecithine, isolaat, bloem en concentraat) worden zowel in de voeding als in de veevoeding en in de industrie gebruikt (Danckaert, 2016).

De import van veevoeder impliceert enerzijds een import van nutriënten, die vervolgens in mest worden omgezet in België en bijgevolg bijdragen aan nutriëntenverliezen. Deze import vanuit overzeese gebieden gaat ook gepaard met broeikasgasemissies ten gevolge van het transport.

5.5.1.3 Bemerkingen bij de huidige systemen

Dit onderdeel geeft een meer overkoepelend beeld van de nutriëntencyclus en is ontstaan door enkele bemerkingen tijdens de workshop. Hierin werd gesteld dat de MAP-bepalingen betreffende de mestbalans en de nutriëntenemissierechten (NER) in hun huidige implementatie niet altijd even efficiënt meer zijn in het beperken van nutriëntenverliezen. De nutriëntenhalte (voorganger van de nutriëntenemissierechten) werden oorspronkelijk opgesteld om de veestapel te beperken en niet om deze uit te breiden. Wanneer dit omgezet werd naar nutriëntenemissierechten werd uitbreiding van de veestapel wel mogelijk via mestverwerking. De invloed van de klimaatverandering op deze MAP-bepalingen naar N- en P-verliezen werd verondersteld eerder klein te zijn, maar er werd aangegeven dat een bijsturing van deze bepalingen kan leiden tot een vermindering van broeikasgasemissies. Mogelijke punten waar nog vooruitgang kan geboekt worden volgens de experts die



deelnamen aan de paneldiscussies en die gerelateerd zijn aan het sluiten van de nutriëntencyclus worden hieronder weergegeven:

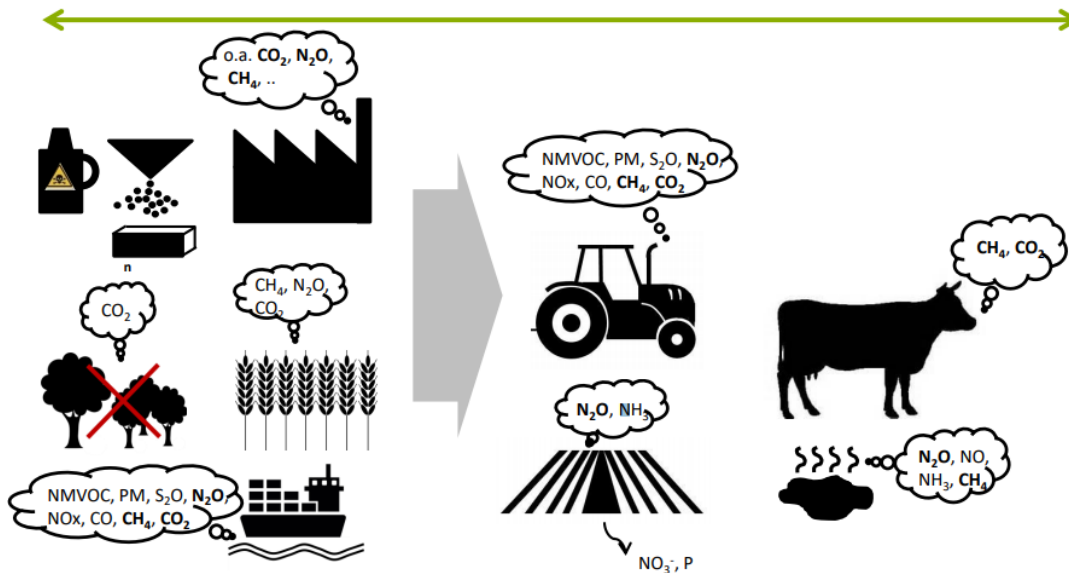
- De mestbalans wordt gebruikt om bedrijven door te lichten, met name om na te gaan of het gebruik van stikstof en fosfaat zich bevindt binnen de limieten gesteld door het Mestdecreet. De achterliggende ideeën houden rekening met een gemiddelde teeltproductie bij de gemiddelde weerscondities en houden er dus geen rekening mee dat teeltmislukkingen in een veranderend klimaat meer kunnen voorkomen. Zo kan het lijken dat de bemesting overeenkomt met de opname, terwijl er in werkelijkheid een nutriëntenoverschot is dat kan uitspoelen.
- Nutriëntenemissierechten (NER) zijn individuele en verhandelbare rechten die initieel worden toegekend aan een bedrijf op basis van de referentiemestproductie van de dieren op dit bedrijf. Ze werden oorspronkelijk gebruikt als maatregel om het mestoverschot te beperken. Dit wou men realiseren door een stijging van het aantal dieren te voorkomen zonder afbreuk te doen aan de groeikansen van het bedrijf. De landbouwer krijgt hierbij zelf de verantwoordelijkheid om de nutriënten op zijn bedrijf te beheren en niet meer dierlijke mest te produceren dan toegelaten. Bedrijfsuitbreiding blijft mogelijk door NER van andere bedrijven over te kopen voor de desbetreffende diersoort, of door een uitbreiding aan te vragen. In dit laatste geval moet men aan een aantal voorwaarden voldoen, zoals een bewezen efficiënte mestverwerking. Uit de paneldiscussies met de experts bleek dat, door deze mogelijkheid van bedrijfsuitbreiding op voorwaarde van mestverwerking, het systeem open en moeilijk te sturen is. Indien men wil kijken naar het sluiten van de nutriëntencyclus zal men mogelijk ook moeten kijken naar een andere invulling van de NER. Het herbekijken van deze kan in elk geval gunstig zijn om de klimaatdoelstellingen te behalen.

5.5.2 Sluiten van de nutriëntencyclus op Vlaamse schaal?

Tijdens de workshop met de experts kwam aan bod dat er voor het sluiten van de nutriëntencyclus een herevaluatie nodig is op grotere schaal dan op bedrijfsniveau. Algemeen gezien moet niet enkel gekeken worden naar rechtstreekse bronnen vanuit de landbouw, zoals bijvoorbeeld methaanuitstoot door de veeteelt, methaan-, lachgas- en ammoniakemissies uit dierlijke mest, lachgasemissies uit kunstmest, enz., maar ook naar de achterliggende processen zoals bijvoorbeeld de nutriëntenverliezen door de productie en het transport van kunstmest, het transport van veevoerders, enz. Al deze factoren worden mee opgenomen in een levenscyclusanalyse (LCA). Figuur 44 geeft een voorbeeld van rechtstreekse en onrechtstreekse emissies van broeikasgassen vanuit de landbouw die bijdragen aan de klimaatopwarming (Van Linden, 2019). Dat het van belang is om beide groepen van emissies mee op te nemen kwam onlangs opnieuw naar voor nadat een studie van Greenpeace becijferde dat de Europese veehouderij in 2018 meer broeikasgassen uitstootte dan het totale Europese personenverkeer. Dit was geen correcte analyse, omdat voor de veeteelt de indirecte uitstoot van de industriële processen en van de energieproductie die ingezet worden bij dierlijke productie alsook de overzeese teelt van soja mee in rekening gebracht werd, terwijl bij het personenverkeer de uitstoot bij de productie van auto's niet mee opgenomen werd (Vilt, 2020).



LCA benadering (levenscyclus)



Figuur 44 Onrechtstreekse (links) en rechtstreekse bronnen (rechts) vanuit de landbouw met een milieu-impact. Een levenscyclusanalyse houdt met rechtstreeks en onrechtstreekse bronnen rekening (Van Linden, 2019).

Een volledige doorrekening voor het sluiten van de nutriëntencyclus is een complexe oefening en valt buiten deze literatuurstudie. Theoretisch gezien zou een volledige doorrekening moeten starten bij de draagkracht van het Vlaamse landbouwsysteem, om zo te kijken wat de mogelijkheden zijn voor mestverwerking en mestafzet, en niet omgekeerd. Voldoen aan de draagkracht van het Vlaamse landbouwsysteem betekent ook nagaan hoeveel areaal er per landbouwactiviteit kan zijn, aangezien het sluiten van de nutriëntencyclus ook impliceert dat veevoeder volledig in Vlaanderen geproduceerd wordt en niet geïmporteerd wordt. Een andere optie tot het sluiten van de nutriëntencyclus is dat er evenveel nutriënten onder de vorm van (al dan niet verwerkte) mest geëxporteerd worden dan dat er nutriënten geïmporteerd worden o.a. onder de vorm van veevoeder. Aan dit laatste scenario zijn dan wel indirecte emissies verbonden zoals bijvoorbeeld transportkosten. Finaal bekomt men dan hoe groot de veestapel kan zijn om dit systeem aan te houden. Indien we de nutriëntencyclus op Vlaamse schaal willen sluiten, betekent dit ook productie voor eigen volk en minder of zelfs geen export van landbouwproducten. Het wordt in vraag gesteld of dit een realistische situatie is, aangezien Vlaanderen hier dan volledig op zichzelf staat, hetgeen ook beperkend is. Dit impliceert o.a. dat er ook geen import van landbouwproducten is. Men kan wel maximaal inzetten op het zo lokaal mogelijk sluiten van de nutriëntencyclus, waarbij veevoeder in de nabije omgeving geproduceerd wordt en niet van ver geïmporteerd wordt. Het is hierbij ook heel belangrijk om op te merken dat het sluiten van de cyclus op Vlaamse schaal geen positieve invloed zal hebben op het nutriëntenverhaal op grote schaal. Door de grote vleesproductie en vleesexport is er lokaal in Vlaanderen een grote mestproductie met bijhorende nutriëntenverliezen, maar is er een grote efficiëntie met relatief gezien beperkte nutriëntenverliezen (Zie Figuur 45). Echter, indien Vlaanderen enkel vlees zou produceren voor eigen consumptie en niet meer zou exporteren, dan zouden andere landen starten met veeteelt. Op grote schaal betekent het verplaatsen van de vleesproductie dus een verplaatsing van de nutriëntenverliezen met mogelijk zelfs meer nutriëntenverliezen naar andere landen. Er is dus een verschil



in mogelijke aanpak en resultaat afhankelijk of men het verhaal op Vlaamse, Europese of wereldschaal wil aanpakken. Het lokaal aanpakken van het nutriëntenprobleem heeft dus niet steeds een gunstig resultaat op grote schaal.

5.5.3 Wat doet Europa?

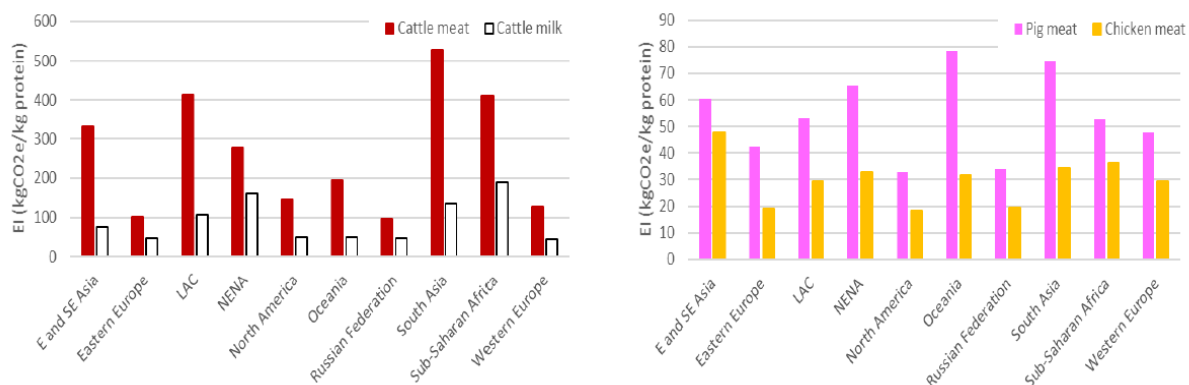
5.5.3.1 Een duurzame Europese veestapel

Een duurzame Europese veehouderij impliceert een analyse waarbij rekening gehouden wordt met het milieu, de economie en de samenleving. In 2020 werd een rapport gepubliceerd van een studie met de titel “Future of EU livestock – How to contribute to a sustainable agricultural sector?”. Een korte samenvatting van de zaken relevant in deze literatuurstudie wordt hier gegeven (Peuraud & MacLeod, 2020).

- Op economisch vlak was de Europese veehouderij verantwoordelijk voor 40% van de landbouwinkomsten, met een productiewaarde van 170 miljard euro in 2017 in de EU-28. In o.a. Ierland, Denemarken, het Verenigd Koninkrijk en België is het aandeel veeteelt ten opzichte van de totale landbouwactiviteit hoog, respectievelijk 74%, 66%, 60% en 59% (Peuraud & MacLeod, 2020).
- Op sociaal vlak zorgt de sector voor een tewerkstelling van ongeveer 4 miljoen mensen (Peuraud & MacLeod, 2020).
- Op milieuvlak was de landbouwsector van de EU-28 in 2017 verantwoordelijk voor 10% van de totale broeikasgasemissies in de regio. De veehouderijsector (inclusief productie, vervoer en verwerking van diervoeder) heeft een bijdrage van 81-86% aan de landbouwkundige broeikasgasuitstoot. Herkauwers kunnen dan weer een positief effect hebben op de koolstofuitstoot uit de bodem door het behoud van permanent grasland (Peuraud & MacLeod, 2020).

Bij het kijken naar het sluiten van de nutriëntencyclus wordt vaak naar de veehouderij gekeken en gesteld dat de productie gereduceerd moet worden. Peuraud & MacLeod (2020) benadrukken dat een brede visie moet gehanteerd worden betreffende veehouderij en dat voor elke mogelijke aanpassing alle mogelijke consequenties moeten onderzocht worden. Zo is de efficiëntie van de veeteelt van belang. Figuur 45 geeft een weergave van gemiddelde emissie-intensiteiten per regio voor de productie van runderen, kippen en varkens. Een productiedaling in de EU kan leiden tot een verschuiving van de productie naar andere werelddelen, hetgeen niet noodzakelijk leidt tot een duurzamere voedingsketen op wereldschaal en volgens Figuur 45 zelfs tot meer emissies zal leiden in CO₂-equivalenten. Zeker voor runderen behoort West-Europa bij de meest efficiënte producenten. Ook hier kan het klimaat een invloed op hebben en het is niet geweten of deze conclusie nog steeds geldt bij klimaatverandering. Voor varkens en kippen zijn er een aantal regio's die het beter doen dan West-Europa in termen van emissies in CO₂-equivalenten en een aantal regio's die het slechter doen. Uiteraard kan een daling van de productie ook gerealiseerd worden door een daling van de vraag, hetgeen een aanpassing van ons voedingspatroon vereist.





Figuur 45 Regionale gemiddelde emissie-intensiteiten (EI, kg CO₂-equivalent per eenheid van output) voor 2010 voor vlees en melk van runderen (links) en voor varkens- en kippenvlees (rechts). De emissies omvatten zowel de gegevens voor en op de boerderij (FAO, 2017).

Peuraud & MacLeod (2020) melden ook dat veehouderij niet enkel voedselproductie is maar dat er ook gekeken moet worden naar het sociaal-culturele belang van de sector. Innovaties moeten dus niet enkel kijken naar productie maar ook naar andere factoren zoals klimaat, gezondheid en dierenwelzijn. Verder moet het overheidsbeleid er voor zorgen dat bij een transitie naar meer duurzame systemen, ook de werkgelegenheid en de continuïteit van landbouwbedrijven verzekerd blijft. De uitdagingen voor het reduceren van nutriëntenverliezen en klimaatmitigatie zijn niet enkel gerelateerd aan veehouderij maar er is een samenhang met andere landbouwsectoren zoals bijvoorbeeld N₂O-emissies die zowel van minerale (kunstmest) als van organische (dierlijke mest) oorsprong kunnen zijn. Veehouderij heeft ook zijn bijdrage in landschapsmanagement en behoud van habitat met graslanden en geassocieerde hagen. Het blijft dus belangrijk om niet naar de veehouderij te kijken als een apart systeem maar het gehele agro-voedselsysteem te bekijken. Peuraud & MacLeod (2020) schuiven volgende punten naar voor om naar een circulaire benadering te gaan:

- Een stijging in de efficiëntie van het gebruik van bronnen, hetgeen leidt tot een reductie in de in- en outflow van productiesystemen, met een minder negatieve impact tot gevolg. Belangrijk hierbij is om ook de mogelijkheid van systemen die de kwaliteit van ecosystemen en bronnen behouden of regenereren mee op te nemen. Een voorbeeld hiervan is het inzetten op een efficiëntere voederconversie bij vee.
- Substitutie van bronnen door een bron met een lagere impact. Dit kan bijvoorbeeld door het gebruik van stikstoffixeerders in plaats van kunstmest of door een beter gebruik van dierlijke mest met een lager kunstmestgebruik als gevolg.
- Identificeren van synergieën door processen te integreren, hetgeen soms een grondiger hertekening van het landbouwsysteem/de voedselketen betekent. Zo kan men bijvoorbeeld inzetten op de mogelijkheid om in de veeteelt verschillende biomassa's als voeder te gebruiken, hetgeen teelrotaties bevordert. Er kan ook ingezet worden op een betere uitwisseling van dierlijke mest tussen regio's met veeteelt en regio's met de teelt van gewassen.



5.5.3.2 Hergebruik van verwerkte dierlijke mest als “kunstmeststof”

Bij een circulaire economie worden afvalstoffen hergebruikt. Gedurende de groepsdiscussies met de experts werd meermaals aangehaald dat mestverwerkingsproducten moeten kunnen ingezet worden als kunstmestvervanger. Momenteel is er echter nog geen wet die het gebruik van mestverwerkingsproducten als kunstmestvervanger toelaat.

Bij de huidige verwerking van dierlijke mest in een biogasinstallatie wordt het digestaat aanzien als dierlijke mest. Dit werkt enigszins beperkend voor de afzet van dit product, aangezien uit Figuur 42 blijkt dat er al meer mestproductie is dan afzetmogelijkheden (=gebruiksmogelijkheden). Het gebruik van dierlijke mest wordt namelijk beperkt tot 170 kg N/ha in Vlaanderen, tenzij er derogatie aangevraagd en goedgekeurd wordt. Indien deze organische reststromen opgewaarderd kunnen worden tot kunstmest, d.i. als een biogebaseerde kunstmestvervanger, dan biedt dit weer meer mogelijkheden tot afzet en is er ook een CO₂-besparing door minder gebruik en productie van kunstmest. Dit bevordert een circulaire landbouw. Bovendien kan hierdoor de organische stof maximaal op de Vlaamse of Belgische landbouwbodems terecht komen en niet geëxporteerd worden indien dit past binnen de gebruiksnormen voor N en P. Het belang van organische stof voor de bodemkwaliteit wordt in detail besproken in Luik 3.

Het Joint Research Centre van de Europese Commissie definieerde gerecupereerde meststoffen uit dierlijke mest als “RENURE” (afkomstig van “recovered nitrogen from manure”) indien onder andere aan volgende voorwaarden voldaan wordt (Van Noort, 2021):

- Een verhouding van minerale N op totale N die groter dan of gelijk is aan 90% of de verhouding van totale organische koolstof (TOC) op het totale N-gehalte moet kleiner dan of gelijk zijn aan 3.
- Betreffende zware metalen mag er niet meer dan 300 mg koper (Cu) per kg droge stof, 1 mg kwik (Hg) per kg droge stof en 800 mg zink (Zn) per kg droge stof aanwezig zijn.

In het kader van het SAFEMANURE-project werd de dunne fractie van digestaat onderzocht en bleek 80% van de stalen te voldoen aan deze eerste voorwaarde. Na een doorgedreven scheiding van de dunne fractie van het digestaat werden echter waarden van 2,9 mg kwik per kg droge stof teruggevonden (Biogas-e, 2020). De RENURE-meststoffen vertonen een hoger risico op ammoniakale emissies onder bepaalde omstandigheden, vooral indien minder dan 40% van de totale stikstof in de vorm van nitraatstikstof aanwezig is en bij gebruik van de meststoffen op bodems met een pH hoger dan 5. Maatregelen moeten getroffen worden om deze emissies te voorkomen, alsook om emissies bij opslag van RENURE te voorkomen (Biogas-e, 2020). Ook herwonnen ammoniumnitraat, ammoniumsulfaat en mineralenconcentraat scoorden goed als biogebaseerde kunstmeststof. Zoals eerder vermeld is er momenteel nog geen wet die het gebruik van mestverwerkingsproducten als kunstmestvervanger toelaat. Europa bekijkt wel de mogelijkheden om mestverwerkingsproducten als kunstmestvervanger toe te laten.

5.5.4 Maatregelen om de nutriëntencyclus te sluiten

In een finaal rapport van een studie uitgevoerd in opdracht van de Europese Commissie in 2016 met de titel “Resource efficiency in practice – closing mineral cycles” (Tostivint et al., 2016) wordt gesteld om in te zetten op drie strategieën om nutriëntenverliezen te beperken:



- reduceren van de bron van contaminatie, d.i. reductie van nutriëntengebruik,
- verbeteren van de productiviteit van nutriënten, d.i. recycleren en hergebruik van nutriënten, en
- controleren van de transfer van vervuiling, d.i. limiteren van de nutriëntentransfer tussen verschillende omgevingscompartimenten.

Voor de veeteelt worden concreet volgende maatregelen opgesteld:

- Reductie van de bron van contaminatie
 - o Reductie van de mestproductie
 - Reductie of limiteren van de veeteelt per eenheid van oppervlakte
 - Gebruik van geschikte voederpraktijken
 - o Reduceren van de hoeveelheid nutriënten in mest
 - Gebruik van geschikte voederpraktijken
 - Verwijderen van nutriënten uit mest
- Verbetering van de nutriëntenefficiëntie
 - o Bewerken van mest om hergebruik te vergemakkelijken
 - o Gebruik van mest om energie te produceren
- Controleren van de transfer van vervuiling
 - o Maatregelen gerelateerd aan stallen
 - Keuze van een geschikt stalstrooisel / bodembedekking in de stal
 - Reductie van de ammoniakvervluchtiging bij de opslag
 - o Maatregelen gerelateerd aan weilanden
 - Optimalisatie van het graasmanagement
 - o Maatregelen gerelateerd aan opslag
 - Verhoogde opslagcapaciteit
 - Ondoorlaatbaar maken van de opslaginfrastructuur
 - Inhiberen van vervluchtiging

Voor de gewasproductie worden volgende maatregelen voorgesteld:

- Reductie van de contaminatiebron
 - o Ontwikkelen en verbeteren van een bemestingsplan voor N en P
 - o Meststoffen toevoegen op het geschikte tijdstip
 - o Transfer van mest van gebieden met veel mestproductie naar gebieden met minder mestproductie
- Stijging van de nutriëntenefficiëntie
 - o Incorporeren van gewasresiduen
 - o Telen van meerjarige energiegewassen (bv. wilgen)
 - o Gebruik van vanggewassen
 - o Ontwikkelen van agroforestry
 - o Vestigen van paludicultuur (natte teelten) op opnieuw vernatte veengronden. Veengebieden worden namelijk vaak drooggepompt om er gewassen op te kunnen telen, met nadelige gevolgen voor het klimaat. Paludicultuur combineert de reductie vanuit broeikasgasemissies uit



5.5.5 Case-study: Maatregelen om de nutriëntencyclus te sluiten op bedrijfsniveau in Centraal Denemarken

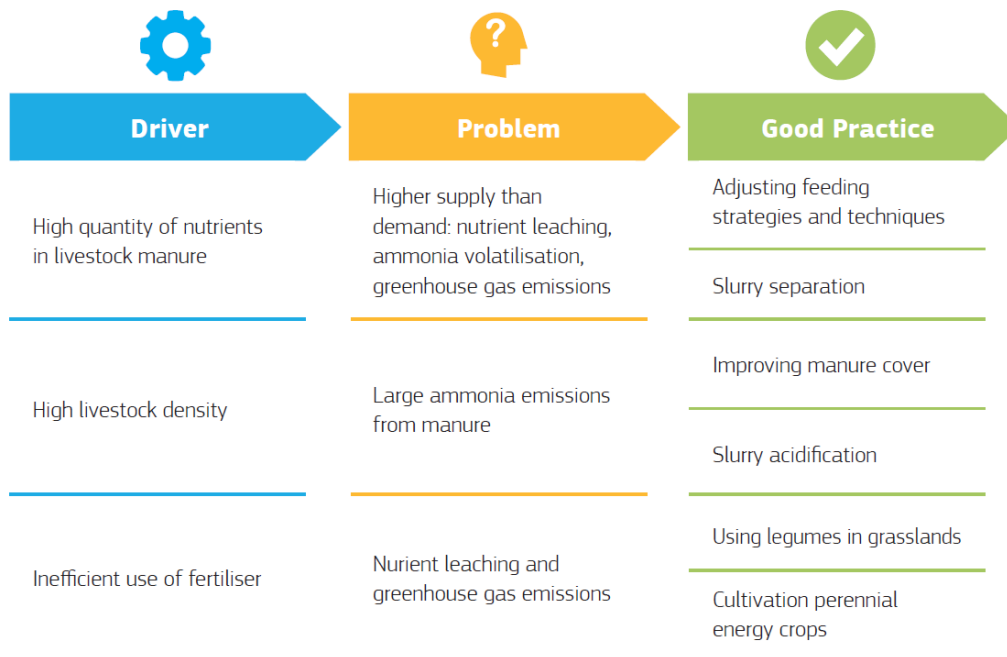
Tostivint et al., 2016 bespreken ook enkele cases (regio's) en de genomen maatregelen om nutriëntencyclusen verder te sluiten. Als voorbeeld wordt hier dieper ingegaan op het sluiten van de nutriëntencyclus in Centraal Denemarken op bedrijfsschaal zoals beschreven door Carter & Cherrier (2016) in het kader van bovenstaande Europese studie.

Alvorens te kijken op regionale schaal, moet men in eerste instantie al op bedrijfsniveau streven naar het sluiten van de nutriëntencyclus en naar het vermijden van nutriëntenverliezen. Hiervoor moet men eerst nagaan wat de drijvende kracht is en welke problemen dit geeft, vervolgens kan men kijken naar maatregelen die de verliezen nog verder kunnen beperken. Een voorbeeld van zo'n stamien werd opgesteld voor Centraal Denemarken, een regio die ook gekenmerkt wordt door een intensieve landbouw met veeteelt en gewasproductie (Carter & Cherrier, 2016). Zij zien drie grote drijvende krachten die problemen met nutriënten veroorzaken in het huidige landbouwsysteem (waar reeds een aantal maatregelen van kracht zijn):

- Een grote hoeveelheid nutriënten in dierlijke mest zorgt voor een groter mestaanbod dan de mestvraag hetgeen het risico op nutriëntenuitspoeling, ammoniakvervluchtiging en broeikasgasemissies doet stijgen. Voorgestelde maatregelen hiervoor zijn het aanpassen van voederstrategieën en voedertechnieken (zie 17.4) en het scheiden van drijfmest. Bij dit laatste wordt de mest gescheiden in een N-rijke vloeibare fractie en een P-rijke vaste fractie. De vaste fractie wordt weggevoerd van de boerderij om zo de totale P-belasting van het bedrijf te doen dalen. Het scheiden van drijfmest maakt een verbeterd gebruik van nutriënten uit de drijfmest mogelijk. De toepassing van deze maatregel is echter pas economisch rendabel vanaf een mestproductie van 10000 ton mest per jaar.
- Een grote dichtheid aan veeteelt resulteert in grote ammoniakemissies. Maatregelen om deze te reduceren zijn een betere afdekking van de mest (zie 5.4) en het aanzuren van de mest. Tijdens paneldiscussies hebben de experts echter aangegeven dat zij weinig toekomst zagen in het aanzuren van mest doordat er ook een hele reeks negatieve gevolgen aan gekoppeld zijn.
- Een inefficiënt gebruik van meststoffen werkt uitspoeling van nutriënten in de hand, alsook broeikasgasemissies. Voorgestelde maatregelen in dit verband zijn het gebruik van vlinderbloemigen in

//
//

grasland en het telen van meerjarige gewassen. Zo zou de teelt van wilgen de stikstofuitspoeling met 70% reduceren ten opzichte van een jaarlijkse graanproductie.



Figuur 46 Selectie van goede praktijkmaatregelen in Centraal Denemarken (Carter & Cherrier, 2016).

5.5.6 Conclusies

De intensieve veeteelt in Vlaanderen creëert een mestaanbod dat groter is dan de mestafzet op Vlaamse landbouwgronden. Het mestoverschot wordt mede veroorzaakt door de import van veevoeder, waardoor ook nutriënten geïmporteerd worden, en met deze import gaan ook broeikasgasemissies gepaard ten gevolge van transport. Het mestoverschot in Vlaanderen wordt onbehandeld geëxporteerd, verwerkt tot stikstofgas (biologisch) of verwerkt tot bodemverbeterende stoffen in mestverwerkingsinstallaties, dewelke vervolgens uitgevoerd worden buiten Vlaanderen. Sinds 2008 is er een sterke stijging van de totale verwerking.

Het systeem van de mestbalans en nutriëntenemissierechten werd initieel opgesteld om de veestapel en de mestproductie niet verder te laten toenemen en om overbemesting te vermijden. In de huidige implementatie zijn er echter te weinig beperkende factoren (zie 5.5.1.3). De mestbalans houdt bovendien rekening met gemiddelde teeltproducties bij huidige weerscondities die bij een veranderend klimaat moeilijker realiseerbaar zullen zijn.

Theoretisch gezien zou een volledige doorrekening van de nutriëntencyclus moeten starten bij de draagkracht van het Vlaamse landbouwsysteem. Voldoen aan de draagkracht van het Vlaamse landbouwsysteem betekent ook nagaan hoeveel areaal er per deelsector van de Vlaamse landbouw kan zijn, aangezien het sluiten van de



nutriëntencyclus ook impliceert dat veevoeder volledig in Vlaanderen geproduceerd wordt en niet geïmporteerd wordt (zie 5.5.2). Finaal bekomt men dan hoe groot de veestapel kan zijn om dit systeem aan te houden en hoe nutriëntenverliezen op een duurzame manier in te perken.

Inperken van de veestapel op Vlaamse of Europese schaal, zonder dat er een daling in consumptie is kan leiden tot een verplaatsing van de productie naar andere werelddelen hetgeen niet noodzakelijk leidt tot een duurzame voedingsketen op wereldschaal. Zeker niet aangezien de West-Europese efficiënte productie bij runderen gepaard gaat met relatief weinig broeikasgasemissies (zie Figuur 40). Bovendien moet er voor elke beslissing niet enkel rekening gehouden worden met de milieuaspecten, maar ook met de economische en sociale aspecten. Voor het sluiten van de nutriëntencyclus moet naar het gehele agro-voedselsysteem gekeken worden en niet enkel naar de veehouderij. Het opwaarderen van organische reststromen tot kunstmest kan een belangrijke stap zijn in een circulaire economie omdat het kan leiden tot een verminderd kunstmestgebruik. Momenteel is er echter nog geen wet die het gebruik van mestverwerkingsproducten als kunstmestvervanger toelaat. Europa bekijkt wel de mogelijkheden om mestverwerkingsproducten als kunstmestvervanger toe te laten (zie 5.5.3.2).

Er zijn verschillende maatregelen die getroffen kunnen worden voor het sluiten van de nutriëntencyclus (zie 5.5.4 en 5.5.5). Een belangrijk deel van de voorgestelde maatregelen wordt reeds geïmplementeerd in Vlaanderen (bv. vanggewassen, bemesten volgens de vier J's). Voor sommige maatregelen zijn nog optimalisaties mogelijk. Voorbeelden hiervan zijn het verbeteren van het bemestingsplan voor N en P door het toepassen van fractionering (zie 5.1), de aanpassing van de veerantsoenen om broeikasgasemissies te verminderen (zie 17.4), de optimalisatie van de opslag van mest en van de stallen (zie 5.4) enz., die elk kunnen leiden tot verminderde nutriëntenverliezen via uitspoeling en/of luchtmissies.

Klimaatrobustheid van de bepaling in het kader van nutriëntenbeheersing: gevolgen van veranderende weersomstandigheden op de effectiviteit van de bepaling m.b.t. nutriëntenemissies

- Niet klimaatrobust
- Enigszins klimaatrobust
- Klimaatrobust, maar: Het sluiten van de nutriëntencyclus, de mestbalans en de nutriëntenemissierechten zijn op zich niet onderhevig aan klimaatverandering. Het sluiten van de nutriëntencyclus zal echter wel bemoeilijkt worden door een veranderend klimaat. Betreffende de mestbalans geldt dat de achterliggende ideeën rekening houden met gemiddelde teeltproducties bij huidige weerscondities en dat deze er dus geen rekening mee houden dat teeltmislukkingen in een veranderend klimaat meer kunnen voorkomen. Zo kan het lijken dat de bemesting overeenkomt met de opname, terwijl er in werkelijkheid een nutriëntenoverschot is dat kan uitspoelen.
- Klimaatrobust:
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het “klimaatrobuster” maken van de bepaling; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

- mogelijkheden met weinig potentieel
- mogelijkheden met veel potentieel:
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven



Inschatting van de bijdrage (positief of negatief) van de bepaling tot klimaatmitigatie

- veel positief
- matig positief: De mestbalans en nutriëntenemissierechten werden initieel opgesteld om de veestapel en mestproductie te beperken. In de huidige implementatie zijn er echter nog amper beperkende factoren (zie 5.5.1.3)
- matig negatief
- veel negatief
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven

Mogelijkheden voor het verbeteren van de bijdrage tot klimaatmitigatie; randvoorwaarden (stimulansen en obstakels)

- mogelijkheden met weinig potentieel
- mogelijkheden met veel potentieel: Er zijn een hele reeks mogelijke maatregelen die inzetten op het sluiten van de nutriëntencyclus, en die bijgevolg ook een impact hebben op nutriëntenverliezen door uitspoeling en luchtmissies. Een heel deel van deze voorgestelde maatregelen zijn reeds voorzien in Vlaanderen (vb. vanggewassen, bemesten volgens de vier J's). Voor sommige maatregelen zijn nog optimalisaties mogelijk. Voorbeelden hiervan zijn het verbeteren van het bemestingsplan voor N en P door het toepassen van fractionering (zie 5.1), de aanpassing van de veerantsoenen om broeikasgasemissies te verminderen (zie 17.4), de optimalisatie van de opslag van mest en van de stallen (zie 5.4) enz., die elk kunnen leiden tot verminderde nutriëntenverliezen via uitspoeling en/of luchtmissies, ... Belangrijk in het hele verhaal is om zowel het milieuaspect als het sociale en economische aspect mee op te nemen en te onthouden dat het verminderen van veeteelt op Europese schaal niet noodzakelijk zal leiden tot duurzaamheid op wereldschaal omwille van o.a. efficiënte runderproductiesystemen in Europa (zie Figuur 45) en het risico op het verplaatsen van de luchtmissies naar andere continenten. Het gebruik van herwerkte dierlijke mest als kunstmeststof kan een belangrijke stap zijn in een circulaire economie omdat het zal leiden tot een verminderd kunstmestgebruik.
- Onvoldoende informatie om een onderbouwd antwoord te geven



6. LUIK 1: MOGELIJKHEDEN TOT VERDER ONDERZOEK

In wat volgt willen de auteurs graag dieper ingaan op mogelijkheden tot verder onderzoek. Bovenstaand onderzoek over de MAP-bepalingen vormt een verkennende literatuurstudie. Verdere uitwerking van de aanpassing van de bepaling vergt wellicht bijkomend onderzoek. Zo kan indien men bijvoorbeeld verder wil gaan met referentiepercelen voor de bepaling van de drempelwaarde van het nitraatresidu per jaar in een vervolgstudie bepalen welke percelen hiervoor in aanmerking komen en ook aan welke bemesting- en landbouwpraktijken voldaan moet worden. Een ander voorbeeld ter verder onderzoek is betreffende het inzetten van mengsels van vanggewassen om N-lekken door mineralisatie van afgestorven groenbedekkers in de winter tegen te gaan. Praktijkproeven kunnen uitwijzen welke praktische belemmeringen er zijn en kunnen nagaan wat de meerwaarde van deze mengsels is ten opzichte van eenvoudige vanggewassen op het nitraatresidu in het voorjaar. Ook een doorrekening voor het sluiten van de nutriëntencyclus behoort tot mogelijkheden voor verder onderzoek.

Een andere optie ter verder onderzoek is om de invloed van klimaatverandering na te gaan op landbouwproductie en nitraatresidu. Dit kan door een analyse te doen van data tijdens de afgelopen jaren waar reeds extreme droogten aanwezig waren. Men kan dan bijvoorbeeld nagaan of er bepaalde trends zijn tussen de weersparameters en productiviteit en nitraatresidu, en of deze trends gerelateerd zijn aan de bodemtextuur.

Verder zijn er ook nog veel vragen die te maken hebben met veranderende weersomstandigheden:

- Hoe wordt het nitraatresidu beïnvloed door veranderende weersomstandigheden?
- Wat is de N-beschikbaarheid bij droogte?
- Is er latere inzaai van het vanggewas mogelijk met eenzelfde N-opname als gevolg?
- Wat is de invloed van bijbemesten op het nitraatresidu?
- ...

Modellering kan antwoord bieden aan deze vragen. Bij het modellen worden klimaatreeksen gelinkt worden aan gewasgroei modellen, een bodemwaterbalans en een bodem-N-balans. Een uitgebreide analyse geeft de mogelijkheid om o.a. verschillende gewassen, bodemtexturen, drainagecodes en verschillende teeltcombinaties op te nemen. Een voorbeeld van zo'n uitwerking, waarbij een bodemwaterbalans en een bodem-N-balans gecombineerd worden, wordt hieronder weergegeven waarbij het nitraatresidu bij de oogst in de bodem gesimuleerd wordt bij klimaatverandering.

6.1 Simulatie van het nitraatresidu in de bodem bij klimaatverandering

Deze simulatie werd toegevoegd om aan te tonen wat de mogelijkheden zijn van modellering. Modelleren was niet het hoofddoel van deze literatuurstudie en de bekomen resultaten moeten dus ook gezien worden om een algemeen beeld te schetsen, zonder naar de absolute waarden te kijken. Het vormt een basis ter verdere optimalisatie en uitwerking.

//
//

Het nitraatgehalte in de bodem werd gesimuleerd door een bodem-waterbalans en een N-balans te koppelen. De rekenregels die gebruikt worden voor de doorrekening met de bodem-waterbalans zijn dezelfde als deze die worden gebruikt voor de irrigatiesturing op de BDB, waarbij boeren op weekbasis advies krijgen omtrent de optimale dosis en het optimale tijdstip van een irrigatiebeurt. De N-balans wordt gekoppeld aan de waterbalans. De processen die de N-dynamiek in de wortelzone bepalen, zijn gelijkaardig als beschreven in Bracke et al. (2020) en De Clercq et al. (2017). Deze modellen zijn op twee manieren aan elkaar gelinkt:

- De hoeveelheid water die percoleert bepaalt de hoeveelheid stikstof die uitspoelt.
- De actuele stikstofopname is gebaseerd op de potentiële stikstofopname en varieert afhankelijk van de mate waarin de maximale transpiratie door de plant gerealiseerd kan worden.

Basisscenario ter kalibratie van het model op basis van proefveldgegevens

Ter kalibratie van het model werd gebruikt gemaakt van gegevens van een proefveld van het VLAIO ERANET POTENTIAL-project (Janssens et al., 2020). Zo was het mogelijk de waterbalans te kalibreren aan de hand van bodemvochtstalen en de N-balans aan de hand van metingen van het stikstofgehalte in de bodem. De inputgegevens ter kalibratie van het model staan in Tabel 23. In Figuur 47 wordt het gemodelleerde stikstofgehalte vergeleken met de gemeten waarden.

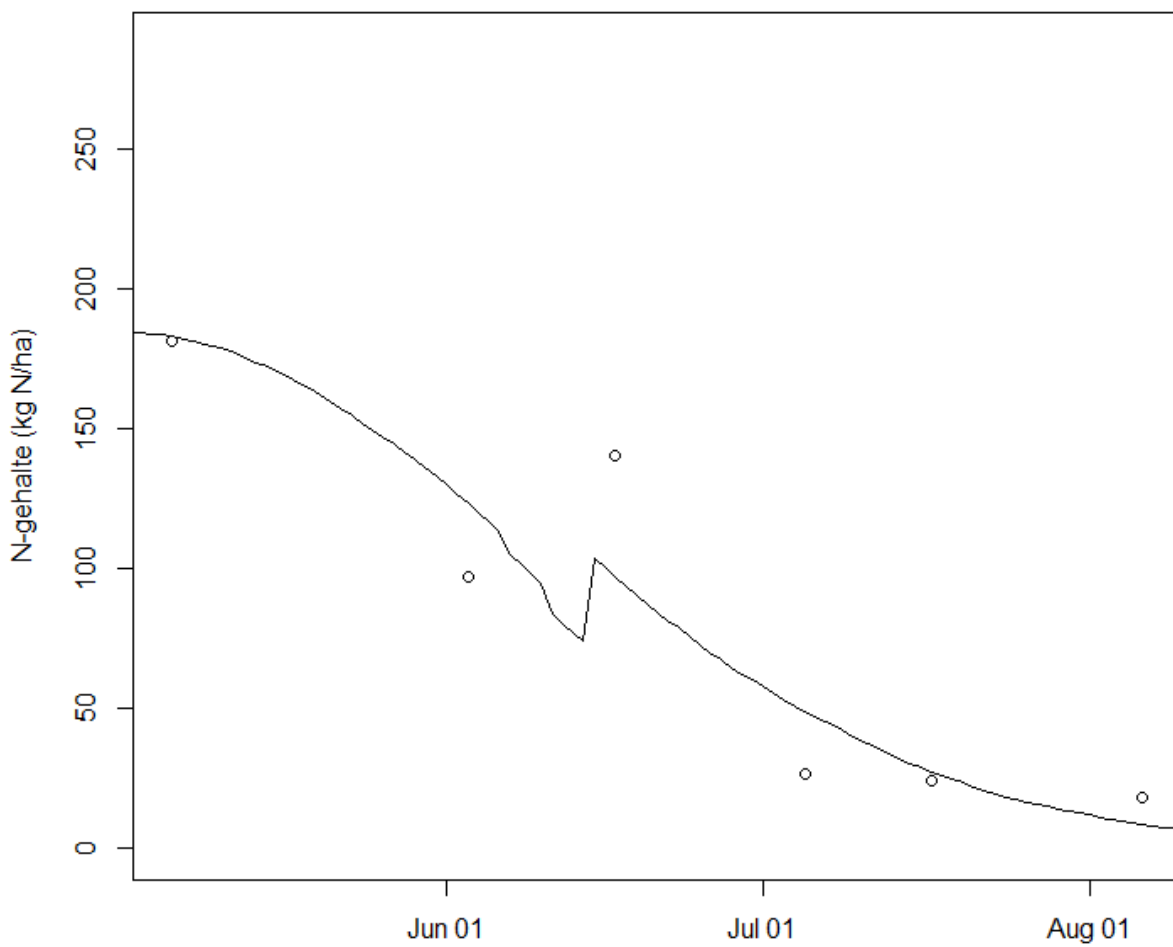
Tabel 23 Inputparameters ter kalibratie van het basisscenario

Bodemtextuur	Zand
% klei	6
% OC	1.6
Drainageklasse	a
Teelt	Vroege aardappelen
Maximale bewortelingsdiepte (o.b.v. kalibratie waterbalans)	30 cm
Irrigatie	Ja: 4 irrigatiebeurten van 30 mm en 1 irrigatiebeurt van 27.5 mm
Plantdatum	01/04/2019
Oogstdatum	14/08/2019
Theoretisch maximale N-opname	176 kg N/ha, verdeeld per dag volgens een sigmoïdale curve. De maximale theoretische opname werd dagelijks bijgesteld naar een effectieve opname afhankelijk van de gerealiseerde transpiratie.
Bemesting	Basisbemesting: <ul style="list-style-type: none"> - 380 kg urean (30% w/w N) - 15 ton runderdrijfmest en 30 ton runderstalmest - In simulatie toegevoegd op 1 april (in werkelijkheid 1 week vroeger) Bijbemesting: <ul style="list-style-type: none"> - 122 kg KAS (27% w/w N)



	- Op 15 juni
Vrijezetting uit gewasresten	neen
N-gehalte in de bodem voor bemesting (o.b.v. kalibratie N-balans met eerste gemeten N-gehalte in de bodem)	30 kg N/ha
Stikstof in opstijgend grondwater	20 mg NO ₃ /l

2019-04-02

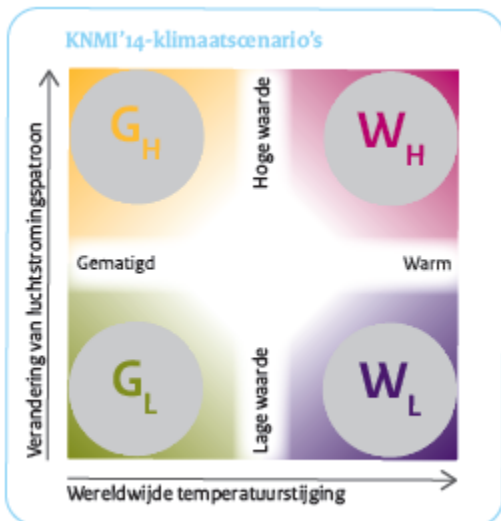


Figuur 47 Het gemodelleerde stikstofgehalte op het perceel (zwarte lijn) en de gemeten nitraatstikstofgehalten in de 0-30 cm laag (open cirkels) in functie van de tijd.

////////////////////////////////////
 //

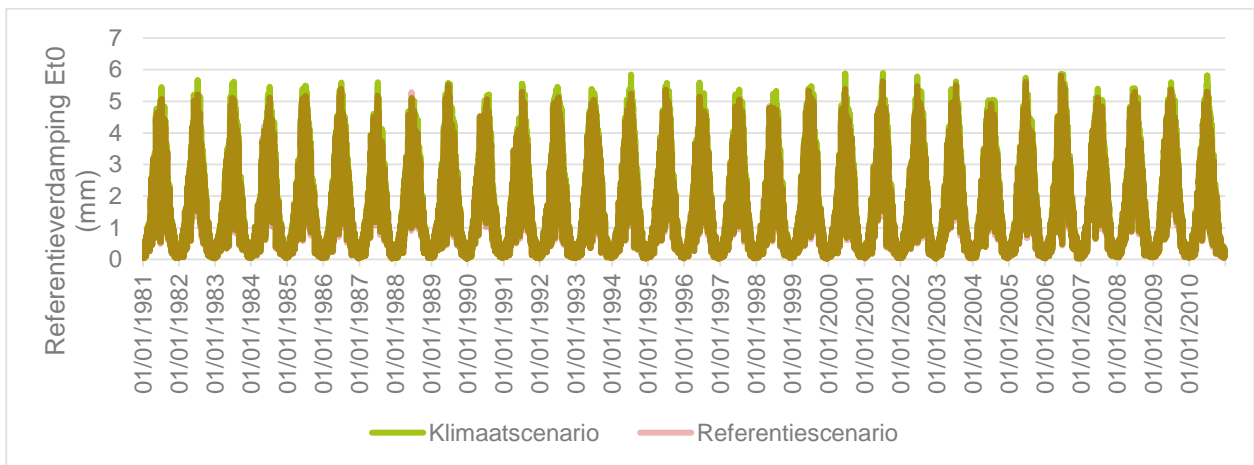
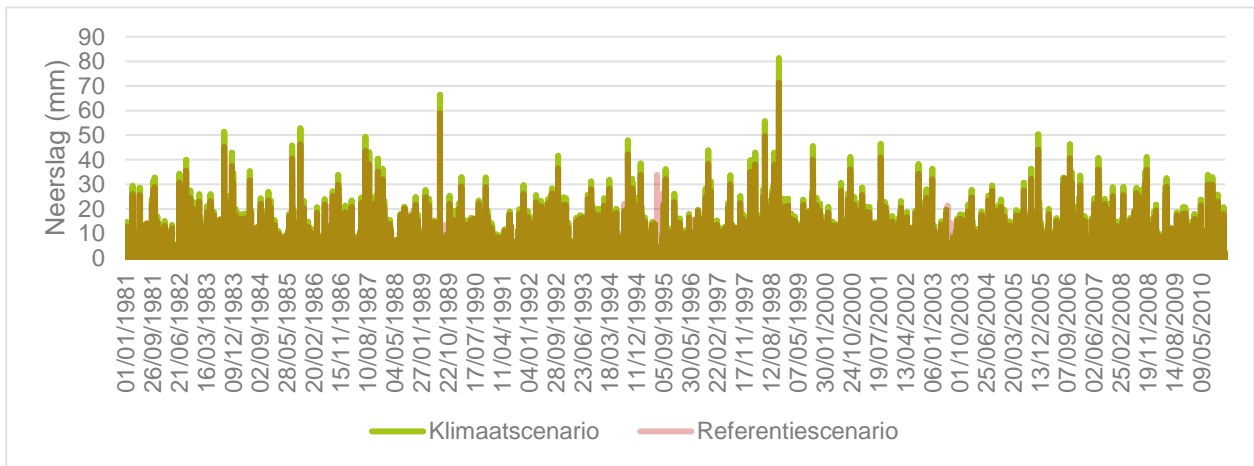
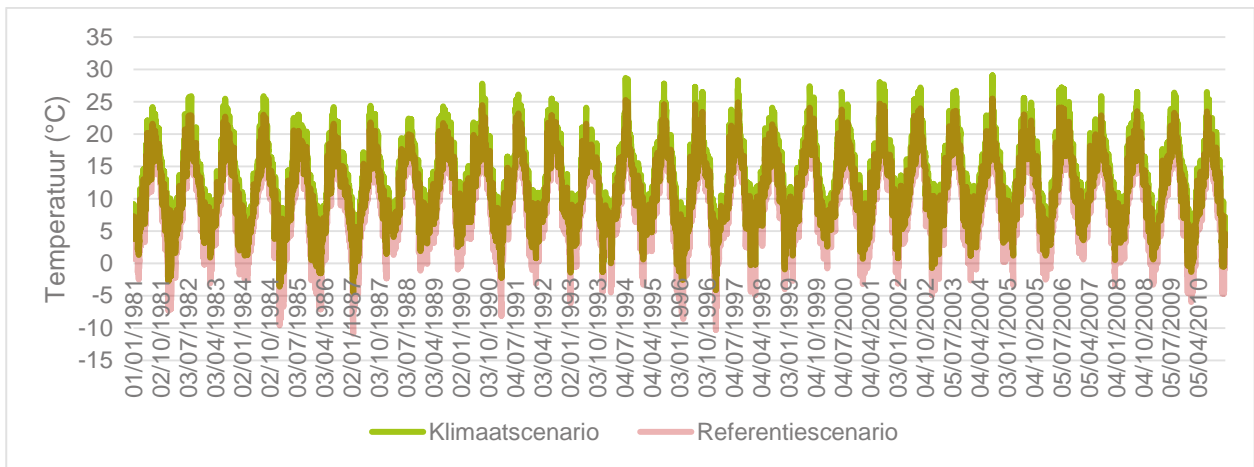
Simulatie van het nitraatresidu bij oogst bij veranderend klimaat

Het basisscenario dat gekalibreerd werd in de voorgaande stap, werd overgenomen voor het simuleren van de invloed van het veranderend klimaat op het nitraatresidu. Dit werd gedaan aan de hand van twee meteorologische reeksen afkomstig van het KNMI (zie "http://climexp.knmi.nl/scenarios_knmi14_form.cgi"). Een eerste reeks, de referentiereeks, bestaat uit historische meteorologische data (neerslag, temperatuur en referentieverdamping) in de periode 1981-2010 (locatie neerslaggegevens: Castricum (NL), locatie overige gegevens: De Kooy (NL)). Een tweede reeks, de klimaatreeks, bestaat uit een transformatie van deze historische referentiereeks voor een klimaatscenario in 2050 met hoge temperatuurverandering en grote verandering in luchtstroming. Het KNMI definieert dit scenario als het scenario Wh (Figuur 1). Dit scenario houdt rekening met meer droogte in de zomer vergeleken met de scenario's waarbij de verandering in luchtstroming lager wordt ingeschat (de scenario's Gl en Wl). Het Wh-scenario valt samen met het hoge uitstoot-scenario RCP 8.5, gedefinieerd door het IPCC (IPCC, 2013), waarbij rekening wordt gehouden met een wereldwijde temperatuurstijging van 2 °C tegen 2050.



Figuur 48 Indeling van de KNMI klimaatscenario's in functie van verwachte temperatuurstijging en verwachte verandering van luchtstromen (http://www.klimaatscenario's.nl/scenarios_samengevat/).

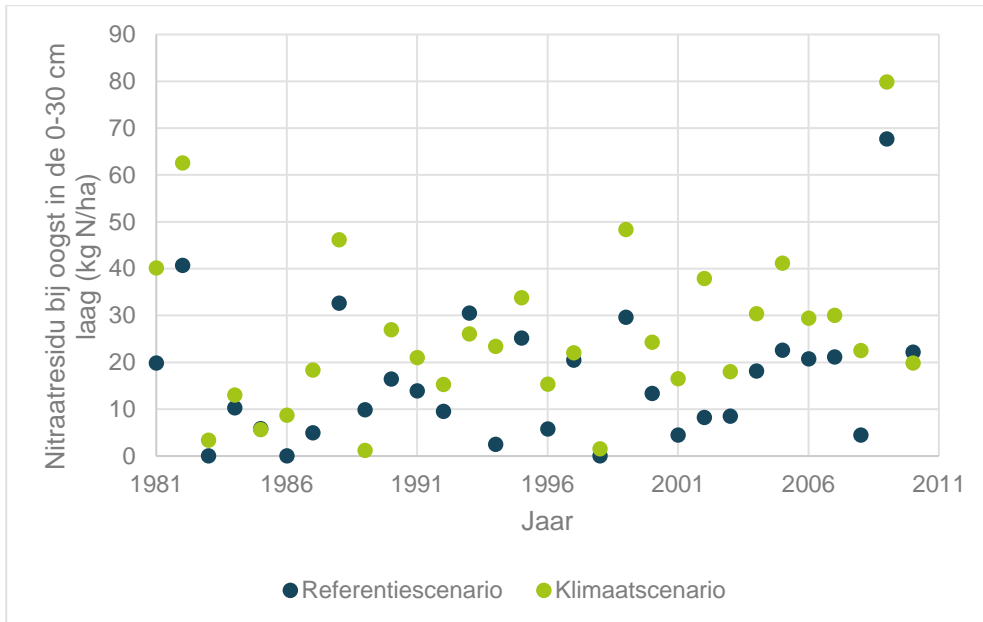
De meteorologische reeksen worden weergegeven in Figuur 49.



Figuur 49 Temperatuur (boven), neerslag (midden) en referentieverdamping (onder) voor de referentiereeks (1981-2010, rood (transparant)), gebaseerd op historische meteorologische data, en voor de klimaatreeks, waarin de referentiereeks getransformeerd werd voor een scenario in 2050 met hogere temperaturen en een grote verandering in luchtstroming (groen).



- Door het automatisch toedienen van irrigatie in het model wanneer het bodemvochtgehalte onder een bepaalde drempelwaarde zakt, wordt een gunstige situatie gecreëerd voor gewasgroei. Het gemiddeld aantal irrigatiebeurten in het klimaatscenario is 7, terwijl dit in het referentiescenario slechts 6 was. Indien hetzelfde aantal irrigatiebeurten gehanteerd zou worden, zou het verschil in nitraatresidu tussen beide scenario's kunnen variëren door onder andere een verminderde mineralisatie van organische stof in de bodem en een verminderde stikstofopname door het gewas.



Figuur 50 Nitraatresidu bij aardappel oogst voor het referentiescenario met de referentie meteorologische reeks (blauw) en het klimaatscenario met de getransformeerde meteorologische reeks (groen).

Tabel 24 Gemiddeld nitraatresidu (1981-2010), met standaarddeviatie, minimale en maximale waarde bij aardappel oogst voor simulaties met historische meteorologische data (referentiescenario) en voor simulaties met getransformeerde meteorologische data (klimaatscenario). Ook het aantal irrigatiebeurten per scenario is weergegeven.

	Referentiescenario	Klimaatscenario
Nitraatresidu (kg N/ha)		
Gemiddelde nitraatresidu	16.3	26.1
Standaarddeviatie	14.4	17.6
Minimum	0.0	1.2
Maximum	67.7	79.9
Aantal irrigatiebeurten	6	7

De auteurs willen nogmaals benadrukken dat bovenstaande modellering nog beperkingen kent en geoptimaliseerd kan worden. Daarom is het van belang om niet naar de absolute waarden te kijken maar naar de evolutie van de waarden, dewelke een trend weergeven.



////////////////////////////////////

//

7. REFERENTIES LUIK 1

7.1 Optimaliseren van de N-bemestingspraktijken

Ahuja, L. R., Ma, L., & Lascano, R. J. (2014). *Practical application of agricultural system models to optimize the use of limited water*.

BDB, & U.Gent. (2006). *Analyse van Nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw*.

Bos, J., J. de Haan, W. Sukkel, 2007. Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en de gangbare landbouw vergeleken. Rapport 140, Plant Research International, pp. 1-75.

Bries, J., Vandendriessche, H., & Geypens, M. (1995). *Bemesting en berekening van aardappelen in functie van opbrengst en kwaliteit*.

Comifer, 2013. Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescription locales. cultures annuelles et prairies. Edition 2013. 159p.

Coopman, F., Van Nevel, B., Van de Sande, T., Verhaeghe, M., De Reycke, L., Crappé, S., De Nies, J., Goovaerts, E., Elsen, A., Bries, J., Vandendriessche, H., Ameloot, N., De Neve, S., Willekens, K., Van Haecke, D., Boonen, M., Druyts, N., & Van Mechelen, M. (2014). *Het documenteren en milieukundig bijstellen van het KNS en andere bemestingsadviesystemen in de tuinbouw met het oog op een ruimere toepassing in de tuinbouw zoals voorzien in het Actieprogramma 2011-2014*. 233.

D'Haene, K., Salomez, J., De Nies, J., Goovaerts, E., Verhaeghe, M., Lauwers, L., Van de Sande, T., De Neve, S., & Hofman, G. (2019). *Stikstofbemesting in vollegrondsgroenten : een economische - ecologische benadering*.

D'Haene, Karoline, Salomez, J., Verhaeghe, M., Van de Sande, T., De Nies, J., De Neve, S., & Hofman, G. (2018). Can optimum yield and quality of vegetables be reconciled with low residual soil mineral nitrogen at harvest? *Scientia Horticulturae*, 233(July 2017), 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.034>

Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2017). Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agricultural Water Management*, 179, 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.022>

De Blauwer, V. & Bries, J. 2009. ADLO 2008-2009: Minder nitraten, evenveel aardappel. Technisch eindrapport. 99p.

De Blauwer, V., Odeurs, W., & Goeminne, M. (2013a). Fractioneren van de stikstofbemesting in aardappelen – 6 jaar proeven. *Landbouwcentrum Aardappelen - Resultaten 2013*.

De Blauwer, V., Bries, J., & Goeminne, M. (2013b). Stikstof efficiënter benutten. *Management & Techniek*, 5, 2.

Denys, T. (2015). Vlaamse Landmaatschappij - Bemesting maïs. *Vlaamse Landmaatschappij*.

Departement Landbouw & Visserij. (2020). *Voorlopige arealen landbouwteelten uit de verzamelaanvraag 2020*. [https://lv.vlaanderen.be/nl/nieuws/voorlopige-arealen-](https://lv.vlaanderen.be/nl/nieuws/voorlopige-arealen)

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

[landbouwteelten-uit-de-verzamelaanvraag-2020](#)

Eeckhout, I. 2018. Stikstofbemesting en nitraatresidu. presentatie ProefCentrum voor de Aardappelteelt.

Eissa, M. A., & Roshdy, N. M. K. (2019). Effect of nitrogen rates on drip irrigated maize grown under deficit irrigation. *Journal of Plant Nutrition*, 42(2), 127–136. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549676>

Elst, Piet Ver. (2010). *Bemesting van maïs en grasland*.

Fonder, N., Heens, B., & Xanthoulis, D. (2010). Optimisation de la fertilisation azotée de cultures industrielles légumières sous irrigation. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 14(SPECIAL ISSUE 1), 103–111.

Inagro. (2020). *Stikstof bijbemesten bij droogte?* <https://www.inagro.be/Artikel/guid/6617>

Janssens, P., Reynaert, S., Piccard, I., Pauly, K., Garré, S., Dumont, G., von Hebel, C., Van Der Kruk, J., Neumann Andersen, M., Manevski, K., Peng, J., Kørup, K., Fasterholt Maskinfabrik, Kamp, J., Booij J. 2020. Variable rate irrigation and nitrogen fertilisation in potato; engage the spatial variation (potential).

KVIV, T. instituut-. (1991). *Studie- en vervolmakingsdag: Optimale bemestingstechniek voor landbouw en milieu*. Technologisch instituut - KVIV.

Legrand, G., & Vanstallen, M. (n.d.). *stikstofbemesting in suikerbieten*. 56. <https://www.irbab-kbivb.be/wp-content/uploads/2015/10/GidsStikstof.pdf>

LCV (2019) Maïs bijbemesten: zinvol, wat, wanneer?. 17p. - niet gepubliceerd

Louis Bolk Instituut. Klaver en Klimaat. Beschikbaar op <http://www.klaverklimaat.nl/klimaat>

Lüscher, A., I. Mueller-Harvey, J.F. Soussana, R.M. Rees and J.L. Peyraud, 2013. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe. *Grassland Science in Europe*, Vol. 18, pp. 3-29.

Maharjan, G. R., Ruidisch, M., Shope, C. L., Choi, K., Huwe, B., Kim, S. J., Tenhunen, J., & Arnholt, S. (2016). Assessing the effectiveness of split fertilization and cover crop cultivation in order to conserve soil and water resources and improve crop productivity. *Agricultural Water Management*, 163, 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.005>

Meise, P., Seddig, S., Uptmoor, R., Ordon, F., & Schum, A. (2019). Assessment of Yield and Yield Components of Starch Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Under Nitrogen Deficiency and Drought Stress Conditions. *Potato Research*, 62(2), 193–220. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9407-y>

Norton, J., & Ouyang, Y. (2019). Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, 10(AUG), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01931>

Odeurs, W., Vandervelpen, D., Elsen, A., De Vlieghe, A., Ruyschaert, G., D'Hose, T., Bries, J. and Vandendriessche, H. (2019). Derogation monitoring network of farms under Directive 2008/64/EG

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

- Coomans D. & Geerinckx K. (2012) Referentiepercelen: nitraatresidu 2012. Resultaten van een eerste jaar werking. Online beschikbaar op <https://www.ccbt.be/sites/default/files/referentiepercelen%20nitraatresidu%202012.pdf>.
- Curtin, D., Beare, M. H., & Hernandez-ramirez, G. (2012). Biomass and Soil Organic Matter Mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 2055–2067.
- European Environment Agency. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe*. 04/2019, 112.
- Geypens, M., & Honnay, J. (1995). Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem. *IWONL, Brussel*, 168.
- Hashemi, M., Farsad, A., Sadeghpour, A., Weis, S. A., & Herbert, S. J. (2013). Cover-crop seeding-date influence on fall nitrogen recovery. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(1), 69–75. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200062>
- Hermans, I., Elsen, A., & Bries, J. (2010). *Groenbemesters en nitraatresidu*. 42p.
- Hofman, S., & Broeck, H. Van Den. (2012). *Statistische evaluatie van de audit analyses uitgevoerd tijdens de nitraatresiducampagne*.
- Kirschbaum, M. U. F. (1995). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(6), 753–760. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00242-S](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00242-S)
- Larionova, A. A., Maltseva, A. N., Lopes de Gerenyu, V. O., Kvitkina, A. K., Bykhovets, S. S., Zolotareva, B. N., & Kudryarov, V. N. (2017). Effect of temperature and moisture on the mineralization and humification of leaf litter in a model incubation experiment. *Eurasian Soil Science*, 50(4), 422–431. <https://doi.org/10.1134/S1064229317020089>
- Leakey, A. D. B., Ainsworth, E. A., Bernacchi, C. J., Rogers, A., Long, S. P., & Ort, D. R. (2009). Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: Six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2859–2876. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp096>
- Maggi, F., & Riley, W. J. (2015). The effect of temperature on the rate, affinity, and 15N fractionation of NO₃⁻ during biological denitrification in soils. *Biogeochemistry*, 124(1–3), 235–253. <https://doi.org/10.1007/s10533-015-0095-2>
- Protect’eau. 2018. APL: Azote Potentiellement Lessivable. 7p.
- Odeurs W, Vandervelpen D, Elsen A, De Vliegheer A, Ruyschaert G, D’Hose T, Bries J, Vandendriessche H (2019). Derogation monitoring network of farms under Directive 2008/64/EG (MAP 5) Final report: Period January 2016-May 2020. Study carried out under the authority of the Flemish Land Agency by the Soil Service of Belgium and Institute for Agricultural and Fisheries Research. 441p.
- Roelsma, J. (1997). *Vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest - literatuuronderzoek ten behoeve van watersysteemverkenningen* (p. 26).

////////////////////////////////////
 //////////////////////////////////////
 //////////////////////////////////////

- Soares, J. C., Santos, C. S., Carvalho, S. M. P., Pintado, M. M., & Vasconcelos, M. W. (2019). Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant and Soil*, 443(1–2), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04229-0>
- Stanford, G., Dzenia, S., & Vander Pol, R. A. (1975). Effect of Temperature on Denitrification Rate in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 39(5), 867–870. <https://doi.org/10.2136/sssaj1975.03615995003900050024x>
- Tits M., Elsen A., Deckers S., Bries J., Vandendriessche H. 2020. Bodemvruchtbaarheid van de Akkerbouw- en Weilandpercelen in België en Noordelijk Frankrijk (2016-2019). Publicatie van de Bodemkundige Dienst van België. 235 pp.
- Toom, M., Talgre, L., Pechter, P., Narits, L., Tamm, S., & Lauringson, E. (2019). The effect of sowing date on cover crop biomass and nitrogen accumulation. *Agronomy Research*, 17(4), 1779–1787. <https://doi.org/10.15159/AR.19.164>
- Uddling, J., Broberg, M. C., Feng, Z., & Pleijel, H. (2018). Crop quality under rising atmospheric CO₂. *Current Opinion in Plant Biology*, 45, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.06.001>
- Vandenbergh C., De Toffoli M., Bachelart F., Imbrecht O., Lambert R., Colinet G., 2019. Survey surfaces agricoles. Etablissement des références APL 2019. Dossier GRENeRAUCLouvain 19-03, 28 p. In De Toffoli M. 1 , Hawotte F. 2 , Vandenberghe C. 3 , Lefébure K.3 , Durenne B.2 , Imbrecht O.1 , Bachelart F. 3 , Weickmans B.2 , Huyghebaert B.2 , Lambert R. 1 , Colinet G. 3 , 2020. Programme de gestion durable de l’azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d’activités final 2019 des membres scientifiques de la Structure d’encadrement PROTECT’eau. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux AgroBio Tech.
- Van Overtveld, K., Tits, M., Van De Vreken, P. Vandervelpen, D., Peeters, L., Batelaan, O., Van Orshoven, J. Vanderborght, J., Elsen, A., Bries, J., Vandendriessche, H., Kuhr, P., Wendland, F., & Diels, J. (2011). *Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm. Eindrapport fase 2 en fase 3. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen*. 216p.
- Vandelannoote, A. (2009). Nitraatresidu controleren met stikstofbodembalans. *Landbouw&Techniek*, 20–23p.
- Vlaamse Landmaatschappij. (2018). Statistische analyse nitraatresidu-Eindrapport 20.07.2018 https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Statistische_analyse_nitraatresidu.pdf
- Vlaamse Landmaatschappij. (2019). *Invloed van pH en bekalking op stikstofbemesting, -nitraatresidu en -uitspoeling*. 132.
- Vlaamse Landmaatschappij. (2020). *Normen en richtwaarden 2020*. 1–19.
- Willems, P. (2020). *Urbanisatie en klimaatverandering: zowel meer droogte als meer overstromingen in Vlaanderen. Presentatie verzorgd in het kader van de studienamiddag WaterWijs op het Proefstation voor de Groenteteelt - 21 januari 2020*.

////////////////////////////////////
 //////////////////////////////////////
 //////////////////////////////////////

7.3 Vanggewassen en teeltcombinaties

- Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., Willekens, K., & De Neve, S. (2014). *Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP 4): Hoofdrapport, studie uitgevoerd in opdracht van VLM. 2014.*
- Alonso-Ayuso, M., Quemada, M., Vanclooster, M., Ruiz-Ramos, M., Rodriguez, A., & Gabriel, J. L. (2018). Assessing cover crop management under actual and climate change conditions. *Science of the Total Environment*, 621, 1330–1341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.095>
- Basche A, Miguez FE, Kaspar T, Castellano MJ (2014) Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. *J Soil Water Conserv* 69:471–482.
- BDB, & U.Gent. (2006). *Analyse van Nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw.*
- Bracke, J. Nitrogen fertilisation in ornamental plant production based on in-season demands through proximal sensing and soil modelling. PhD thesis, KU Leuven. 2020. 344p.
- Braekman P., Debussche B & Rombouts G. 2014. Praktijkgids bemesting - meststoffen en groenbedekkers. 79p.
- Cadillon A. 2018. Choosing and managing cover crops in organic agricultural systems. 87p. European Environment Agency. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. 04/2019*, 112.
- Geudens, K., Van de Ven, G., Latré, J., Haesaert, G., & Wambacq, E. (2018). *Meer groenbedekker, meer mais.*
- Guardia G, Abalos D, García-Marco S, Quemada M, Alonso-Ayuso M, Cárdenas LM, Dixon ER, Vallejo A (2016) Effect of cover crops on greenhouse gas emissions in an irrigated field under integrated soil fertility management. *Biogeosciences* 13:5245–5257.
- Hermans, I., Elsen, A., & Bries, J. (2010). *Groenbemesters en nitraatresidu.* 42.
- Inagro. 2016. Brochure demonamiddag groenbedekkers - bandenspanning - puntvervuiling. 25 Oktober 2016 – KOKSIJDE 9 November 2016 – PASSENDALE. 90p.
- Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>
- KMI - Koninklijk Meteorologisch Instituut van België. 2020. Klimaatrapport 2020 - Van klimaatinformatie tot klimaatdiensten. 92p.
- Landschoot, S., Latré, J., Tits, M., Elsen, F., Bries, J., & Van de Ven, G. (2018). *Richtsnoeren voor een betere bodemvruchtbaarheid door het doorbreken van de monoctuluur maïs - Presentatie projectgroep 14 maart 2018.*
- Norton, J., & Ouyang, Y. (2019). Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils.



Odeurs, W., Vandervelpen, D., Elsen, A., De Vliegheer, A., Ruyschaert, G., D'Hose, T., Bries, J. and Vandendriessche, H. (2019). Derogation monitoring network of farms under Directive 2008/64/EG (MAP 5) Final report: Period January 2016-May 2020. Study carried out under the authority of the Flemish Land Agency by the Soil Service of Belgium and Institute for Agricultural and Fisheries Research. 441 pp.

Poeplau C, Don A (2015) Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops— a meta-analysis. *Agric Ecosyst Environ* 200:33–41.

Quemada M, Daughtry CST (2016) Spectral indices to improve crop residue cover estimation under varying moisture conditions. *Remote Sens* 8: article # 660.

Sanz-Cobena A, García-Marco S, Quemada M, Gabriel JL, Almendros P, Vallejo A (2014) Do cover crops enhance N₂O, CO₂ or CH₄ emissions from soil in Mediterranean arable systems? *Sci Total Environ* 466–467:164–174.

Syakila A, Kroeze C (2011) The global nitrous oxide budget revisited. *Greenhouse gas Meas. Manage* 1:17–26.

Tits, M., Elsen, A., Vandervelpen, D., Bries, J., Vandendriessche, H., Van Overtveld, K., & Diels, J. (2007). *Influencing factors on the nitrate residue levels in Flemish agricultural soils: a statistical analysis of 8 years of nitrate measurements. C.*

Tits, M., Elsen A., Deckers, S., Boon, W., Bries, J., Vandendriessche, H., 2016. Bodemvruchtbaarheid van de akkerbouw- en weilandpercelen in België en Noordelijk Frankrijk (2012-2015). Bodemkundige Dienst van België, 218 pp. Koninklijke Bibliotheek Albert I, Brussel D/2015/6537/01

Tonitto C, David MB, Drinkwater LE (2006) Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agric Ecosyst Environ* 112:58–72.

Van de Ven, G. (2019). *Presentatie Onderzoeksplatform - oktober 2019.*

Vlaamse Overheid. 2019. 6de Actieprogramma in uitvoering van de nitraatrichtlijn 201-2022. Definitief actieprogramma 22.05.2019. 83p.

Willems, P. (2020). Urbanisatie en klimaatverandering: zowel meer droogte als meer overstromingen in Vlaanderen. Presentatie verzorgd in het kader van de sutidenamiddag WaterWijs op het Proefstation voor de Groenteteelt - 21 januari 2020.

7.4 Optimalisatie van mestopslag en stallen

Aarnink A.J.A., Smits M.C.J. & Vermeij I. (2010). Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen. Wageningen UR Livestock Research, 366, 1-30.



Amon B., Kryvoruchko V., Amon T. & Zechmeister-Boltenstern S. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture Ecosystems & Environment* 112, 153-162.

Braam C., Ketelaars J., & Smits M. (1997). Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45, 49-64.

Brusselman E., Beck B., De Campeneere S., Demeyer P., Goossens K., Kerselaers E., Maertens L., Millet S., Reubens B., Riebbels G., Vandaele L., Vangeyte J. & Zwertvaegher I. 2016. Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig van landbouw. 128 p.

Chadwick D.R. (2005). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment* 39, 787-799.

Chadwick D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fangueiro, L. Cardenas, B. Amon & T. Misselbrook (2011) Manure management: Implications for greenhouse gas emissions, *Animal Feed Science and Technology* 166-167,514-531

Ecolas (2006) Externe mestopslag: inventarisatie van opslagsystemen en bepaling van ammoniak-, lachgas- en methaanemissies uit deze systemen. Ecolas, in opdracht van: Departement Landbouw en Visserij (Afdeling Monitoring en Studie) en Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling lucht,hinder, risicobeheer, milieu & gezondheid)

Evers A., de Haan M., Vermeij I. & van Schooten H. (2015). Economische gevolgen ammoniakemissie reducerende maatregelen; Scenariostudie van praktijkbedrijven Overijssel. Wageningen. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 918. 51 blz.

Hol J.M.G., Mosquera J., van Harn J. & Veldkamp T. (2007). Ammoniak- en geuremissie uit een vleeskuikenstal voorzien van de Sanfeeder met beluchting. Wageningen UR, Animal Sciences Group, 33, 1-24.

Hristov A.N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A., Yang W.Z., Tricarico J., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J. & Oosting S. (2013a). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – a review of technical options for non-CO₂ emissions. In (ed. P Gerber, B Henderson and H Makkar). FAO, Rome, Italy.

Kolenbrander G. & De la Lande Cremer J. (1967). Stalmest en gier. Veenman En Zonen, Wageningen.

Maertens E., Dumez L. & Van Gijsegem D. (2016). Klimaatmitigatie in landbouw, departement Landbouw en Visserij, Brussel. 82 pp.

Mathon M. (2020). Greenhouse gas emissions and nutrient flow during housing and manure storage of Belgian Blue cattle. Doctoraatsthesis Universit  Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, 238 p.

Monteny G.J. & Erisman J. W. 1998. Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 46, 225-247.



Montes F., Meinen R., Dell C., Rotz A., Hristov A.N., Oh J., Waghorn G., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S. & Dijkstra J. (2013) Special Topics – Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options , J. Anim. Sci. 2013 Nov; 91(11):5070-94.

Mosequera J., Hol J.M.G. & Bokma S. (2009). Ammoniakemissie en emissiereductie van het balansballen systeem bij vleesvarkens, Wageningen UR Livestock Research, 193, 1-21.

Mosquera J. & Hol J.M.G. (2012). Emissiefactoren methaan, lachgas en PM2,5 voor stalsystemen, inclusief toelichting, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Wageningen University, rapport 496. 88p.

Nelissen V., Viane J., Reubens B., Vandecasteele B. & Willekens K. (2015). Optimaliseren van de opslag en bewerking van runderstalmest op de kopakker. 50p.

Nicholson R.J., Webb J., & Moore A. 2000. A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings. Biosystems engineering, 81(4), 363-377.

Ogink N.W.M. & Kroodsma W. 1996. Redution of ammonia emission from a cow cubicle house by flushing with water or a formalin solution. Journal of Agricultural Engineering Research 63, 197-204.

Pereira, j. & Trindade, H. (2014). Control of ammonia emissions in naturally ventilated dairy cattle facilities in Portugal. Engenharia Agricola 34, 600-609.

Philippe, F.W., Cabaraux, J.F. & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques: Agriculture Ecosystems & Environment 141, 245-260.

Salden J., Sol M. (2020) 'Milieuvriendelijke' stalvloeren als oplossing voor het stikstofprobleem? 'Niemand is hiermee gediend' [online], EenVandaag . URL: <https://eenvandaag.avrotros.nl/item/milieuvriendelijke-stalvloeren-als-oplossing-voor-het-stikstofprobleem-niemand-is-hiermee-gediend/>, 14 februari 2020.

Schiefler I. 2013. Greenhouse gas and ammonia emissions from dairy barn. Doctoraatsproefschrift Universität Bonn. 84 p.

Šebek L.B.J. & Schils R.L.M (2016).Verlaging van methaan- en lachgasemissie uit de Nederlandse melkveehouderij. Wageningen University, Animal Sciences Group, rapport 16. 61 p.

Smith M.C.J, Campen J.B. & Huis int 't Veld, J.W.H. (2008). Emissiereductie door kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal; proof of principle. Wageningen UR Livestock Research, 179, 1-48.

Sommer S.G., Zhang G.G., Bannink A., Chadwick D., Misselbrook T., Harrison R., Hutchings N.J., Menzi H., Monteny G.J., Ni J.Q & Oenema O. 2006. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. Advances in Agronomy 89, 261-335.

Sommer S.G., Christensen M.L., Schmidt T. & Jensen L.S. (2013). Animal manure recycling: Treatment and management. 364 p.



Swierstra D., Smits M.C.J. & Kroodsma W. (1995). Ammonia emission from cubicle houses for cattle with slatted and solid floors. Journal of Agriculture Engineering Research 62, 127-132.

Swierstra D., Braam C., & Smits M.C.J. (2001). Grooved floor system for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. Applied Engineering in Agriculture, 17(1), 85-90.

UNECE (2014). Guidance document on preventing and abating ammonia emissions from agricultural zones. EB.AIR 120, 1-100.

Van der Heyden C., Brusselman E., Volcke E.I.P. & Demeyer P. (2016). Continuous measurements of ammonia, nitrous oxide and methane from air scrubbers at pig housing facilities, Journal of Environmental Management 181, 163-171.

Van Gansbeke S. & Van den Bogaert T. 2019. Ammoniakemissiereductie uit pluimveestallen. Departement Landbouw&Visserij, 23.07.2019. 26 p.

Van Gansbeke S. & Van den Bogaert T. 2020. Ammoniakemissiereductie in varkensstallen. Departement Landbouw&Visserij, 23.03.2020. 75 p.

Van Wesemael K., Goossens K., Vandaele L., Peiren N. & De Campeneere S. 2015. Stikstof en methaan aanpakken voor een rundvee toekomst (Smart). Rundvee 'Special'. 16 oktober 2015, 24-26.

Van Dooren H.C.J, Bokma S. & Ogink N.W.M. 2019. Ammoniakemissie tijdens frequent mixen van drijfmest met lucht. Wageningen University & Research, rapport 1170. 26 p.

VMM. (2016). Lozingen in de lucht 2000-2016.

Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM). 2020a. Jaarrapport Lucht. Emissies per sector 2000-2018. 70 p.

Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) 2020b. Emissie van broeikasgassen door de landbouw. Beschikbaar op: <https://www.milieurapport.be/sectoren/landbouw/emissies-afval/emissie-van-broeikasgassen>. Bezocht op: 19/10/2020.

Webb J., Menzi H., Pain B.F., Misselbrook T.H., Dammggen U., Hendrikds H. & Dohler H. (2005). Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. Environmental Pollution 135, 399-406.

Willems, P. (2020). Urbanisatie en klimaatverandering: zowel meer droogte als meer overstromingen in Vlaanderen. Presentatie verzorgd in het kader van de studienamiddag WaterWijs op het Porefstation voor de Groenteteelt. 21 januari 2020.

7.5 Sluiten van de nutriëntencyclus

Biogas-e, 31 januari 2020. Renure- een toekomstige uitzondering van de Nitraatrichtlijn voor meststoffen uit dierlijke mest? Beschikbaar online op: https://www.biogas-e.be/introduction_of_Renure.

Carter M.S & Cherrier V. (2016). Closing the mineral cycles at farm level – good practices to reduce nutrient loss in the Central Denmark region. 20p.



IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Janssens P, Reynaert S, Piccard I, Pauly K, Garré S, Dumont G, von Hebel C, Van Der Kruk J, Neumann Andersen M, Manevski K, Peng J, Kørup K, FASTERHOLT Maskinfabrik, Kamp J, Booiij J (2020). Variable rate irrigation and nitrogen fertilisation in potato; engage the spatial variation (potential). 90 p.

VLM (2020) Mestrapport, beschikbaar op <https://www.vlaanderen.be/publicaties/mestrapport> Brussel, België



8. BIJLAGE 1 BIJ LUIK 1 - MAATREGELEN OM DE NUTRIËNTENCYCLUS TE SLUITEN

+++	The practice has very high positive effects on the studied indicator. The indicator is improved by more than 30,1%	*1	When applied
++	The practice has high positive effects on the studied indicator. The indicator is improved by 10,1 to 30%.	*2	If applied by taking into account the nutrient content of the organic fertiliser. Otherwise, the risk of transformation increases.
+	The practice has positive effects on the studied indicator. The indicator is improved by 2,1 to 10%.	*3	Lower need for fertiliser and/or possibly less chemical fertilisers produced
(+)	The practice has slight positive effects on the studied indicator. The indicator is improved by 0 to 2%.	*4	More production of concentrate
0	The practice has no effect on the studied indicator	*5	More manure stored
(-)	The practice has slight negative effects on the studied indicator. The indicator is deteriorated by 0 to 2%.	*6	Less manure stored
-	The practice has negative effects on the studied indicator. The indicator is deteriorated by 2,1 to 10%.	*7	More intervention and hence energy used
--	The practice has high negative effects on the studied indicator. The indicator is deteriorated by 10,1 to 30%.	*8	More fertiliser need and possible more fertiliser produced
(+ to +++) / (- to --)	The practice has contradictory effects that may compensate each other.	*9	Lower yield
?	The effects of this practice are unknown		

Tabel 25 Legende om Tabel 26 te interpreteren.



Categorisation of solutions			Measure	Climate					Air	Soil		Water		
Level 1	Level 2	Level 3	Short description of the measure	N excretion	P excretion	N2O	CH4	CO2	Climate change	NH3	Soil acidification (NH3, NOx)	Soil fertility	NO3-	PO43-
Livestock production	Livestock breeding	Breeding systems	Increase and optimise grazing intensity in regard to length and timing of gra			+ / -	+ (*6)	+	+	+	+	+	-	-
Livestock production	Livestock breeding	Breeding systems	Reduce the number of animals in farm			++	(20% if reduction by 20%)	+	++	++	++	+	++	++
Livestock production	Livestock breeding	Breeding systems	Select livestock with high genetic merit	+ (10%)	+ (10%)	+	++ (10 to 25%)	0	++	+	+	0	+ (10%)	+ (10%)
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Adjust the quantity of feed, including the use of multiphase feeding	+ (5-10%. Up to 18%)	+ (2,2 to 8%. Up to 40%)	+ (*2; *7)	0	0	+	+ (*2; *6; *7)	+	0	+	+
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Adjust the grain: forage ratio	0	+	- (*4)	+	- (*4)	+/-	- (*4)	- (*4)	0	- (*4)	+/-
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Adjust diet composition: protein content	++(10-25%)	+	++	0	0	++	++ (18-24%)	++	0	++	+
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Use additives: increasing the digestibility of nutrient by adding amino-acids	++ (8 to 10% for each 1% decrease of CP with amino acids. up to 30-40%)	+++ (25 to 50% for each 1% decrease of CP + amino acids)	++	0	0	++	++	++	0	++	+++
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Adjust diet composition: sugar content	++ (20-35%)	?	++	0	0	++	++ (20-35%)	++	0	++	?
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Adjust diet composition: P content	0	++ (15 to 30%)	0	0	0	0	0	0	0	0	++
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Process feed: increase the digestibility by processing feed	++ (20 to 24%)	?	++	+	+	++	++	++	0	++	?
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Use additives: increase the digestibility of nutrient by using supplemental e	+ (2 to 8%)	+++ (20 to 60%)	+	0	0	+	+	+	0	+	+++
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Use additives: increase the digestibility of nutrient by adding antibiotics and	+ (5%)	+ (5%)	+	+	+	+	+	0	0	+	+
Livestock production	Livestock breeding	Feeding techniques	Use GMOs: increase the digestibility of nutrient by using genetically modified	+ (?)	++	+	0	0	+	+	+	0	+	++



Categorisation of solutions			Measure	N excretion	P excretion	Climate				Air	Soil	Water	
Level 1	Level 2	Level 3.	Short description of the measure			N2O	CH4	CO2	Climate change	NH3	Soil acidification (NH3, NOx)	Soil fertility	NO3-
Livestock production	Manure use efficiency	Manure collection	Choose bedding material			+	++ (up to 50%)	++	+	+	+	0	
Livestock production	Manure use efficiency	Manure collection	Choose litter management system			-/+(*1)	0	0	+/-	+	+	+	+
Livestock production	Manure use efficiency	Manure collection	Choose outdoor wintering of cattle in woodchips pads			+	0	0	+	+	++	+	+
Livestock production	Manure use efficiency	Manure collection	Keep animals indoors			++ (20%)	-(*5)	0	++/-	-- (20%)	--	+/-(*1)	++ (20%)
Livestock production	Manure use efficiency	Manure collection	Use partly slatted floors, with a collection system and a tank for run-off liquid			0(*2)	0	0	0(*2)	++ (1 to 20%)	++	0	0(*2)
Livestock production	Manure use efficiency	Manure storage	Storage materials: apply a concrete floor, with a collection system and a tank for run-off liquid			0	0	0	0	0	0	0	+(5%)
Livestock production	Manure use efficiency	Manure storage	Storage materials: if possible, locate manure storage away from watercourses			0	0	0	0	0	0	0	+(4%)
Livestock production	Manure use efficiency	Manure storage	Control of manure oxygen: cover manure during storage			0(*2)	-	+	+/-	+++ (40-90%)	+++	0	0(*2)
Livestock production	Manure use efficiency	Manure storage	Control of manure oxygen: enhance frequent removal of the slurry/manure			0(*2)	0	0	0	++ (20%, up to 50%)	++(+)	0	0(*2)
Livestock production	Manure use efficiency	Manure storage	Control of manure oxygen: limiting turning and mixing of manure			-	-	0	-	+++ (40 to 60%)	+++	0	0
Livestock production	Manure use efficiency	Manure storage	Control of manure temperature			+	+	+	+	+++ (60%)	+++	0	0(*2)
Livestock production	Manure use efficiency	Changing manure collection	Compost solid manure			-/+(*1)	-	-/+(*3)	-	--/+(*1)	-	0	++(*1)
Livestock production	Manure use efficiency	Changing manure collection	Separate the solid and liquid fractions of slurry/manure			+	0	0	+	-/+(*1)	+/-	0	++(*1)
Livestock production	Manure use efficiency	Changing manure collection	Reduce liquid manure pH			+	++	0	++	+++ (45%)	+++/-	-	0(*2)



Categorisation of solutions			Measure		Climate				Air	Soil	Water			
Level 1	Level 2	Level 3.	Short description of the measure	N excretion	P excretion	N2O	CH4	CO2	Climate change	NH3	Soil acidification (NH3, NOx)	Soil fertility	NO3-	PO43-
Livestock production	Manure use efficient	Changing manure co	Use Nitrification-Denitrification (NDN) treatment of liquid manure/slurry			+++	+++	0	+++	+++ (30 to 52%)	+++	0	+++	+
Livestock production	Manure use efficient	Changing manure co	Precipitate nutrients with a magnesium nitrogen-phosphate salt called			+	0	0	+	-	-	+	+	+
Livestock production	Manure use efficient	Changing manure co	Dry manure and pelletising of dried manure			0 (*2)	0	0	0	+	+	0	0 (*2)	0 (*2)
Livestock production	Manure use efficient	Changing manure co	Combust solid manure			-	+ (*6)	-	-	0	-	0	++	(+)(*2)
Livestock production	Manure use efficient	Changing manure co	Use thermal gasification / Pyrolysis of solid manure			-	+ (*6)	-	-	0	-	0	++	(+)(*2)
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Precision agriculture	Prefer precision agriculture: use of GIS, decision support tools, and inve			++	0	+ (*3)	++	++	++	0	++	++
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Fertilisation manage	Improve fertilization management plans for N and P for all agricultural sites (not only NVZ)			++	0	+ (*3)	++	++	++	0	++	++
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Fertilisation manage	Decrease the amount of nutrients in fertiliser recommendations			+ (*3)	0	+ (*3)	+	+ (*7)	+	(-)	+ (*7)	+ (*7)
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Fertilisation manage	Adjust nutrient quantity to match plant/crop needs			++	0	+ (*3)	++	++	++	0	++	++
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Manure spreading te	Decrease the surface area where emissions can take place through ap			-	0	+ (*3)	+/-	+++ (30-90%)	+++	0	0 (*2)	0 (*2)
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Manure spreading te	Decrease the amount of time when emissions can occur by rapid incor			-	0	+ (*3)	+/-	+++ (40-60%)	+++	0	0 (*2)	0 (*2)
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Manure spreading te	Prefer split spreading			+	- (*5)	- (*8)	+/-	+/- (*5)	+/-	0	+	+
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Manure spreading te	Consider climatic and geographical conditions Use of application timing management systems (ATMS). + link with fine-tuning fertilisation			0	(-) (*5)	0	(-)	(-) (*5)	(-)	0	(+) (up to 2%)	+(10%)
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Manure spreading te	Spread manure with appropriate timing taking into account the stage of crop development (adequate timing) Use of application timing management systems (ATMS). + link with fine-tuning fertilisation			+ (*3)	- (*5)	+ (*3)	+	+ (*3) / - (*5)	+/-	0	+(up to 5%)	+(10%)
Crop production / Lives	Fine-tuning the fertil	Transfer of manure	Transfer manure from farms with a surplus to farms with a shortage as			+	0	+ (*3)	+	+	+	++	+	+

////////////////////////////////////

Categorisation of solutions			Measure	N excretion	P excretion	Climate				Air	Soil	Water		
Level 1	Level 2	Level 3	Short description of the measure			N2O	CH4	CO2	Climate change	NH3	Soil acidification (NH3, NOx)	Soil fertility	NO3-	PO43-
Crop production	Fine-tuning the fertill	Optimising the appli	Adjust timing to consider crop growth stage and climatic conditions			+	+	+	+	0	++	++		
Crop production	Fine-tuning the fertill	Optimising the appli	Do not apply fertiliser in high-risk areas, slopes or near water			0	0	0	0	0	0	(+) (up to 2%)	+ (10%)	
Crop production	Fine-tuning the fertill	Optimising the appli	Use nitrification inhibitors or urease inhibitors			+++ (up to 70%)	0	0	+++	+++ (up to 90%)	+++	0	+++ (35%)	0
Crop production	Fine-tuning the fertill	Optimising the appli	Analyse manure prior to application			+	0	0	+	+	0	+	+	
Crop production	Water management	Managing water effic	Irrigation: Preferably use drip irrigation technology			(+)	0	0	0	0	0	0	++	+
Crop production	Water management	Managing water effic	Irrigation: use multiphase or cyclic irrigation			0	0	0	0	0	0	0	+++ (30-90% NO3 runoff)	+
Crop production	Water management	Managing water effic	Irrigation: consider the timing of irrigation / Irrigation scheduling			0	0	0	0	0	0	0	++	++
Crop production	Water management	Managing water effic	Re-use drainage water for irrigation			0	0	0	0	0	0	0	++	++
Crop production	Water management	Managing water effic	Irrigation: Ensure good quality of irrigation water (low salt/sodium conte			0	0	0	0	0	0	+	+	
Crop production	Soil management at	Using adequate tillage	Prefer conservation tillage techniques			++/-	0	++	++/-	+	+	++	++ (20%)	+++ (60 to 90%)
Crop production	Soil management at	Using adequate tillage	Restrict the cultivation of slopes - e.g. contour ploughing			0	0	-(*)7	-	0	0	+	+++ (33%)	++ (20%)
Crop production	Soil management at	Using adequate tillage	Reduce the area under autumn ploughing in regions susceptible to soil			0	0	-(*)7	-	0	0	+	+	+++
Crop production	Soil management at	Covering soil	Use cover crops and reduce bare fallow			0	0	-(*)7	-	0	0	++	+(10%)	+++ (20-80%)
Crop production	Soil management at	Implementing crop r	Diversify crop rotation			+	0	++	+	+	+	++	+++	+++
Crop production	Soil management at	Implementing crop r	Extend the perennial phase of crop rotations			+(*)3	0	+(*)3 / - (*)7	+	+(*)3	+	++	++	++
Crop production	Soil management at	Avoiding compaction	Loosen compacted soils / Prevent soil compaction			+++ (60%)	0	-	+++	-	-	+/-	+	++ (10-50%)
Crop production	Soil management at	Drainage	Optimise land drainage			++	0	0	++	0	0	+	+	+

////////////////////////////////////

Categorisation of solutions			Measure		Climate				Air	Soil	Water			
Level 1	Level 2	Level 3.	Short description of the measure	N excretion	P excretion	N2O	CH4	CO2	Climate change	NH3	Soil acidification (NH3, NOx)	Soil fertility	NO3-	P043-
Crop production	Soil management	Drainage	Construct sedimentation ponds/constructed wetlands			0	0	0	0	0	0	0	+	+++
Crop production	Soil management	Management of organic soils	Avoid drainage of wetlands / conversion of peat lands			++	-	++	++	0	0	++	+++ (up to 60%)	+++ (up to 60%)
Crop production	Soil management	Management of organic soils	Establish paludicultures on rewetted peat lands			+ (*3)	0	+ (*3)	++	+ (*3)	+	0	++	++
Crop production	Soil management	Management of organic soils	Rewet organic soils			++	-	++	++/-	0	0	++	++	+++
Crop production	Recycling biomass	Recycling crop residues	Incorporate crop residues and taking into account the C/N ratio of the feed			-	0	+	-	0	0	++	+	+
Livestock / Crop production	Renewable energy	Biogas from manure	Produce biogas from manure (anaerobic digestion)			+ (*1)	++ (*6)	+ (*3)	++	0	0	0	+ (*1)	0
Livestock / Crop production	Renewable energy	Agroforestry	Use short rotation coppice to produce biomass for bioenergy			+	0	++	++	+	+	+	+++ (23-50%)	++
Livestock / Crop production	Renewable energy	Bioenergy from wasteland	Produce biomass for bioenergy from wasteland			(+)	0	- (*8)	-	(+)	(+)	+	+	+
Livestock / Crop production	Renewable energy	Bioenergy from crop residues	Produce bio energy from crop residues			- (*8)	0	- (*8)	+	- (*8)	-	-	+	+
Livestock / Crop production	Other	Farm system approach	Prefer organic farming			+/- (*9)	0	++	+	+	+	++	++ (*2)	++ (*2)
Livestock / Crop production	Land use / land use	Agroforestry	Develop agroforestry			+	0	++	++	+	+/-	+	+++ (23-50%)	++
Livestock / Crop production	Land use / land use	Maintaining grasslands	Maintain permanent pastures			+ (*3)	0	+ (*3)	+	+ (*3)	+	++	++	++
Livestock / Crop production	Land use / land use	Maintaining grasslands	Reseed the pasture when pasture productivity declines			0	0	+/- (*7)	+	0	0	++	+	+
Livestock / Crop production	Land use / land use	Maintaining grasslands	Convert arable to grass in areas of high soil risk			+++ (90%)	0	+ (*3)	+++	+++ (90%)	+++	+++	+++ (90%)	+++ (50%)
Livestock / Crop production	Land use / land use	Land use change	Extend buffer strips (of both permanent and non-permanent vegetation)			+ (*3)	0	+ (*3)	+	+ (*3)	+	+	+++ (40-94%)	+++

Tabel 26 Impact van maatregelen die de nutriëntencyclus kunnen doen sluiten op een aantal klimaatgerelateerde parameters en op nutriëntenverliezen (gereduceerde tabel op basis van Appendix uit Tostivint et al., 2016). De legende van de tabel wordt weergegeven in Tabel 25.



LUIK 2: GEFRACIONEERDE BEMESTING IN AARDAPPELEN EN MAÏS

Een duurzaam nutriëntengebruik betekent het beheersen van nutriëntenverliezen of het nastreven van een zo efficiënt mogelijk gebruik van nutriënten. Logischerwijze kan dit bereikt worden door de nutriënten te voorzien wanneer de plant er nood aan heeft, op een gemakkelijk bereikbare plaats voor de plant en in een vorm die de plant kan opnemen en/of verliezen beperkt. Het fractioneren van de bemesting is een belangrijk instrument om dit te bereiken.

Voor de "gefractioneerde bemesting in aardappelen en maïs" wordt in een eerste stap een overzicht gemaakt van bestaande technieken en mogelijkheden voor het fractioneren van bemesting. In een tweede stap wordt een afwegingskader opgesteld waaraan de technieken uit de eerste stap afgetoetst worden om zo te komen tot de beste fractioneringstechnieken. In een laatste stap wordt een code voor goede praktijken opgesteld rond gefractioneerde bemesting in maïs en aardappelen.

9. STAP 1: OVERZICHT BESTAANDE TECHNIEKEN EN MOGELIJKHEDEN VOOR HET FRACTIONEREN VAN BEMESTING

Het fractioneren van de bemesting is zoals net gesteld een belangrijk instrument in een duurzaam en robuust nutriëntengebruik. De bemesting moet in tijd en ruimte gedifferentieerd worden om de stikstofbenutting te verbeteren en verliezen naar het milieu te minimaliseren.

Uit literatuur halen Postma et al. (2012) als oorzaken van de verschillen in benutting tussen de verschillende gewassen de volgende factoren aan:

- wortelkarakteristieken, zoals diepte wortelstelsel, worteldichtheid, etc.;
- opnamesnelheid;
- teeltperiode;
- plantafstand in en tussen rij; en
- overige aspecten met betrekking tot de teeltwijze, zoals ruggenteelt.

Het ruimtelijk differentiëren van de bemesting is mogelijk door bv. rijenbemesting en bladbemesting. Ook het plaatsspecifiek bemesten kan gezien worden als een ruimtelijke fractionering. Het temporeel fractioneren is mogelijk door de bemesting effectief op verschillende momenten uit te voeren alsook door een aangepaste meststofkeuze. Vaak worden beiden, ruimtelijke en temporele fractionering, gecombineerd. De fractionering kan bovendien gebeuren volgens een vooropgesteld scenario met vaste momenten van toediening en dosissen of dosissen kunnen tijdens het seizoen nog aangepast worden in functie van een bepaalde waarneming of meting.

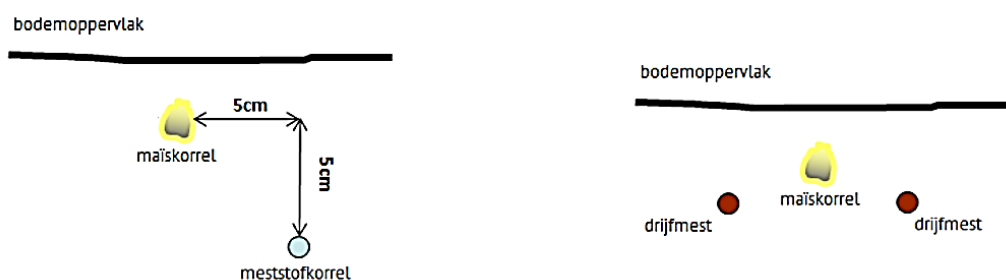
9.1 Ruimtelijke fractionering

In eerste instantie wordt dieper ingegaan op de ruimtelijke fractionering en de meest aangewezen positionering van meststoffen. Het idee achter een ruimtelijke differentiatie van de bemesting is dat de benutting van nutriënten beter is wanneer deze toegediend worden waar ze bereikbaar zijn voor de wortels van het gewas. Door de beperkte wortelontwikkeling en de ruime rijafstanden zijn bv. maïs en aardappelen niet altijd voldoende in staat om vollevelds toegediende meststoffen te benutten. In wat volgt worden verschillende mogelijkheden tot ruimtelijke fractionering besproken.



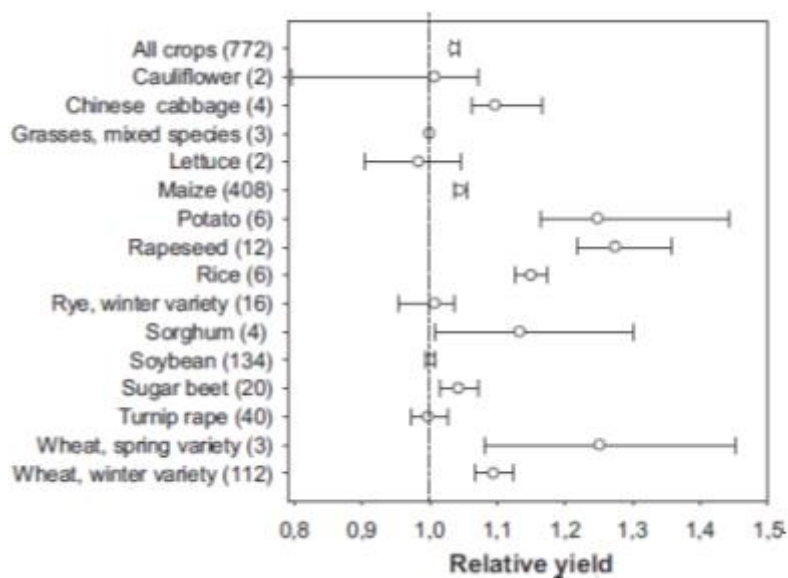
9.1.1 Rijenbemesting

Rijenbemesting is de meest gekende methode voor ruimtelijke differentiatie van bemesting. Het kan gedefinieerd worden als de geconcentreerde plaatsing van de meststof in of vlak naast de plantenrij. Dit kan onder het zaad of plantje zijn of schuin onder, schuin boven of naast de poter. Van belang is dat de meststof dicht bij de wortels van de planten komt te liggen en de jonge planten er al snel over kunnen beschikken, maar dat er geen zoutschade optreedt. Bij bijvoorbeeld maïs wordt de kunstmest die in de rij wordt toegediend bij voorkeur circa 5 cm naast en 3 tot 4 cm onder het zaad gelegd (Figuur 51). Rijenbemesting is mogelijk met kunstmest en dierlijke mest.



Figuur 51: Schematische weergave van rijenbemesting met kunstmest (links) en organische mest (rechts) in maïs (Van de Ven et al., 2014).

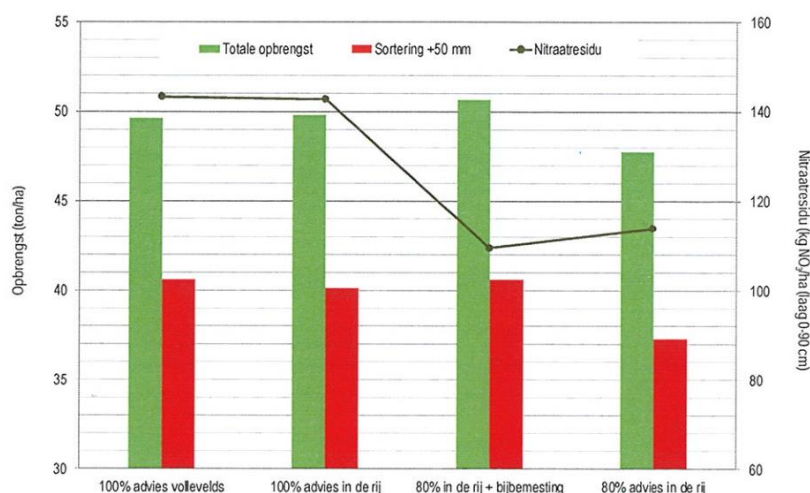
D'Haene et al. (2018) verwezen naar de meta-analyse van Nkebiwe et al. (2016). Deze voerden een meta-analyse uit over de effecten van rijenbemesting op opbrengst, nutriëntenconcentratie en nutriëntenopname van bovengrondse plantendelen. Op basis van 40 studies uit de periode 1982-2015 werd besloten dat rijenbemesting tot een gemiddelde opbrengststijging leidde in vergelijking met een volveldse toepassing (Figuur 52). Aardappelen toonden één van de meest positieve effecten.



Figuur 52: Relatieve opbrengst (gemiddelde met 95% betrouwbaarheidsinterval) van rijenbemesting ten opzichte van breedwerpige toediening met eenzelfde bemesting (Nkebiwe et al., 2016)

Aardappelen

In aardappelen werd rijenbemesting beproefd door het Landbouwcentrum Aardappelen en haar partners. In de periode 2012-2013 werd op zes demonstratievelden vastgesteld dat bij invulling van het N-advies de opbrengst nauwelijks verschilde tussen volleveldse bemesting en rijenbemesting (De Blauwer et al., 2014a; PCA,2014). Op de proefvelden resulteerde een beperkte N-dosis toegediend in de rij in een mindere opbrengst en een lager nitraatresidu (Figuur 53). Fractioneren van het advies leidde eveneens gemiddeld tot een lager residu. Het volledig advies geven bij planten in de rij of vollevels gaf weinig verschil op vlak van nitraatresidu.



Figuur 53: Gemiddelde opbrengst (ton/ha) en nitraatstikstofresidu (kg NO₃-N/ha; 0-90cm) op 5 proefvelden van het ADLO-demonstratieproject "N naar de aardappel brengen en zo N efficiënter benutten" in de periode 2012-2013 bij verschillende bemestingsstrategie. (Inagro, n.d.)

D'Haene et al. (2018) toonden de resultaten van Hofman et al. (1993) en Salomez et al. (1995) uit de beginjaren '90 in aardappelen. De resultaten varieerden van geen verschillen tot een opbrengststijging van maximaal 10 % na rijenbemesting (Tabel 27). Hofman et al. (1993) stelden in 1993 dat rijenbemesting niet eenduidig positief was maar dat het eventueel als een verzekering kan gezien worden.

Tabel 27: Opbrengsten en nitraatstikstofresidu's (kg NO₃-N/ha; 0-90 cm enkel 0-60 cm in het jaar 1990) bij de oogst van consumptieaardappelen in functie van bemestingstechniek (D'Haene et al. (2018) naar Hofman et al., 1993; Salomez et al., 1995). De opbrengsten en NO₃⁻-N-residu's zijn gemiddelden voor de verschillende bemestingshoeveelheden.

Jaar	Breedwerpig		Rijenbemesting	
	Opbrengst (ton ha ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N-residu (kg N ha ⁻¹)	Opbrengst (ton ha ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N-residu (kg N ha ⁻¹)
1990	26,1	295	28,5	269
1991	41,7	125	40,1	185
1992	67,3	117	72,6	159
1993	62,0	105	65,8	141

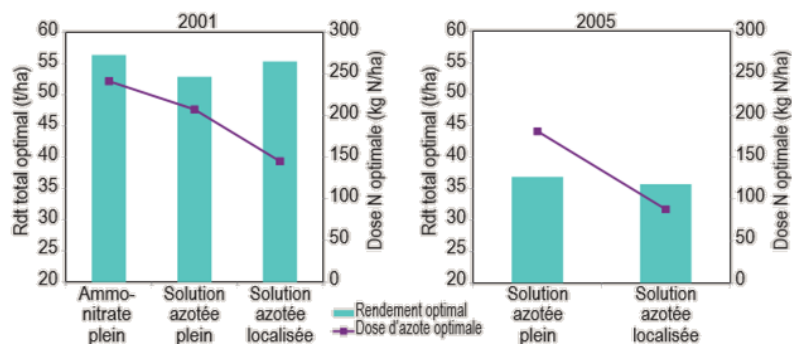
Deze bevindingen sluiten aan bij de wisselende resultaten in Nederlandse proeven op aardappel. Van Geel (2015) toonde in een literatuuroverzicht de positieve resultaten van Prummel (1957) met een gemiddelde stikstofbesparing van gemiddeld 13 % door rijenbemesting tot het uitblijven van productieverschillen of verhoogde N-efficiëntie. Hij stelde dat de proefresultaten te wisselvallig waren om advies te kunnen geven over stikstofrijenbemesting in aardappel. Zoals ook in deze studie ondervonden werd, zijn in dergelijke bemestingsproeven toedieningstechniek, vorm en samenstelling van de meststof met elkaar verstrengeld, waardoor moeilijk te onderscheiden is in hoeverre een

////////////////////////////////////

positief of negatief effect van rijenbemesting samenhangt met de gebruikte meststof en of bij gebruik van een andere meststof eenzelfde resultaat mag verwacht worden. Van Geel duidde op het voordeel van rijenbemesting als emissiearme toediening en wees erop dat een stikstofbesparing door rijenbemesting wellicht alleen mogelijk zal zijn bij een laag stikstofleverend vermogen van de bodem of bij een slechtere beworteling. In het Nederlandse 'Handboek Bodem en Bemesting' wordt gesteld dat op basis van de beschikbare, openbare resultaten van Nederlands onderzoek voor aardappel geen besparing door stikstofrijenbemesting kan worden aangegeven.

Door het NCOR (Nederlands Centrum voor de Ontwikkeling van Rijenbemesting) werd in 2011 bij de oprichting gesteld dat 10 % op minerale stikstof kan bespaard worden door rijenbemesting. Ook in Frankrijk bleek uit rijenbemestingsproeven in 2001 en 2005 dat met rijenbemesting de stikstofdosering kan gereduceerd worden (Figuur 54).

La localisation permet d'assurer la production totale avec moins d'engrais azotés



Figuur 54: Totale opbrengst (ton/ha) en optimale totale N-dosis (kg N/ha) (optimale N-dosis berekend door optimalisatie van de N-responscurve) op proefvelden van Arvalis-Institut du végétal van Boigneville in 2001 en 2005 (Cohan en Laurent, 2012).

In Duitsland stelden Maidl et al. (2002) dat rijenbemesting een positief effect had op de N-recovery wanneer de totale N-bemesting reeds bij het planten gebeurde.

Rijenbemesting met drijfmest in aardappel werd eveneens geëvalueerd in de literatuurstudie van van Geel (2015). Ook rijenbemesting met dierlijke mest bood doorgaans geen voordeel of hogere N-benutting.

Maïs

Van der Schoot en van Dijk (2001) stelden dat rijenbemesting met dierlijke mest kunstmest overbodig maakte in maïs, meer specifiek de kunstmeststartgift. Ze toonden een hogere N-benutting en hogere opbrengsten bij rijenbemesting en de droge-stofopbrengst was duidelijk hoger dan bij dezelfde hoeveelheid vollevelds toegediende mest en ook hoger dan vollevelds toegediende mest plus een N/P-startgift. Ze wezen evenwel op de beperking van de dosering. Een dosis van 30-35 m³ drijfmest per hectare toegepast in de rij was haalbaar maar de hogere dosis van 50 m³/ha die werd beproefd leidde tot plantuitval omdat het zaad deels in de mest terecht kwam.

Rijenbemesting met kunstmest gebeurt gelijktijdig met het zaaien, rijenbemesting met vloeibare organische mest kan gelijk met de zaai of apart gebeuren.

In Vlaanderen werd in verschillende studies de techniek van rijenbemesting geëvalueerd. In maïs werden door het Landbouwcentrum voor Voedergewassen proeven opgezet rond rijenbemesting met kunstmest en dierlijke mest. Rijenbemesting met kunstmest resulteerde in vergelijkbare tot hogere



droge-stofopbrengsten terwijl 25 % minder minerale stikstof werd toegediend (Odeurs et al. 2014a). Dit bevestigt de in literatuur vermelde hogere benutting van 20 tot 30 % bij rijenbemesting. Als vuistregel kan gehanteerd worden dat de stikstofwerking met een factor 1,25 verbetert bij rijenbemesting (Handboek Bodem en Bemesting), hetgeen betekent dat 25 % van het stikstofadvies kan worden afgetrokken bij toepassing van rijenbemesting. Rijenbemesting met drijfmest in maïs toonde in de proefperiodes 2007-2009 en 2012-2013 vergelijkbare opbrengsten bij eenzelfde dosis alsook vergelijkbare nitraatresidu's (Van de Ven, 2014). Een duidelijke meerwaarde van rijenbemesting met dierlijke mest in maïs bleek in deze proeven niet onmiddellijk. Toch werd besloten dat rijenbemesting met dierlijke mest mogelijkheden heeft. Vermeulen (2013) toonde in veldproeven in 2012 bij eenzelfde dosis een net wat hogere droge-stofopbrengst en een hogere N-benutting na rijenbemesting met drijfmest (Tabel 28).

Tabel 28: Gemiddelde droge-stofopbrengst (ton/ha), N_{tot}-gehalte (g N/kg DS), N-opname (kg N/ha) en N-benutting (%) per mestplaatsingsmethode inclusief significantie (Vermeulen, 2013).

Mestplaatsing	DS-opbrengst ton/ha	N _{tot} -gehalte g/kg DS	N-opname kg N/ha	N-benutting %
Vollevelds	19.0	9.30	177	20
Bij de rij	20.9 ^s	9.67 ^s	203 ^s	48 ^s

Bij het opteren voor rijenbemesting moet rekening gehouden worden met enkele randvoorwaarden. Door de nabije plaatsing van nutriënten moet men steeds aandachtig zijn voor eventuele zoutschade. Dit kan door de dosis te matigen en een correcte positionering.

In aardappel is een positionering recht boven of recht onder de poters niet aangewezen. Voor maïs wordt gesteld dat maximaal 50 kg N/ha in de rij mag gegeven worden om verbranding/ammoniakvergiftiging van de kiemplantjes te vermijden (Van de Ven et al., 2014). Bij rijenbemesting met drijfmest wordt de dosis best beperkt, omdat de mest anders onvoldoende wordt ondergewerkt. Er moet op voldoende afstand geïnjecteerd worden om te voorkomen dat het zaad in de drijfmest terechtkomt.

9.1.2 Fertigatie

Fertigatie is de gecombineerde en gelijktijdige toediening van meststoffen en water. Hierbij worden aan het irrigatiewater wateroplosbare meststoffen toegevoegd. Toediening gebeurt via druppelsslangen. Fertigatie is niet enkel een voorbeeld van een andere ruimtelijke positionering van de bemesting maar is ook nauwelijks los te zien van een in de tijd gedifferentieerde bemesting. Druppelirrigatie maakt het mogelijk om de nutriëntengift sterk op te splitsen.

Aardappelen en ook maïs zijn droogtegevoelige gewassen door hun eerder beperkt wortelsysteem. Maïs gaat weliswaar efficiënt om met water, maar is droogtegevoelig en groeit in een periode dat de kans op droogte relatief groot is. Irrigatie of beregening zal voor deze gewassen bij droogte een eerste stap zijn naar een efficiënter nutriëntengebruik. Droogtestress beperkt de opname en assimilatie van nutriënten zoals ook bevestigd door Dalla Costa et al. (1997). Ook in het Vlaio-EraNet Potentialproject "Variable rate irrigation and nitrogen fertilization in Potato; engage the spatial variation" uitgevoerd door een internationaal onderzoeksconsortium onder leiding van Pieter Janssens bleek nogmaals dat een plant in droogtestress minder stikstof opneemt en dat een optimale stikstofopname van aardappel gepaard gaat met een optimale vochtvoorziening (Janssens et al., 2020). Irrigatie en fertigatie kwamen aan bod in verscheidene studies maar het effect van watergift en/of bemesting is niet altijd even duidelijk te onderscheiden.





Figuur 55: Druppelirrigatie in aardappelen

Aardappelen

Paauw (2001) stelde op basis van praktijkproeven in aardappelen in Lelystad in de periode 1998-2000 dat met fertigatie de stikstofgift sterk kon verlaagd worden bij een gelijkblijvende opbrengst. Door te fertigeren in functie van het nitraatgehalte in de bladstelen kon in deze proeven 100 tot 150 kg N/ha minder gegeven worden. Omwille van de voldoende regen was echter irrigatie noch fertigatie in deze proeven rendabel.

In 2014 lag er op PCA een proef aan die een vergelijking maakte tussen een teelt zonder watervoorziening, met irrigatie via druppelbevloeiing en met fertigatie. Opbrengst en onderwatergewicht waren in deze proef niet significant verschillend voor irrigatie via druppelbevloeiing ten opzichte van een teelt zonder watervoorziening. Via fertigatie werden een significant hogere opbrengst en een significant hoger onderwatergewicht bekomen. Voor de interpretatie van deze resultaten is het interessant om weten dat de periode juni-juli-augustus in 2014 zelfs wat natter was dan gemiddeld. Het niet geïrrigeerde object kreeg 128 kg N/ha als basisbemesting, het geïrrigeerde object kreeg dezelfde bemesting en 24 l/m² en het gefertigeerde object kreeg geen basisbemesting maar via 39 l/m² ook 151 kg N/ha.

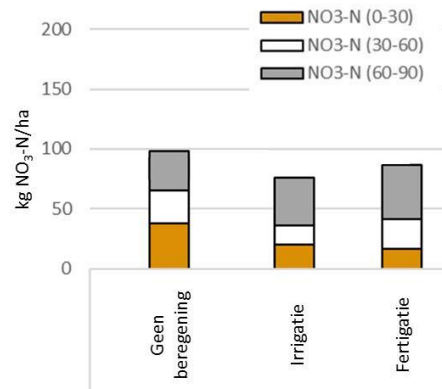
Tabel 29: Resultaten van irrigatie en fertigatie in bewaaraardappelen (cv. Nicola) - PCA 2014. Verschillende letters duiden op statistisch significante verschillen. (Dieleman, 2015)

Behandeling	Bruto- Opbrengst (kg/ha)	fractie (kg/ha)							
		fractie 30-60mm (kg/ha)		%	-30 mm	30-40 mm	40-50 mm	50-60 mm	+60 mm
Bemesting voor planten	62327 a	60287 a	97	776 a	9669 a	36638 a	13980 a	60 a	
Bemesting voor planten + irrigatie	68850 ab	65398 ab	95	713 a	9878 a	38647 a	16873 a	320 a	
Fertigatie tijdens de teelt	75198 b	72482 b	96	636 a	10351 a	41158 a	20973 a	742 a	

In 2019 werd op de Werktuigdagen te Oudenaarde in het kader van het demonstratieproject 'Beredeneerd beregenen van openluchtgroenten en aardappelen' fertigatie in aardappelen gedemonstreerd (Tabel 30). Fertigatie betekende in deze demonstratieproef een hogere opbrengst, een betere maatsortering en een verminderde N-gift.

Tabel 30: Bemesting, opbrengst en sortering van Fontane in de demonstratieproef in 2019 te Oudenaarde in kader van het demonstratieproject 'Beredeneerd beregenen van openluchtgroenten en aardappelen' (PCG, 2019)

Object	Bemesting		Netto-opbrengst +50 mm netto	
			(kg/ha)	(%)
geen beregening, standaard bemesting	648 kg AN27;	175 kg N/ha	32772	49,2
druppelirrigatie ondergronds, standaard bemesting	648 kg AN27;	175 kg N/ha	54526	69,2
fertigatie	370 kg AN27;	100 kg N/ha	57544	82,3

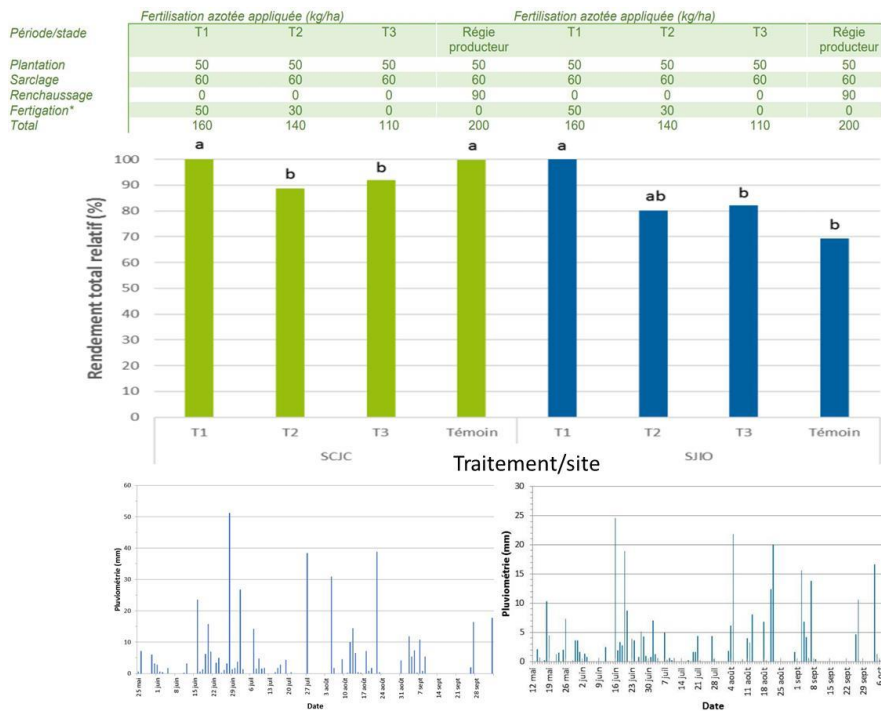


Figuur 56: Nitraatresidu (kg NO₃-N/ha; 16.09.2019) in Fontane in de demonstratieproef in 2019 te Oudenaarde in kader van het demonstratieproject 'Beredeneerd beregenen van openluchtgroenten en aardappelen' (PCG, 2019)

Gao et al. (2018) vergeleken in de provincie Manitoba in Canada in de periode 2013-2015 op vijf proefvelden verschillende fractioneringschema's, soorten meststoffen en fertigatie in het ras Russet Burbank. Tussen de objecten konden nauwelijks significante verschillen getoond worden. Eenzelfde totale N-gift (80 % van het regionale advies) verdeeld over een basisgift en aanvullende fertigatie resulteerde in vergelijkbare opbrengsten. Fertigatie bood mogelijk door de weersomstandigheden of door de overschatte N-bemesting geen voordeel.

Eveneens in Canada met het ras Russet Burbank toonden Vallée et al. (2018) wel mogelijkheden voor fertigatie in aardappelen. In 2017 werden op twee locaties proeven aangelegd waarbij na een basisgift bijbemesting gebeurde door middel van fertigatie. De gefertigeerde objecten kregen een lagere totale N-gift. De onderzoekers stelden dat een mindere dosis door een gesplitste dosering met behulp van fertigatie met behoud van opbrengst en minder risico op uitspoeling mogelijk is maar konden binnen de opzet van de proef niet stellen in welke mate de dosis kan beperkt worden. De bemesting, de resultaten alsook de neerslaggegevens uit deze proef worden getoond in Figuur 57.



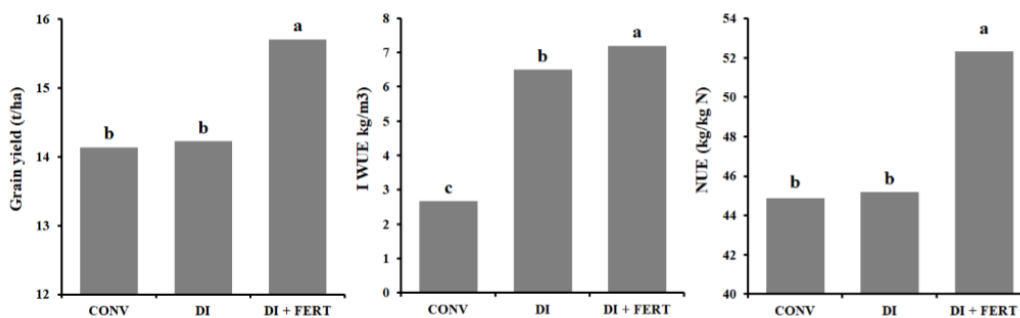


Figuur 57: Bemesting (boven), relatieve opbrengst (midden) en neerslag (onder) op twee proefvelden in Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier (links-SCJC) en Saint-Jean-l'Île-d'Orleans (links-SJIO) (naar Vallée et al., 2018).

Maïs

Wu et al. (2019) beproefden de mogelijkheden van fertigatie in maïs in Noord-Oost China. In de proeven werden een hogere opbrengst en een verhoogde efficiëntie van water- en nutriëntengebruik vastgesteld. Fertigatie in maïs werd in Frankrijk o.a. beproefd door Patrick Rosique. In Green technologies for agriculture werd in 2013 verwezen naar proeven van 2011. In de vergelijking van fertigatie met overhead beregening bleek de geproduceerde korrelmassa per eenheid N tot 60 % hoger te liggen in het geval van fertigatie.

In een Mediterraanse regio, meer specifiek de noordwestelijke Po-vlakte, toonden Blandino et al. (2019) een verhoogde stikstofefficiëntie door het gebruik van fertigatie (Figuur 58).



Figuur 58: Effect van bemestingsstrategie (vollevelds/fertigatie) en oppervlakkige irrigatie en druppelirrigatie op korrelopbrengst, irrigatiewaterefficiëntie (IWUE) en N-efficiëntie (NUE). Gemiddelde waarden van vijf teeltseizoenen (2014-2018) en vier herhalingen. Verschillende letters duiden op een statistisch significant verschil ($p < 0.05$). (Blandino et al., 2012)

Een kanttekening die kan gemaakt worden bij fertigatie is het feit dat in droogteperiodes, dus momenten waar de mineralisatie beperkt wordt door de droogte, de mineralisatie ook opnieuw op gang komt door het irrigatie-aspect. De N-voorziening zal groter zijn dan de N-gift op basis van de fertigatie. Anderzijds is door de betere vochtvoorziening ook de nutriëntenbehoefte van het gewas hoger.



9.1.3 Bladbemesting

Bladbemesting is een uiterste van ruimtelijke differentiatie van bemesting. De voedingsstoffen worden niet meer ter beschikking gesteld aan of via het wortelstelsel maar worden aan het gewas aangeboden langs het bladapparaat.

De voornaamste functie van het blad is de uitwisseling van CO₂ en O₂ en het creëren van een efficiënte sapstroom door verdamping, waarna met behulp van zonlicht de plant in staat is tot fotosynthese. Voor de opname van nutriënten spelen vooral de wortels een cruciale rol. Bladeren zijn echter ook in staat tot het opnemen van nutriënten en kleine organische moleculen. Dit kan op drie verschillende manieren:

- Via de huidmondjes (stomata);
- Via poriën rondom de bladharen (trichomen);
- Door middel van diffusie door de waslaag (cuticula) en de buitenste cellen (epidermis).

Nutriëntenopname door het blad is een passief proces, gebaseerd op concentratieverschillen, in tegenstelling tot opname via de wortels.

Bladbemesting is een veelgebruikte techniek wanneer opname via het wortelstelsel moeilijk verloopt (door o.a. droogte) of onzeker is of wanneer weersomstandigheden een bodemtoepassing onmogelijk of inefficiënt maken. Het wordt aangewend als een correctie of verzekering maar niet om te voldoen aan de basisbehoeften.

Ook in aardappelen en maïs worden bladvoedingen gebruikt.

Aardappelen

Recente proeven in aardappelen in het kader van het proefprogramma van het Landbouwcentrum Aardappelen toonden wisselende resultaten. Als surplus bovenop een volledige basisbemesting, zoals N-bladmeststoffen tegenwoordig in de praktijk vaak gebruikt worden, bleken N-bladmeststoffen algemeen geen positief effect te hebben op de opbrengst of de kwaliteit in de drie jaren 2016-2018 (Vanrespaille, Bries & Elsen, 2019). Als inzet voor een efficiëntere N-bemesting, door de toediening van stikstof te fractioneren, meer bepaald een verminderde N-basisbemesting aangevuld met N-bladmeststoffen in de zomer, werd in 2017 en 2018 dezelfde opbrengst en kwaliteit gemeten als bij een volledige basisbemesting. Enkel in 2017 werd bij deze aanpak een lager nitraatresidu gemeten in het najaar, wat wijst op een efficiëntere benutting van de toegediende stikstof.

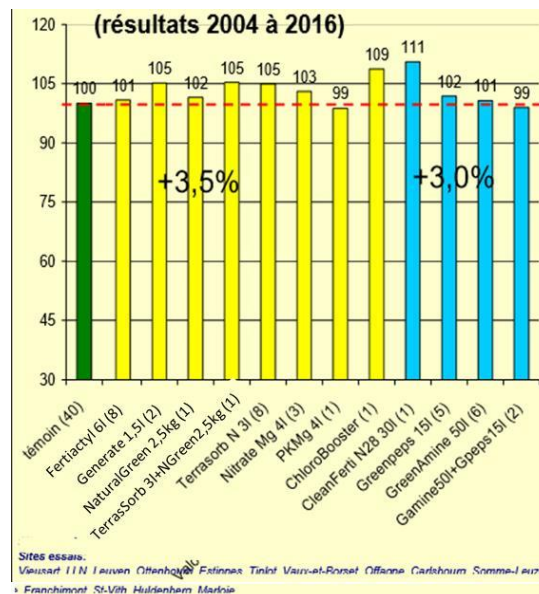
Van Geel et al. (2011) verwezen naar een studie van ALTIC in de periode 2005-2010 in opdracht van Cebeco Meststoffen. Er werd besloten dat het volledig vervangen van de stikstofbasisbemesting door een volledige toepassing als periodieke bladbemesting tot een sterke opbrengstdaling leidde. Een te kleine basisgift (in dit geval 75 kg N/ha) vóór het frezen aanvullen met een wekelijkse hoeveelheid stikstof via het blad leidde eveneens tot een significant lagere opbrengst dan eenzelfde gift eenmalig toegediend aan de basis. In deze proeven was het effect van stikstofbijbemesting via het blad op de opbrengst kleiner dan van stikstof toegediend via de bodem.

Maïs

Vanuit het CIPF (Centre indépendant de promotion fourragère) in Wallonië wordt het effect van bladvoeding of bladbemesting genuanceerd. Een toepassing wanneer het gewas door koude of droogte onder stress staat, heeft geen effect. De maïs zal onder deze omstandigheden niet reageren op de bladbemesting. Immers, als maïsplanten niet vitaal zijn, houden ze de huidmondjes in de bladeren gesloten. Dat maakt opname van voedingsstoffen via het blad heel moeilijk. Op een goed



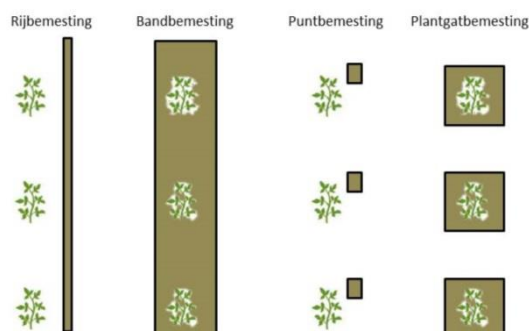
groeïend gewas, waar in principe geen bijkomende gift nodig wordt geacht, werden wel een hogere opbrengst genoteerd, gaande tot 5 % meeropbrengst (Figuur 59).



Figuur 59: Relatieve maïsoopbrengst na toepassing van bladvoeding tijdens de teelt (geel) en bladvoeding op basis van ureumstikstof (blauw)(cijfers tussen haken duiden op het aantal proeven) (naar CIPF)

Een belangrijk aandachtspunt bij bladbemesting is het risico op bladverbranding. Bladmeststoffen worden toegepast op een droog gewas. Ook na toepassing moet het nog enige uren droog zijn. In maïs wordt gesteld om, afhankelijk van het gewasstadium, niet meer dan 10-20 kg N/ha toe te dienen per bespuiting om bladverbranding te vermijden (Van de Ven et al., 2014). In aardappel wordt aangeraden om de dosis urean, vloeibare stikstof, te beperken tot 10 à 15 kg N/ha.

Beddenbemesting of bandbemesting en plantgatbemesting (Figuur 60) zijn andere mogelijkheden voor ruimtelijke differentiatie van bemesting maar zijn niet van toepassing op maïs en aardappelen.



Figuur 60: Duiding van de toepassingsplaats ten opzicht van de plant bij verschillende plaatsgerichte bemestingstechnieken

Plaatsspecifieke bemesting is een andere benadering. Deze benadering speelt in op de variatie op perceelsniveau. De bemesting kan nog steeds vollevelds, in rijen of op het blad worden toegediend maar varieert in functie van de heterogeniteit van het perceel. De mate waarin gedifferentieerd wordt, kan nog verschillen. Er kan gekozen worden om homogene zones op een perceel aan te duiden of tot een continue meting en continue aanpassing van de bemesting te komen. Dit kan gecombineerd

worden met een fractionering van de bemesting in de tijd. De methodes die hiervoor gebruikt worden zoals bijvoorbeeld satellietbeelden of bodemscans worden verder toegelicht bij het fractioneren van de bemesting in de tijd. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar Luik 3 Innovaties-Precisielandbouw.

9.2 Temporele fractionering

Het differentiëren van de bemesting in de tijd betekent dat de bemesting in de tijd wordt gespreid en in meerdere keren wordt uitgevoerd, met het doel de aanwezigheid van nutriënten af te stemmen op de behoefte van de plant. Differentiëren in de tijd kan door de bemesting gesplitst toe te dienen (9.2.1) of door te kiezen voor bepaalde meststoffen (9.2.2). Onderscheid in systemen van gesplitste toediening kan gemaakt worden op basis van de criteria die gebruikt worden voor de fractionering. Systemen onderscheiden zich door het tijdstip, het al dan niet gebruiken van ondersteunende waarnemingen en welke waarnemingen gebruikt worden.

De fractionering kan gebeuren als:

- Vast schema: vooropgestelde stadia & vooropgestelde dosissen;
- Semi-variabel schema: vooropgestelde stadia & variabele dosis bijbemesting;
- Semi-variabel schema: basisbemesting – variabel stadium & dosis van bijbemesting ifv waarnemingen.

Voor de begeleidende systemen voor bemesting en de waarnemingen en metingen die als instrument gebruikt worden voor de beslissing omtrent bijbemesting (tijdstip en/of dosis) is een waaier aan mogelijkheden beschikbaar (9.2.3).

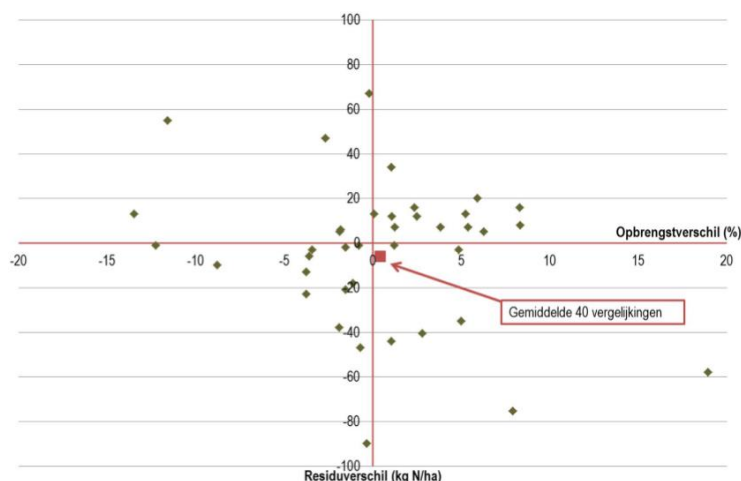
9.2.1 Gesplitste toediening

Aardappelen

Zoals Vos (1999) stelde, is de eerste doelstelling van het fractioneren van de bemesting een verhoogde efficiëntie, eerder dan een hogere opbrengst. Eerdere literatuur duidde op minstens evenwaardige opbrengsten bij fractionering in een gematigd klimaat. Uit veldproeven, uitgevoerd tussen 1989 en 1993 en waarbij elke vorm van stress, droogte of ziekte, werd vermeden, besloot ook Vos dat fractionering van de bemesting niet leidde tot een hogere opbrengst in aardappelen maar wel tot een matige efficiëntiewinst van de aangewende stikstof. Hij stelde dat een duurzaam stikstofbeheer het fractioneren van de N-bemesting verantwoordt en dat tot 60 dagen na opkomst de N-bemesting kan aangepast worden.

Na drie Vlaamse demoprojecten ('Aardappelen: meer dynamiek, minder nutriënten', 2006-2007; 'Minder nitraten, evenveel aardappel', 2008-2009 en 'N naar de aardappel brengen en zo N efficiënter benutten', 2012-2013) werd hetzelfde besluit getrokken: een gefractioneerde N-bemesting in aardappel resulteerde in een beperkt lager nitraatresidu met behoud van het opbrengstniveau (De Blauwer et al., 2014b) (Figuur 61). Het verschil in nitraatresidu was groter wanneer de bijbemesting tijdig (in dit geval 1 juli) gebeurde (Tabel 31).





Figuur 61: Effect fractioneren op nitraatresidu én totale opbrengst (Residuverschil = effect van fractioneren t.o.v. niet fractioneren; Opbrengstverschil = effect van fractioneren t.o.v. niet fractioneren) (De Blauwer et al., 2014b)

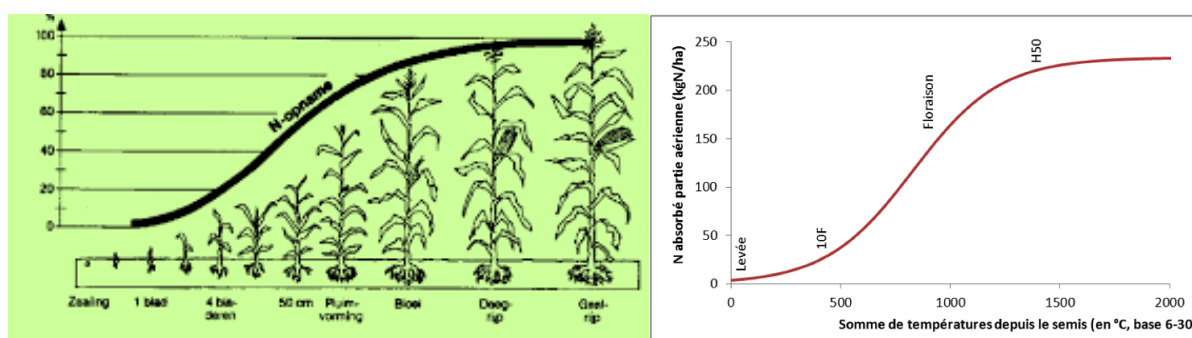
Tabel 31: Gemiddelde opbrengst en nitraatresidu in de aardappelproeven waar de tweede fractie werd toegediend voor 1 juli (De Blauwer et al., 2014b)

	Totale opbrengst		Opbrengst +50 mm		Nitraatresidu (0-90cm) kg N/ha
	ton/ha	%	ton/ha	%	
100 % N-advies bij planten	53,9	100	41,3	100	111
70% N-advies bij planten-30% later	54,4	101	41,7	101	100

Maidl et al. (2002) toonden dat de N-efficiëntie bij een volleveldse toepassing hoger was wanneer de stikstofbemesting op drie tijdstippen gebeurde (bij planten, bij opkomst en bij gewas 20 cm) ten opzichte van een éénmalige gift bij planten.

Maïs

Ook het N-opnamepatroon van maïs (Figuur 62) duidt op een periode van intensieve opname en enige mogelijkheid naar fractionering.

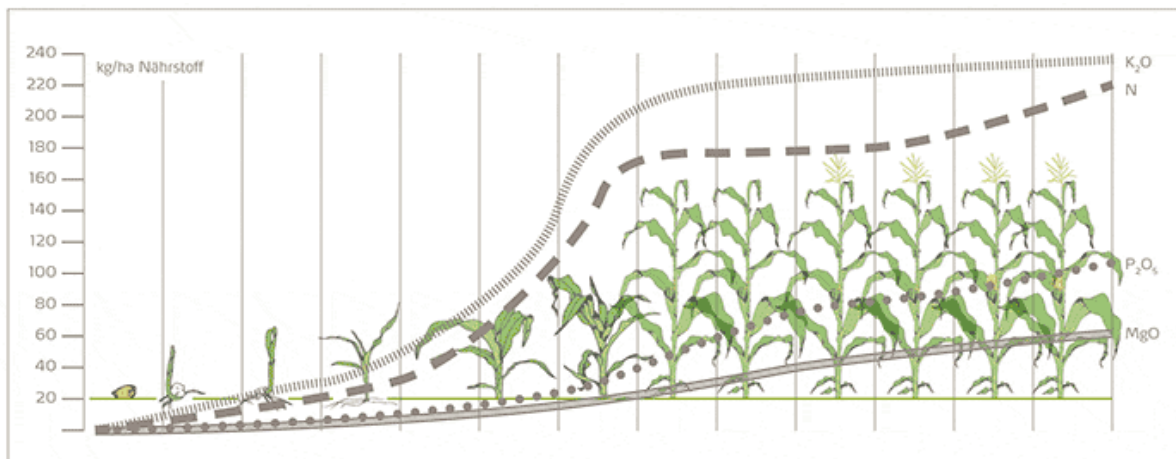


Figuur 62: N-opnamepatroon van maïs (Van de Ven et al., 2014 (links); naar Arvalis (Levée=opkomst, 10F= 10-bladstadium, floraison=bloei, H50= 50% vocht (rechts))

Zhou et al. (2017) toonden in China dat een doorgedreven fractionering met behulp van fertigatie in maïs de N-efficiëntie verhoogde ten opzichte van de conventionele bemesting waar al met 2 fracties gewerkt werd, 50 % bij planten en 50% in V6-stadium. Sitthaphanit et al. (2010) meldden de voordelen van drie fracties en het uitstellen van de basisgift tot 7 à 15 dagen na opkomst in een regenrijk klimaat

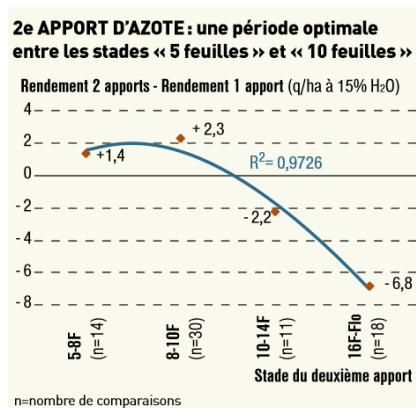
zoals Thailand. Drie fracties bleken ook in de studie van Anjum et al. (2018) te Pakistan het meest efficiënt, onafhankelijk van de variëteit.

In Nederland wordt gesteld dat een deling van nutriëntengift in maïs geen voorkeur heeft (Handboek Bodem en Bemesting). Een deling van de N-gift zou leiden tot opbrengstderving en een lagere benutting. Enkel op gronden met een sterk beperkte bewortelingsdiepte in combinatie met grote hoeveelheden neerslag wordt een mogelijkheid gezien. In Frankrijk daarentegen wordt er nochtans vanuit gegaan dat fractioneren van de N-gift in maïs de manier is om de N-efficiëntie te verhogen. Soënen en Bouthier (2015) stelden na een synthese van proefvelden van 1983 tot 2012 een opsplitsing van de N-bemesting in twee à drie fracties voor. Tussen de zaai en het 4-bladstadium moet naar de bodemvoorraad gekeken worden en moet zeker niet meer dan 50 kg N/ha worden toegediend. De belangrijkste N-opname wordt gerealiseerd vanaf het 6-8-bladstadium en bereikt een maximum omstreeks de bloei (Figuur 63). Een eventuele laatste fractie werd voorgesteld tussen 15-blad en bloei. Praktisch is het echter doorgaans niet mogelijk om na het 10-bladstadium het gewas nog te behandelen.



Figuur 63: Duiding van stikstofopnamekinetiek door voedermaïs (Effizient duengen)

In Frankrijk werd in meerdere proeven een éénmalige bemesting, vollevelds met ureum tussen zaai en 4-bladstadium, vergeleken met een gefractioneerde bemesting met 40 kg N/ha als basisgift en eenzelfde totale N-gift en een tweede fractie in verschillende stadia. Vanuit Arvalis (2020) wordt gesteld dat bij eenzelfde N-bemesting twee fracties efficiënter zijn dan één gift bij het begin van de teelt, weliswaar op voorwaarde dat de tweede fractie tijdig wordt gegeven, ten laatste voor het 10-bladstadium (Figuur 64). Gemiddeld wordt 50 kg N/ha als basis voorgesteld, vóór het 4-bladstadium.



Figuur 64: Vergelijking van de maïsoopbrengst (q/ha bij 15% vocht) bij het fractioneren van de N-bemesting ten opzichte van de referentie met een éénmalige bemesting tussen zaai en 4-bladstadium. Alle objecten kregen een zelfde totale N-dosis. De bemesting gebeurde vollevelds met ureum. In de gefractioneerde schema's bedroeg de basisbemesting 40 kg N/ha, de tweede fractie werd toegediend op verschillende tijdstippen: 5-8 bladstadium (5-8F), 8 tot 10-bladstadium (8-10F), 10-14 bladstadium (10-14F) of laat in 16 bladstadium tot bloei (16F-Flo). (Arvalis, 2020)

Bij zeer lage adviezen wordt geadviseerd om enkel in 5-9-bladstadium (naargelang de bron 6-8-bladstadium) stikstof toe te dienen. Ook bij toepassing van drijfmest wordt aangeraden om de minerale dosis te voorzien in het 5-9-bladstadium.

In Vlaamse proeven in 2017 en 2018 kon, mede door de extreme, zeer droge, weersomstandigheden, geen positief effect van bijbemesting worden getoond bij maïs (LCV, 2019). Mogelijk speelt ook hier de hogere basisgift een rol.

9.2.2 Meststofkeuze

Een bemesting gedifferentieerd in de tijd kan ook gerealiseerd worden door de meststofkeuze. Er wordt dan in eerste instantie gekeken naar het verschil tussen organische of dierlijke mest en minerale meststoffen. In tweede instantie moet gekeken worden naar een breed gamma van minerale meststoffen, zoals slow en controlled release meststoffen.

De benutting van nutriënten uit organische meststoffen is in het algemeen lager dan die van minerale meststoffen. De beschikbaarheid van N uit organische meststoffen wordt gekarakteriseerd met de "N-werkingscoëfficiënt". De N-werkingscoëfficiënt of de werkzame stikstof staat voor het percentage van de totale hoeveelheid N in organische mest die in het eerste jaar na toediening beschikbaar komt voor het gewas. De stikstof die in het eerste jaar na toediening beschikbaar komt voor het gewas komt bovendien slechts geleidelijk ter beschikking.

Wat minerale meststoffen betreft, kan onderscheid gemaakt worden in functie van het type N-verbinding: ammonium (NH₄), nitraat (NO₃) of N_{organisch} (ureum), evenals in functie van de snelwerkzaamheid van de meststof.

Slow release meststoffen zijn meststoffen die nutriënten bevatten in een vorm die de beschikbaarheid voor plantopname vertraagt. Controlled release meststoffen zijn meststoffen die significant langer bij de plant aanwezig zijn dan een meststof waarvan de nutriënten gemiddeld snel beschikbaar zijn. De termen slow en controlled release worden vaak door elkaar gebruikt, hoewel er toch belangrijke verschillen zijn.

De snelheid, het patroon en de duur van vrijstelling van slow release meststoffen zijn ongecontroleerd en kunnen variëren onder invloed van meerdere factoren: microbiële activiteit en bijgevolg ook temperatuur, vochtgehalte en pH.



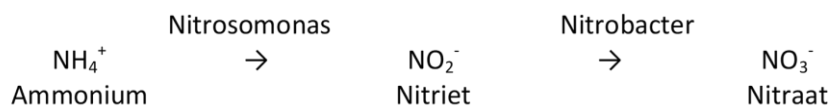
Een controlled release meststof voldoet volgens Liu et al. (2017), die hierin Trenkel (2010) citeerden, voor de gecontroleerde vrijstelling van nutriënten onder bepaalde omstandigheden, waaronder een bodemtemperatuur lager dan 25 °C, aan de volgende criteria:

- maximaal 15 % vrijstelling in 24 uur;
- maximaal 75 % vrijstelling in 28 dagen;
- minstens 75 % vrijstelling in de vermelde vrijkomingstijd (40-360 dagen).

Een 'slow of controlled release' kan gerealiseerd worden met behulp van verschillende principes:

- Lage oplosbaarheid van de meststof in de bodem;
- Langzame afbraak van de meststof door micro-organismen in de bodem;
- Coating van de meststof;
- Insluiten van de voedingsstoffen van een meststof in een matrix;
- Toevoeging van remstoffen van natuurlijke bodemprocessen aan de meststof;
- Gebruik van ionenwisselaars.

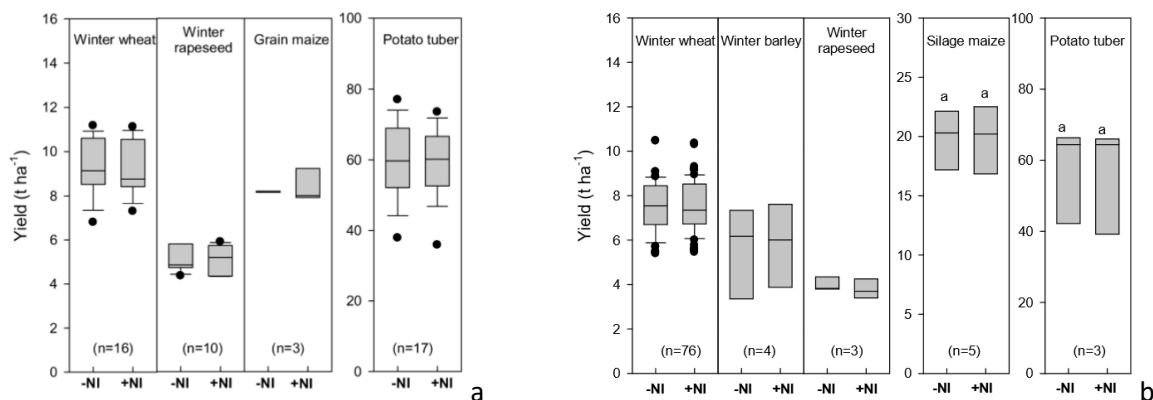
Nitrificatieremmers en ureaseinhibitoren zijn dergelijke stoffen die kunnen toegevoegd worden aan meststoffen (mineraal of organisch) en de afbraak van de meststof vertragen. Meer specifiek vertragen de nitrificatieremmers of -inhibitoren de oxidatie van ammonium naar nitraat door de activiteit van Nitrosomonas te onderdrukken.



Figuur 65: Schematische weergave nitrificatie

Aan ureum bevattende meststoffen, waaronder dus ook dierlijke mest, kunnen ureaseremmers toegevoegd worden. Deze remmers of inhibitoren vertragen de hydrolyse van ureum, waarbij ammoniumbicarbonaat gevormd wordt. Door de beperkte en gecontroleerde hydrolyse kunnen ammoniumverliezen beperkt worden. Het inwerken van meststoffen, een correcte pH en de juiste weeromstandigheden bij spreiden zijn zeker zo efficiënte maatregelen ter beperking van de ammoniumverliezen.

Voorbeelden van nitrificatieremmers zijn nitrapyrin, DMPP, DCD en Piadin. Hu et al. (2014) wezen op de talrijke publicaties omtrent nitrificatieremmers waarvan het gebruik leidde tot minder NO₃-uitspoeling, verlaagde NO_x- en N₂O-verliezen alsook een grotere flexibiliteit voor de bemesting en een besparing van een werkgang. Zelf verzorgden ze een meta-analyse van talrijke Duitse veldproeven in de periode 1997-2008 om een duidelijk zicht te krijgen op het effect van nitrificatieremmers op de opbrengst van enkele belangrijke akkerbouwgewassen. Uit de analyse bleek dat het gebruik van een nitrificatieremmer niet leidde tot hogere opbrengsten. Bij behoud van de totale N-gift kon in maïs en aardappelen, waar in Duitsland van twee fracties wordt uitgegaan, één fractie volstaan door toevoeging van een nitrificatieremmer, met behoud van opbrengst (Figuur 66).



Figuur 66: Opbrengstvergelijking voor wintertarwe, winterkoolzaad, korrelmaïs en aardappelen zonder en met toevoeging (-NI en +NI) van een nitrificatieremmer bij eenzelfde dosis (a) en opbrengstvergelijking bij een gelijke dosis maar een fractie minder (b). (Hu et al., 2014)

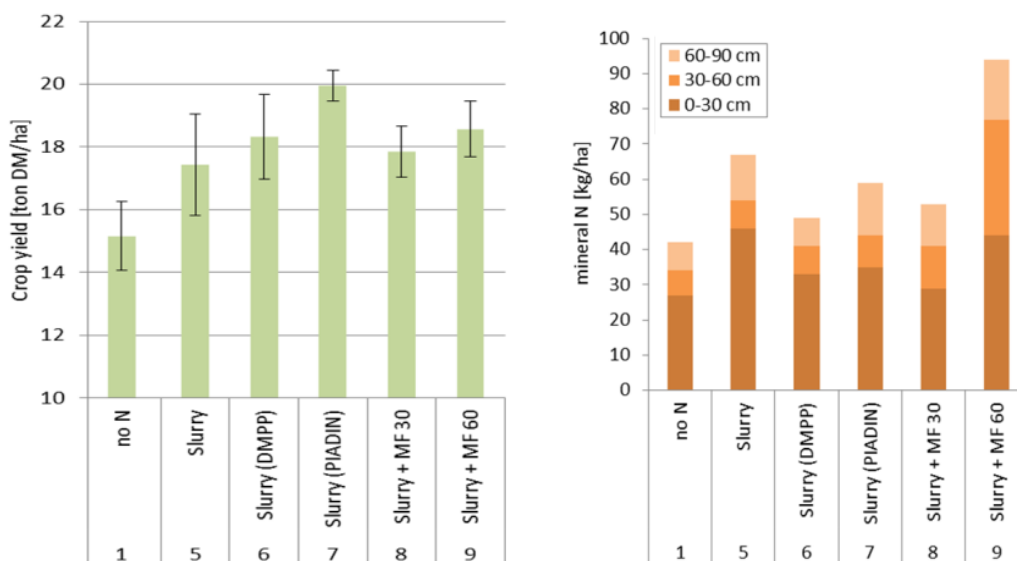
Aardappelen

Postma et al. (2012) verwezen naar 9 veldproeven in de periode 2006-2008 met o.a. slow of controlled release meststoffen voor de teelt van poot-, zetmeel- en consumptieaardappelen. Het N-bemestingsniveau in de testobjecten was in de veldproeven met pootaardappelen en zetmeelaardappelen in principe gelijk aan 90 % van het N-advies en in de proeven met consumptieaardappelen aan 67 % van het N-bemestingsadvies. Zodoende kon worden nagegaan of met de testmeststoffen bij een lagere N-gift hetzelfde resultaat kon worden gerealiseerd als bij een adviesgift met de standaardmeststoffen. Gemiddeld over 8 van de 9 proeven waren de opbrengsten verkregen met nieuwe meststoffen en/of bemestingsystemen vergelijkbaar met die in de referentieobjecten. Zij stelden dat de meerwaarde van 'nieuwe' meststoffen voor het realiseren van de optimale opbrengst bij een verlaagde N-gift beperkt was. Toediening van Piadin, welke ook beproefd werd, leidde steeds tot een verhoging van de N-werking van de mest.

Maïs

Positieve resultaten met nitrificatieremmers in maïs in Vlaanderen werden getoond door Coussement et al. (2014, 2015) en Vandendriessche et al. (2015). In 2014 werden in de Kempen twee nitrificatieremmers beproefd. Gebruik van beide nitrificatieremmers zorgde voor een duidelijk betere gewasstand, een hogere opbrengst en een verminderd nitraatresidu (Figuur 67). Een bijkomende minerale fractie en hogere totale N-gift zorgde niet voor een betere opbrengst in vergelijking met de nitrificatieremmers.





Figuur 67: Opbrengstresultaten (links) en nitraatresidu (rechts) na gebruik van nitrificatieremmers ('Slurry (DMPP)' en 'Slurry (PIADIN)' of gebruik van een tweede minerale fractie aan variabele dosis ('Slurry+MF30' en 'Slurry+MF60') in maïs op een proefveld in de Kempen in 2014. (naar Coussement et al. (2014) en Vandendriessche et al. (2015))

Minder N-bemesting leidt in principe ook tot minder N₂O-emissie. Nieuw-Zeelandse studies laten zien dat nitrificatieremmers de emissie van lachgas met 50 tot 70 % kunnen verminderen. Kuikman et al. (2016) begrootten de jaarlijks haalbare emissiereductie van lachgas bij toepassing van nitrificatieremmers in Nederland (Tabel 32).

Tabel 32: Overzicht van de jaarlijkse emissiereductie van lachgas haalbaar bij toepassing van nitrificatieremmers bij kunstmest en mesttoediening in Nederland. (naar Kuikman et al., 2016).

Bron	Stikstof-aanvoer (10 ⁶ kg N)	Stikstof-aanvoer (10 ⁶ kg N)	Lachgas-emissie (10 ⁶ kg N)	Maximale reductie (10 ⁶ kg N)	Potentiele reductie (10 ⁶ kg N)	R _{verrijkt}	Reële reductie (10 ⁶ kg N)	Reële reductie (10 ⁶ kg CO ₂ -eq.)
	NIR 2005	Dit rapport						
Kunstmest	269	279	2.8	0.7	0.4	0.9	0.3	158
Mesttoediening	282	297	4.1	1.6	0.8	0.9	0.7	335

Het positieve effect van nitrificatieremmers op klimaatmitigatie mag echter niet overroepen worden. In Science for Environment Policy werd in 2016 gewezen op het feit dat nitrificatie-inhibitoren naast de positieve eigenschap om N₂O-vrijgave te beperken ook zorgen voor een hogere concentratie ammonium (NH₄⁺) in de bodem wat leidt tot een hogere ammoniakvervluchtiging (NH₃). Het verplicht en snel inwerken zal er echter voor zorgen dat NH₄⁺ voldoende snel kan gebonden worden aan de bodempartikels.

Een vertraagde nitrificatie wordt ook bewerkstelligd door de Cultanmethode. Cultan staat voor Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition of lange-termijn ammoniumvoeding door gecontroleerde opname. Deze methode werd ontwikkeld aan de universiteit van Bonn. Bij de Cultanmethode wordt een zeer hoge concentratie van ammoniummeststoffen in de rij geïnjecteerd. Dit is een bijzondere vorm van rijenbemesting. Door de hoge concentratie kunnen nitrificatiebacteriën de ammoniumstikstof niet onmiddellijk omzetten tot nitraatstikstof, waardoor de plant een belangrijk deel van de stikstof als ammonium op moet nemen. De juiste plaatsing van het stikstofdepot is afhankelijk van het gewas en de grootte van de gift, maar moet minstens 5 cm naast de plant zijn. Bij de Cultanmethode wordt uitgegaan van een éénmalige bemesting, zonder bijsturing tijdens het groeiseizoen.



Er wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van een oplossing van ammoniumsulfaat en ureum, met een verhouding van 40 kg ammoniumsulfaat en 35 kg ureum in 100 liter water, hetgeen neerkomt op 24,5 kg N. Echter, diverse vloeistoffen waarvan het gehalte aan ammonium en ureum hoger is dan het nitraatgehalte, bv. Urean (30 % N) komen in aanmerking. Afhankelijk van de teelt en meer specifiek de rijafstand, wordt voor de toediening gebruik gemaakt van een spaakwielbemester (in granen) of injectoren (in maïs, aardappelen).

In België en Nederland is het meeste onderzoek gedaan naar het gebruik van de Cultanmethode in groentegewassen, minder in akkerbouwgewassen.

Sommer (2001) toonde de positieve resultaten uit oudere proeven alsook de mogelijkheid om de N-dosis met 20 tot 30 % te verminderen door de Cultanmethode te gebruiken (Tabel 33). Weimar (2001) toonde resultaten uit een meerjarig onderzoek in aardappelen in de periode 1998-2001. Deze bevestigden de mogelijkheden van de Cultanmethode, mogelijke hogere opbrengst of behoud van opbrengst en verminderde N-gift. In veel proeven werd de Cultanmethode alleen vergeleken met een éénmalige breedwerpig toegediende meststofgift, terwijl het ook in Duitsland gebruikelijk is om vaste meststoffen toe te dienen in functie van een bijmeststelsysteem. Mogelijk zou een vergelijking met een gefractioneerd schema een andere uitkomst geven. In de proef van 2001 lag wel een object met gedeelde bemesting aan (Tabel 34). Bij een bemesting onder advies bleek de gefractioneerde bemesting met KAS (methode 7) het beter te doen dan de éénmalige toediening van KAS (methode 6) maar toonde het object bemest met de Cultanmethode (methode 8) de hoogste opbrengst.

Tabel 33: Resultaten van een bemestingsproef uit 1996, waarbij de toepassing van de Cultanmethode vergeleken wordt met een volveldse toediening van KAS (Sommer, 2001).

Kartoffeln, Sorte Fambo, angebaut nach dem "CULTAN"-Verfahren, 1996

N-Düngung	Kartoffeln			Stärke	
	dt/ha	rel.	% Stärke	dt/ha	rel.
Kopfdüngung*					
200 kg N/ha	620	100	13,40	83,1	100
CULTAN**					
120 kg N/ha	635	102	15,30	97,2	117
CULTAN**					
160 kg N/ha	660	106	15,80	104,3	126

* Kalkammonsalpeter

** HAS-Lösung: 2/3 N Harnstoff + 1/3 N Ammoniumsulfat

Tabel 34: Resultaten bemestingsproef aardappelen, vergelijking van verschillende N-dosis en N-meststof. Proef in de variëteit Saturna in 2001. (Weimar, 2001)

Versuchsort: Ibersheim		Bodenart: tS		Nr.: P 47.1							
Sorte: Saturna (Reifegr. IV)		Bodenzahl: 60		Jahr: 2001							
Vorfrucht: Durumweizen		Humus (%): 2,0									
Pflanzung: 24.04.2001 (02.05.01)		pH-Wert: 6,5									
Auflauf: 20.05.2001 (26.05.01)											
Ermittlung des Stickstoff-Düngebedarfes (mod. N_{min} - Methode)											
Solwert:		bei Ertragsziel 350 dt/ha			180						
Zu-/Abschläge:		N _{min} - 0-60cm			- 26						
		Ackerzahl < 40			- 25						
		org. Düngung			0						
		Vorfrucht			0						
Stickstoff-Düngeempfehlung:		in kg N/ha			129						
Methode	Düngerart	kg je ha	Da-tum	Stärke		Dun-can-test	Markt-ware		Marktware-ertrag		Dun-can-test
				%	dt/ha		rel.	%	dt/ha	rel.	
1	Kontroll	-	-	17,0	349,8	100	C	81,2	284,0	100	C
N_{min} mod. erhöht											
2	KAS 27%	200	02.05.	17,0	436,4	125	A	74,1	323,4	114	AB
3	AHL 28% CULTAN		02.05.	16,5	391,3	112	ABC	82,8	324,0	114	AB
N_{min} mod.											
4	KAS 27%	150	02.05.	16,5	417,0	119	AB	73,3	305,4	108	ABC
5	AHL 28% CULTAN		02.05.	16,9	407,6	117	AB	78,2	318,7	112	ABC
N_{min} mod. Reduziert											
6	KAS 27%		02.05.	16,6	404,0	115	AB	73,8	298,0	105	BC
7	KAS 27% (60+40)		02.05.	16,9	393,3	112	ABC	78,9	310,3	109	ABC
			06.06.								
8	AHL 28% CULTAN	100	02.05.	16,6	424,2	121	A	79,9	339,0	119	A
9	ASS 26%		02.05.	17,0	397,0	113	ABC	82,1	325,4	115	AB
10	ENTEC 26%		02.05.	16,9	375,6	107	BC	76,2	285,9	101	C
11	AHL 28%		18.05.	16,7	395,7	113	ABC	78,2	309,5	109	ABC
12	Harnstoff		02.05.	16,6	396,3	113	ABC	82,3	326,2	115	AB

In een overzicht van de mogelijkheden van vloeibare meststoffen verwees Clevering (2002) echter naar Slabbekoorn (1999 en 2000) die gedurende twee jaar de toepassing van de Cultanmethode als basisbemesting in aardappelen op kleigrond onderzocht. In het tweejarig onderzoek werkte de Cultanmethode niet beter dan KAS, noch kon er op de stikstofgift worden bespaard.

Resultaten met Cultan in maïsproeven in 1999 en 2000 werden getoond door Weimar (2001). Bij eenzelfde N-bemesting gaf de Cultanmethode door het injecteren van de ureum-ammoniumnitraatoplossing (AHL= Ammonitrat-Harnstoff-Lösung; 28 % N: 7 % NO₃-N, 7 % NH₄-N en 14 % Amide-N) de hoogste opbrengsten, hoger dan bij het toedienen van dezelfde oplossing door middel van sleepslangen (nr 5) of het gebruik van KAS bij zaai (nr 2) of in 4-6-bladstadium (nr 3) (Tabel 35).

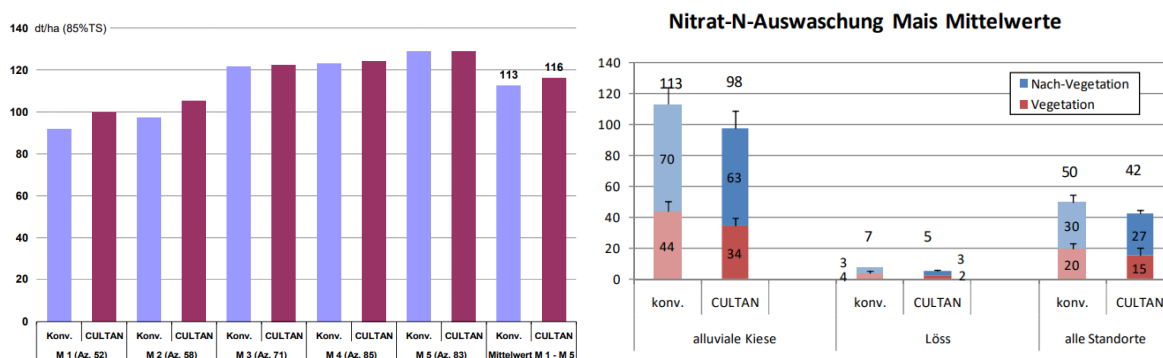


Tabel 35: Resultaten van N-bemestingsproeven korrelmaïs te Minfeld in 1999 en 2000. Vergelijking van N-meststof en toedieningsmethode. (naar Weimar, 2001).

Sorten : Helga (1999/2000), Pactol (1999)										
Unkrautbekämpfung : 0,75 l/ha Motivell + 0,75 l/ha Mikado + 0,3 l/ha Banvel am 25.05.										
Saatzzeit und Saatstärke: 28.04.2000 mit 8 Pflanzen/m ²										
Vorfrucht: Winterweizen										
N _{min} am 12.04.2000										
N-Düngungssystem		1. N-Gabe	Summe	2000				1999		99-00
Nr.		02.05. ES 00		Helga (K 250)		Helga (K 250)		Pactol (S 290)		
VR*	Kontrolle dt/ha ---->	kg/ha	kg/ha	Kornertrag rel. 100,9 dt/ha	TS-Gehalt %	Kornertrag rel. 106,4 dt/ha	TS-Gehalt %	Kornertrag rel. 112,4 dt/ha	TS-Gehalt %	%
1	ohne Stickstoff	0	0	100	77,1	100	78,1	100	75,1	100
2	Modifizierte N _{min} -Methode KAS	171 KAS	171	119	77,8	133	80,8	139	76,1	130
3	Modifizierte N _{min} -Methode KAS zum 4-6-Blatt-Stadium	171 KAS	171	108	77,1	128	80,4	135	75,3	124
4	Modifizierte N _{min} -Methode AHL CULTAN (Injektion)	171 AHL (09.05.)	171	141	77,5	128	79,7	133	77,6	134
5	Modifizierte N _{min} -Methode AHL CULTAN (Schleppschlauch)	171 AHL (09.05.)	171	134	77,8	118	77,7	122	75,6	125
6	Modifizierte N _{min} -Methode ASS	171 ASS	171	130	77,8	134	79,7	133	76,8	132
7	Modifizierte N _{min} -Methode ENTEC 26	171 ENTEC	171	139	77,4	119	79,1	129	77,2	129
8	Modifizierte N _{min} -Methode Harnstoff	171 HS	171	118	77,2	122	80,3	120	76,6	120
9	Modifizierte N _{min} -Methode - 50% Harnstoff	171 HS	171	126	77,3	120	78,6	110	76,1	119

Maier et al. (2011) toonden eveneens de mogelijkheden van de Cultanmethode in maïs op basis van veldproeven in de periode 2008-2011 op telkens 5 proeflocaties in het 'Oberrhein'-gebied. Het opbrengstverschil tussen de volleveldse bemesting en de Cultanbemesting was evenwel niet significant (Figuur 68). De nitraatverliezen door uitspoeling, beschouwd over een gans jaar, waren gemiddeld 8 kg N/ha lager na het gebruik van Cultanbemesting maar verschilden niet significant van de volleveldse bemesting (Figuur 68).

In enkele proeven toonden Maier et al. (2011) ook dat eenzelfde opbrengst kon behaald worden met 20 % minder N maar met Cultanbemesting in plaats van volleveldse bemesting.



Figuur 68: Gemiddelde korrelopbrengst (dt/ha; 85 % droge stof/15 % vocht) per locatie en over alle locaties heen (links) en gemiddelde nitraatuitspoeling (kg N/ha/jr) in functie van bodemtype en over alle locaties heen in de periode 2008-2010 na volleveldse en cultanbemesting (naar Maier et al., 2011).

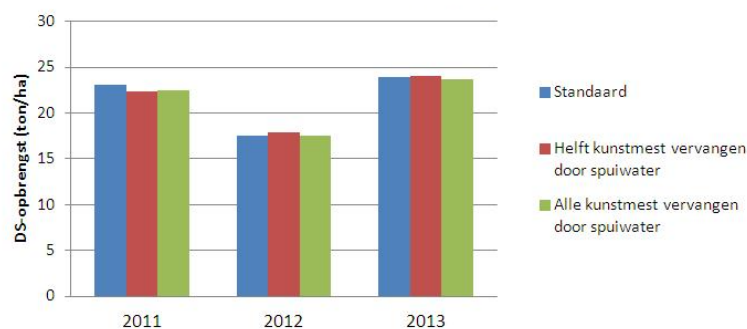
Flisch et al. (2013), die de Cultanmethode in maïs in Zwitserland beproefden en wat kanttekeningen plaatsten bij de stabiliteit van het ammoniumdepot, wierpen als toekomstperspectief het gebruik van ammoniumsulfaat afkomstig uit waterzuiveringsstations in combinatie met de Cultanmethode, op. Voorwaarde voor de Cultanmethode is een hoog aandeel ammoniumstikstof. Dit brengt ons bij de

mogelijkheid van spuiwater, meer specifiek spuiwater van een chemische luchtwasser. Dit spuiwater is een stikstof- en zwavelmeststof en kan vier tot acht procent N bevatten. De inhoud is sterk afhankelijk van de sturing van de luchtwasser. De aanwezigheid van zwavel beperkt doorgaans het gebruik van spuiwater tot maximum 1000 à 1250 L per ha.

Spuiwater van een chemische luchtwasser toonde zich al in meerdere proeven, zowel in aardappelen als maïs, als een volwaardige stikstofkunstmestvervanger.

In Vlaanderen werd het potentieel van dit spuiwater in aardappelen gedemonstreerd in het kader van het Landbouwcentrum Aardappelen. Over de volledige proefperiode (2013-2015) werd de opbrengst onderzocht op 23 teeltjaar-locatie combinaties. De resultaten van deze 23 objecten toonden aan dat de opbrengst gemiddeld 99 % bedroeg bij toepassing van spuiwater in vergelijking met toepassing van minerale meststoffen (Hardy, 2016). Ook in Nederland werd spuiwater van luchtwassers reeds in 2012 als een perspectiefvolle meststof beoordeeld door Willem van Geel. In Vlaanderen gingen ook al landbouwers aan de slag met spuiwater in aardappelen. Eén van de landbouwers heeft zelf een rijenfrees omgebouwd. Hij maakt gebruik van slangenpompjes, de dosering is afhankelijk van de rijsnelheid.

Mogelijkheden van spuiwater van chemische luchtwassers in maïs werden getoond door Inagro op enkele studiedagen in het voorjaar 2014 (Figuur 69). De Bodemkundige Dienst van België toonde in het Vlaanderen Circulair-project UNIR in 2019 en 2020 eveneens de mogelijkheden van spuiwater als volwaardige kunstmestvervanger, onder andere in maïs.



Figuur 69: Droge stofopbrengst (ton/ha) bij bemesting met minerale meststof en/of spuiwater (Inagro)

Uitgaande van de voordelen van een in de tijd gespreide stikstofgift, is de uitdaging het bepalen van het tijdstip en de dosis van bijbemesting. Zoals eerder gesteld gaan de systemen met fractionering verschillen door het tijdstip, het al dan niet gebruiken van ondersteunende waarnemingen en welke waarnemingen gebruikt worden.

9.2.3 Bijbemesting of niet, wanneer en hoeveel?

Uiterste data van bijbemesting blijken op basis van de eerder vermelde literatuurgegevens voor aardappelen en maïs neer te komen op respectievelijk 60 dagen na opkomst en het 10-bladstadium. Voor het al dan niet bemesten kan uitgegaan worden van de bodem, het gewas of een combinatie van beide.

Bodemgerelateerde sturing

Uitgaande van de bodem kan gedacht worden aan volgende gekende systemen:

- N-INDEX



De N-INDEX is een expertsysteem ontwikkeld door de Bodemkundige Dienst van België voor de berekening van perceelsspecifieke stikstofbestedingsadviezen voor akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten, fruitteelt en weiland, op basis van een minerale-stikstofanalyse van de bodem. De N-INDEX geeft aan hoeveel stikstof er in de loop van het groeiseizoen ter beschikking komt van de teelt. Omdat niet alleen rekening wordt gehouden met de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem op het moment van staalname, maar ook met de verwachte stikstofmineralisatie in de eerstvolgende maanden, kan een nauwkeurig stikstofbestedingsadvies gegeven worden.

Het N-INDEX systeem is gebaseerd op 18 factoren die onder te verdelen zijn in 3 grote groepen.

- Factoren die de reeds beschikbare hoeveelheid minerale stikstof in de bodem op het moment van de staalname weergeven en de hoeveelheid stikstof die op het moment van de staalname al opgenomen is door het gewas. De hoeveelheid beschikbare minerale stikstof in de bodem wordt gemeten door de minerale-stikstofanalyse. De reeds opgenomen stikstof door het gewas op het ogenblik van staalname wordt hoofdzakelijk bepaald door de teelttechniek en door de ontwikkeling van het gewas.
- Factoren die bepalen hoeveel minerale stikstof er zal geleverd worden door de bodem gedurende het groeiseizoen. Dit is de stikstof die door mineralisatie vrijgesteld wordt uit bodemhumus, oogstresten, groenbemesters en reeds toegediende organische meststoffen. Het hele mineralisatieproces wordt geëvalueerd door de somming van verschillende deelprocessen die bijdragen tot de totale mineralisatie. Elk deelproces komt overeen met een factor in de berekening van de N-INDEX.
- Factoren die resulteren in een verminderde beschikbaarheid van minerale stikstof gedurende het groeiseizoen: lage pH, uitspoeling, vervluchtiging, denitrificatie en afspoeling.

$$N-INDEX = \underbrace{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + x_{18}}_{(1)} \quad \underbrace{\dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots}_{(2)} \quad \underbrace{\dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots}_{(3)}$$

Voor het berekenen van al deze factoren moet de voorgeschiedenis van het perceel goed gekend zijn. Hiervoor worden heel wat vragen gesteld bij de staalname en worden de antwoorden genoteerd op het inlichtingsformulier van het perceel. Aan de hand van deze gegevens, samen met de analyseresultaten uit het laboratorium, wordt de N-INDEX berekend.

De berekening van het stikstofbestedingsadvies op basis van de N-INDEX wordt als volgt geformuleerd:

$$N\text{-bestedingsadvies } Y = A - b * N\text{-INDEX}$$

A is de totale stikstofbehoefte van de teelt. De waarden A en b werden afgeleid uit proefveldonderzoek. De adviesbasis is een dynamisch gegeven dat op basis van onderzoeksresultaten (o.a. gegevens over nieuwe variëteiten) regelmatig wordt aangepast.

Voor o.a. granen, gras, aardappelen wordt een fractioneringsschema ingesloten bij de adviezen.

- KEMA adviessysteem

De Bodemkundige Dienst van België heeft voor bepaalde openluchtteelten (bv. aardbei, boomkwekerij) en grondteelten onder kap een wetenschappelijk onderbouwd adviessysteem ontwikkeld, nl. het KEMA-systeem. KEMA staat voor: Controle van de Evolutie van de Mineralen en hun Accumulatie. Een KEMA-analyse is een standaardgrondontleding met bijkomende bepaling van zout en minerale stikstof. Gezien de context van deze studie wordt niet verder ingegaan op dit adviessysteem.



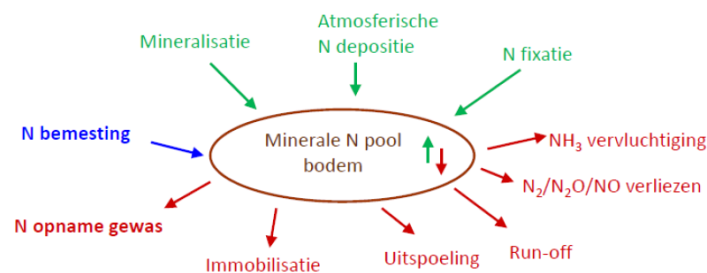
- N-balans

De N-balans blijkt initieel ontwikkeld te zijn in Frankrijk en de Verenigde Staten. Deze benadering wordt toegepast in Vlaanderen maar o.a. ook in Frankrijk, Duitsland en Nederland. De N-balans kan betrekking hebben op de gehele groeiperiode of op gedeelten van de groeiperiode. Wordt de balans over gedeelten van de groeiperiode opgesteld, dan is het een dynamische N-balans.

Het N-balanssysteem in Vlaanderen is gebaseerd op de minerale N balansmethode ontwikkeld aan de vakgroep Bodembeheer van UGent (Hofman et al. 1981; Van Cleemput et al. 1981; Hofman 1983). De N-balansmethode bestaat in verschillende varianten en wordt in de praktijk in Vlaanderen gebruikt door bv. de vakgroep Bodembeheer van UGent en Inagro.

Het N-advies volgens de N-balansmethode is steeds gebaseerd op een analyse van de minerale stikstof in de bodem. Daarnaast worden een aantal teelttechnische, bodemkundige en historische gegevens van het perceel opgevraagd.

Aan de aanvoerszijde van de balans worden alle componenten begroot die voor de plant beschikbaar zijn of beschikbaar komen tijdens het groeiseizoen. Aan de afvoerszijde bevinden zich de benodigde stikstofhoeveelheden voor een vooropgestelde opbrengst, het latent minerale N-relikwaaat in de bewortelbare zone (in feite geen echte afvoer) en de mogelijke N-verliezen tijdens het groeiseizoen. De verschillende componenten in de balans worden schematisch voorgesteld in Figuur 70.



Figuur 70: Duiding van de componenten in het N-balanssysteem.

Aanvoerszijde:

- N_{min}-reserve in de bodem, bepaald door bodemstaalname in de laag 0-30 cm, 0-60 cm of 0--90 cm afhankelijk van de bewortelingsdiepte van het te telen gewas;
- N_{min}-levering uit oogstresten;
- N_{min}-levering uit groenbedekker;
- N_{min}-levering uit organische stikstofmeststoffen toegediend tijdens het vorige teeltjaar;
- N_{min}-levering uit organische stikstofmeststoffen toegediend tijdens het huidige teeltjaar;
- N_{min}-levering uit organisch bodemmateriaal;
- Atmosferische N-depositie wordt meestal niet in rekening gebracht, maar kan gemakkelijk in het systeem ingevoerd worden.

Afvoerszijde:

- N-behoefte van het gewas (N-opname);
- latente minerale N_{min}-reserve (of N-buffer), d.i. de hoeveelheid minerale N die over de bewortelingsdiepte aanwezig moet zijn bovenop de maximale N-opname door het gewas om een optimale stikstofopname door het gewas te garanderen;
- N-verliezen tijdens het groeiseizoen.



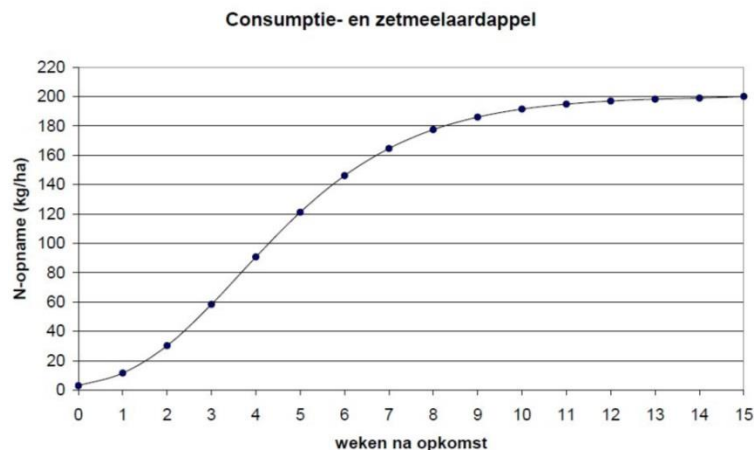
De (minerale) N-bemesting is de resultante van deze balans. Wanneer de N-balans negatief is moet er dus bijkomend bemest worden. Het N-balanssysteem levert een toe te dienen stikstofhoeveelheid voor de volledige teeltperiode als resultaat. Bij het N-advies kan afhankelijk van de teelt ook een voorstel voor gefractioneerde toediening worden geformuleerd. De verhouding tussen de fracties is teeltafhankelijk en kan tevens variëren naargelang de verdeling van de beschikbare stikstof in het bodemprofiel (tussen de lagen 0-30 cm en 30-60 cm diepte). Ook adviesberekening na een tussentijdse staalname is mogelijk.

In Frankrijk wordt de N-balansmethode o.a. onder de naam Azobil® toegepast, of Azofert® als dynamische variant. Maar ook het N-bijmeststelsel in Nederland op basis van een minerale-stikstofbepaling in de bodem tijdens de groeiperiode (in Nederland o.a. beschikbaar voor aardappelen en groentegewassen) maakt gebruik van een N-balans.

- NBS-bodem

NBS-bodem is een Stikstof Bijmest Systeem (NBS), gebaseerd op periodieke meting van de N_{min}-voorraad in de bodem. Het stikstofbijmeststelsel (NBS) is afgeleid uit het KNS- (Kulturbegleitendes N_{min}-Sollwerte) systeem dat in Duitsland is ontwikkeld voor vollegrondsgroenten en een dynamische N-balans gebruikt.

Uitgangspunten van NBS-bodem zijn het globale N-opnameverloop van een gewas gedurende de teeltperiode, een buffervoorraad aan minerale N in de grond en eventueel de mineralisatie in de wortelzone. Er wordt gebruik gemaakt van standaard stikstofopnamecurves en bewortelingsdieptes per gewas (Figuur 71).



Figuur 71: Stikstofopnamecurve van consumptie- en zetmeelaardappel gebruikt binnen NBS-bodem.

Naast de gebruikelijke bepaling van de N_{min}-voorraad voorafgaand aan de teelt wordt ook tijdens de teelt nog één of meerdere keren de minerale N gemeten. De tussentijdse N-meting is de basis voor de bijmestgift. De N-gift op een bepaald moment wordt dan als volgt berekend:

$$N\text{-gift-}t1 = (NOG\text{-}t2 - NOG\text{-}t1) - N_{min}\text{-}t1 + BUF - MIN$$

waarbij:

- t1 = moment van meting
- t2 = geplande moment van de volgende meting



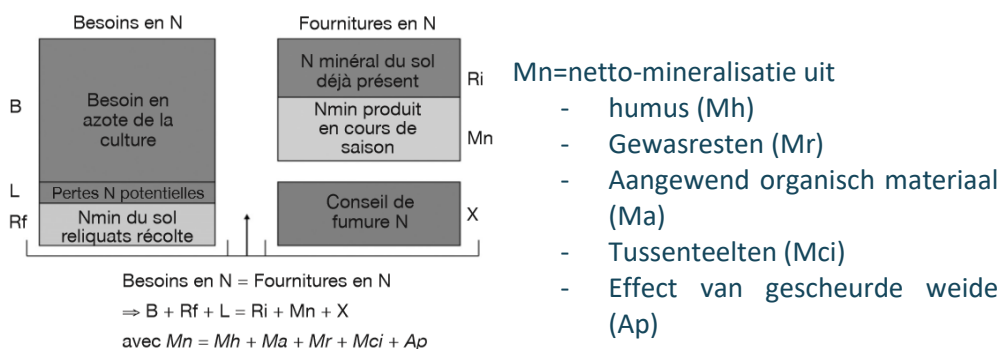
- N-gift-t1 = N-gift op tijdstip t1
- NOG-t1/t2 = opgenomen hoeveelheid N door het gewas op tijdstip t1 en t2
- (NOG- t2 – NOG- t1 is de N-opname tussen t1 en t2)
- Nmin-t1 = hoeveelheid minerale bodem-N op tijdstip t1
- BUF = buffer
- MIN = verwachte mineralisatie tussen tijdstip t1 en t2

Er is een NBS-bodem voor aardappel en voor een aantal groentegewassen. Alleen bij aardappel en vermeerderingsplanten van aardbeien wordt bij de berekening van de N-gift rekening gehouden met de mineralisatie. Bij de meeste groentegewassen wordt, in tegenstelling tot het Vlaamse KNS-systeem, bij de berekening van de N-gift de mineralisatie niet ingerekend. Binnen dit systeem kan men uitgaan van vaste meettijdstippen (standaarttijdstippen) of zelf gekozen tijdstippen. Het zelf kiezen van de tijdstippen biedt meer flexibiliteit en de mogelijkheid om in te spelen op de weersomstandigheden.

Voor aardappel wordt voor de N-opname uitgegaan van een knolopbrengst van 50 en 45 ton/ha voor respectievelijk consumptie- en zetmeelaardappelen. Hogere en lagere opbrengsten vragen een rato aanpassing van de N-opname. De eerste bemonstering gebeurt drie à vier weken na opkomst. In zandgronden wordt tot 30 cm bemonsterd, in kleigronden tot 60 cm. De buffer waarmee rekening gehouden wordt, bedraagt 80 kg N/ha voor kleigronden en 60 kg N/ha voor zandgronden. Wanneer meerdere keren wordt bemonsterd, kan in de loop van het groeiseizoen de buffer worden verlaagd met circa 10 kg N/ha per twee weken. De bijdrage van mineralisatie wordt gerekend aan 1 (± 0,2) kg N/ha/dag tot 1 augustus voor consumptieaardappelen en tot 15 augustus voor fabrieksaardappelen. In functie van de vroegheid van een ras kan een correctie worden doorgevoerd. Voor rassen met een vroegrijpheidscijfer lager dan 6,5 (consumptieaardappelen) of 4,5 (fabrieksaardappelen) is dit een korting van 5 kg N/ha per 0,5 punt vroegheidsverschil.

- Azobil®/Azofert®

Azobil®, ontwikkeld door het INRA en aangepast voor Wallonië in de beginjaren 2000, werd als adviesstelsel gebruikt in Wallonië voor de grotere akkerbouwteelten. De adviezen werden berekend op basis van een vereenvoudigde maar ook statische N-balans (Figuur 72). Bijkomende inzichten en verdere kennis over de mineralisatie van organische stof en aangewende meststoffen alsook meer uitgebreide klimaatdata zijn geïntegreerd en hebben geleid tot een meer dynamisch model AzoFert (Figuur 73).



Figuur 72: Schema vereenvoudigde N-balans op perceelsniveau, basis van Azobil® (Abrás et al., 2013).

$$R_f - R_i = (M_n + X + A_p + F_s + I_r) - (P_f - P_i + I_x + G_x + L_s)$$

$$M_n = M_h + M_r + M_a + M_{ci} + M_p,$$

M_n=netto-mineralisatie uit

- Humus (M_h)
- Gewasresten (M_r)
- Aangewend organisch materiaal (M_a)
- Tussenteelten (M_{ci})
- Effect van gescheurde weide (M_p)

R_f: minerale N in bodem bij einde balans

R_i: minerale N in bodem bij start balans

X: N-advies

A_p: N uit neerslag

F_s: symbiotische fixatie

I_r: N uit irrigatie

P_f: N-opname door gewas bij einde balans

P_i: N-opname door gewas bij start balans

I_x: microbieel leven door bemesting

G_x: N-verliezen in gasvorm bij bemesting

L_s: uitspoeling minerale N

Figuur 73: Vergelijking waarop AzoFert® gebaseerd is (Abrás et al., 2013)

Gewasgerelateerde sturing

In geval van gewasgerelateerde methoden, kan verwezen worden naar volgende methoden:

- Stikstofvensters

Het systeem van stikstofvensters is in Duitsland ontwikkeld voor graangewassen in de jaren zestig. Een stikstofvenster wordt aangelegd door op een deel van het perceel een reeks met verlaagde maar gekende N-dosissen toe te dienen. De gewasstand en -ontwikkeling in deze vensters geeft aan of bijbemesting noodzakelijk is. Vanaf dat er een verschil is, is er in het venster een tekort van x kg N/ha. Het gros van het perceel heeft op dat moment nog geen tekort, maar zal worden bijbemest in functie van de trap die zich onderscheidde. De omgekeerde N-vensters zijn een andere of aangepaste methode. Op het perceel wordt slechts een fractie (50 à 70 %) van de basisbemesting toegediend en in het stikstofvenster worden oplopende N-trappen aangelegd tot 100 % van de basisgift. Wanneer het venster zich visueel onderscheidt van de rest van het perceel wordt bijbemest. Dit kan met een beperkte gift die enkele keren herhaald wordt tot het verschil in gewas aanvaardbaar is. Met de omgekeerde methode wordt voorkomen dat de basisbemesting te hoog is.

Dit systeem biedt als voordeel dat het specifiek is per perceel en voor de betrokken teelt. Het is echter een omslachtige methode die enkel op uniforme percelen tot zijn recht kan komen. Op heterogene percelen zouden al meerdere vensters moeten aangelegd worden om te kunnen rekening houden met de variabiliteit op het perceel.

Naast deze visuele waarneming kan de stikstofstatus of de voedingstoestand van het gewas ook bepaald worden met behulp van sametingen of chlorofylmetingen. De chlorofylmetingen kunnen op een directe manier in een labo gebeuren maar kunnen ook op het veld met behulp van indirecte of niet-invasieve methodes gebeuren. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van reflectie, transmissie of fluorescentie. Immers licht dat in contact komt met een gewas kan worden geabsorbeerd, gereflecteerd of getransmitteerd door het gewas (Figuur 76) en daarin speelt chlorofyl een rol. De meting van chlorofyl is een indirecte schatting van de nutriëntstatus van de plant, want een groot deel van de stikstof die zich in het blad bevindt, zit vervat in de chlorofylpigmenten.

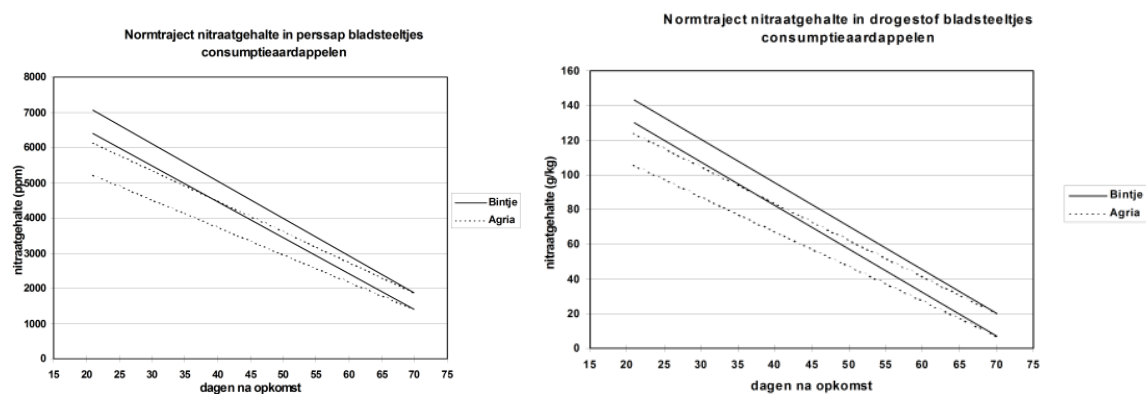
- NBS-gewas

NBS-gewas is een Stikstof Bijmest Systeem (NBS), gebaseerd op periodieke stikstofanalyses van het blad of de bladsteeltjes. Deze methode wordt in aardappelen ook de bladsteeltjesmethode genoemd. In aardappelen is aangetoond dat de nitraathoeveelheid in de bladsteeltjes de N-toestand van de aardappelen kan beschrijven. Als basis wordt ongeveer 2/3 van het advies vóór het poten aan de aardappelen gegeven. Ongeveer vier weken na opkomst moet begonnen worden met staalname en gedurende vier à vijf weken worden wekelijks stalen genomen. Verspreid over het perceel worden tenminste 40 samengestelde bladeren geplukt. Van elke stengel wordt het eerste volgroeide samengestelde blad van boven genomen. Het nitraatgehalte kan bepaald worden in het sap van de



bladsteeltjes of op droge stof. Het nitraatgehalte in het sap van de bladsteeltjes wordt gemeten met teststrips of de Nitracheck reflectometer. De resultaten worden vergeleken met de normlijn van het betreffende aardappelras. Er zijn zowel normtrajecten gegeven voor het nitraatgehalte in de droge stof als in het perssap. Bepaling op basis van droge stof heeft de voorkeur boven een bepaling in het perssap omdat deze betrouwbaarder is, maar ze is ook duurder. Wanneer het nitraatgehalte onder de onderkant van het normtraject (Figuur 74) komt, moet bijbemest worden. Het bladsteeltjesonderzoek geeft echter niet aan hoeveel moet bijbemest worden om het eventuele tekort te corrigeren.

Zoals ook aangehaald door Bries et al. (1995) betekent een te laag gehalte niet altijd een tekort aan stikstof. Onder bv. droge omstandigheden is de plant minder goed in staat stikstof op te nemen. Het nitraatgehalte in de bladsteeltjes kan met andere woorden wel een indicatie geven van de actuele N-opname maar geeft geen uitsluitsel over de N-beschikbaarheid in de bodem. Andere aandachtspunten die in dit Vlaamse onderzoek aan bod kwamen, betroffen het normtraject, dat te laag lag voor Vlaamse omstandigheden en rasspecifiek is. Verder bleek het tijdstip van bemonstering gedurende de dag ook een invloed te kunnen hebben op de gemeten nitraatgehalten.

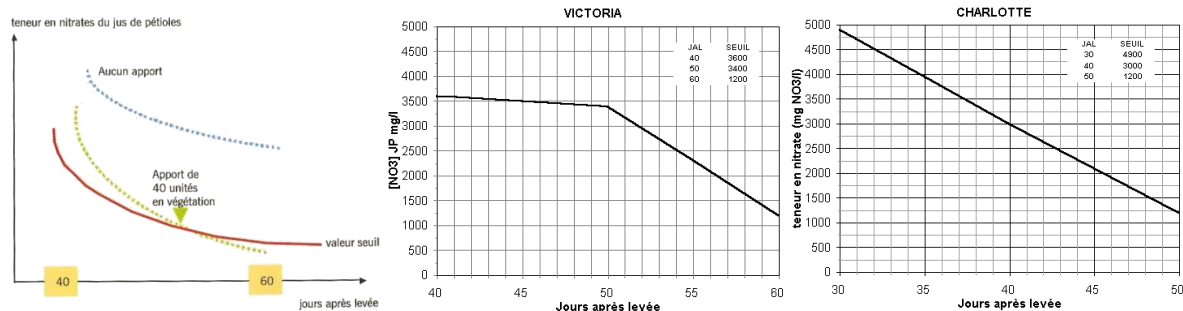


Figuur 74: Normtraject voor het nitraatgehalte in het perssap (links) en in de droge stof (rechts) van bladsteeltjes voor consumptieaardappelen.

De bladsteeltjesmethode vinden we in Frankrijk terug onder de naam Jubil[®]. De Jubil[®]-methode is gebaseerd op een N-balans voor het basisadvies, aangevuld met de sapmetingen om de voedingstoestand van het gewas in te schatten. De methode is in 1993 ontwikkeld en gepatenteerd door INRA en ITCF, het huidige Arvalis-Institut du végétal.

In *aardappelen* is de methode operationeel op geïrrigeerde percelen voor 13 rassen, zowel consumptie- als zetmeelrassen: Agata, Amandine, Belle de Fontenay, Bintje, Charlotte, Chérie, Eden, Felsina, Manon, Monalisa, Russet-Burbank, Saturna en Victoria. De methode kan als volgt worden samengevat. Als basisbemesting wordt het advies, op basis van een eenvoudige N-balans, met 40 kg N/ha verminderd. In de periode van 40-60 dagen na opkomst (of afhankelijk van het ras 30-50 dagen na opkomst) wordt voorzien om drie keer te meten. Er wordt duidelijk gespecificeerd dat voor 11 uur 's morgens moet gemeten worden en dat 60 volledig ontwikkelde bladeren moeten verzameld worden. De meetresultaten moeten vergeleken worden met de referentiecures. Bij hogere meetwaarden moet een week later opnieuw gemeten worden, bij waarden onder de referentiewaarde moet 40 kg N/ha worden toegediend.





Figuur 75: Schematische weergave voor beslissing tot bijbemesten (links), referentiewaarden voor Victoria (midden) en referentiewaarden Charlotte (rechts) in kader van de Jubil®-methode.

In *maïs*, zowel korrelmaïs als voedermaïs, wordt Jubil® meer als een controle-instrument achteraf beschouwd. Het laat echter ook toe de N-bemesting nog aan te passen door fertigatie (Tabel 36). Jubil® kan voor alle rassen gebruikt worden.

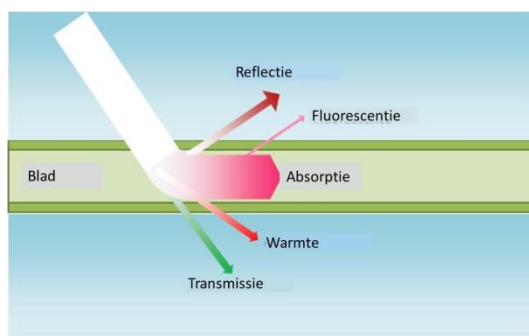
Tabel 36: Jubil® ter bijsturing of controle van de N-bemesting in maïs

Bijsturing	Controle
Een late bemesting is mogelijk op het perceel	Geen late bemesting mogelijk, diagnostisch
Advies berekend op basis van N-balans	
Advies – 50 kg N/ha toedienen in 2 fracties, bij zaai en 6-8-bladstadium	Advies toedienen in 2 fracties, bij zaai en 6-8-bladstadium
1 meting tussen 15-blad en bloei	Meting en controle opgenomen stikstof
Beslissen tot een eventuele 3 ^e fractie	

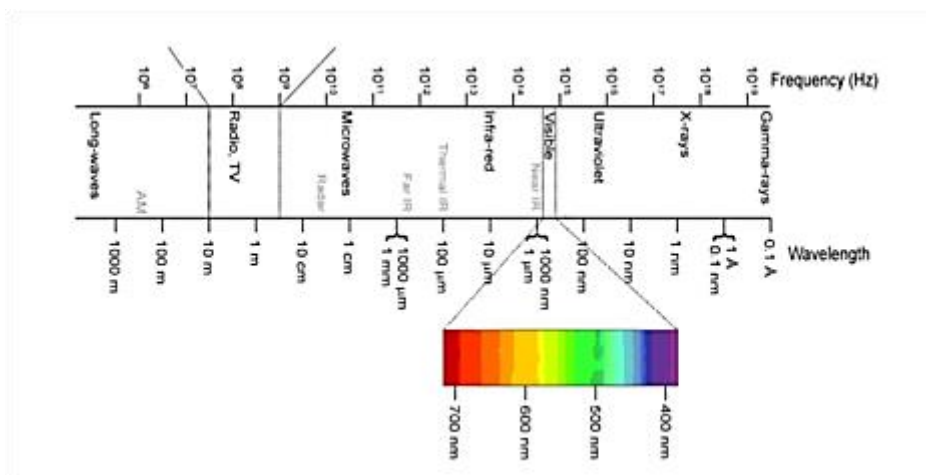
Tabel 37: Beslissingregels voor bijbemesting en beoordeling van de bemesting in de Jubil-methode als instrument voor bijsturing of diagnostiek.

Vroegheid van het ras	Zeervroeg Vroeg Halfvroeg			Halflaat Laat Zeervroeg		
	Meetresultaat (mg NO ₃ /l)	<3500	>3500	>6000	<2500	>2500
Bijsturing	50 kg N/ha binnen de week	0 kg N/ha	0 kg N/ha	50 kg N/ha binnen de week	0 kg N/ha	0 kg N/ha
Diagnose	zwak	normaal	zeer hoog	zwak	normaal	zeer hoog

Andere gewasgerelateerde systemen zijn vaak gebaseerd op de interactie van licht en de plant (Figuur 76).



Figuur 76: Schematische weergave van de verdeling van invallend licht op een blad



Figuur 77: Het elektromagnetisch spectrum, met meer duiding van het zichtbare licht.

- Chlorofylmeting op basis van transmissie

Bij deze benadering wordt de lichttransmissie door het blad bepaald. Deze transmissie is afhankelijk van het chlorofylgehalte, wat op zijn beurt in relatie staat tot het stikstofgehalte. Voorbeelden van dergelijke chlorofylmeters zijn de Hydro-N-tester en de SPAD-502.

Vos en Bom (1993) testten de SPAD chlorofylmeter (Minolta, Osaka, Japan) in aardappelen. Zij toonden een goede correlatie tussen de resultaten van de chlorofylmeter en de analyseresultaten van chlorofyl en N-concentratie in het blad ($R^2=0.95$). Ros en Bussink (2012) vermelden dat de hoogte van de bemestingsgift kan worden vastgesteld door gebruik te maken van rassen-specifieke tabellen of referentiestrips binnen het perceel. Voor minstens vier rassen wintertarwe was op dat moment bekend hoe de uitslag vertaald moet worden naar het gewenste niveau van bemesting onder Nederlandse omstandigheden. Voor aardappelen verwezen ze naar Lokhorst et al. (2003). Deze laatsten meldden dat het lastig was om een betrouwbare normlijn te construeren voor consumptieaardappelen: de uitslag wordt sterk beïnvloed door het ras en de experimentele omstandigheden. Een alternatieve benadering om een N-advies te berekenen is het gebruik van algoritmes die een relatie leggen tussen de gemeten reflectie en de meeropbrengst. Voor maïs werden al enkele relaties gepubliceerd, weliswaar niet identiek. De technische specificaties vermeld door Ros en Bussink (2012) worden getoond in Tabel 38.



Tabel 38: Technische specificaties van de SPAD-meter (Ros en Bussink, 2012).

Technische specificaties SPAD meter	
Specificaties	Handheld 502 Plus
Sensor - gewas afstand	< 5 cm
Scangebied - zichthoek	2 – 3 mm
Lichtbron	LED
Nr. banden	2
Breedte	VIS, NIR
Selectiebanden	650, 940

De Hydro-N tester van Yara werd in Wallonië beproefd (Goffart et al., 2011) bij het bepalen van de nutriëntenstatus in Bintje (Figuur 78). In de Waalse proeven werd 70 % van het advies als basisbemesting bij het planten voorzien. De N-status werd bepaald 20-50 dagen na opkomst. Met de Hydro-N tester werd in 40 van de 42 gevallen de juiste beslissing genomen omtrent al dan niet bijbemesten. De bijbemesting betrof de resterende 30 % van het advies die nog niet werd gegeven bij het planten. Eén meetreeks van het chlorofylgehalte bleek echter onvoldoende om de nood tot bijbemesten te duiden. Een referentieplot met nulbemesting bleek noodzakelijk. In Vlaanderen daarentegen stelden De Blauwer et al. (2014b) op basis van de eerste twee demonstratieprojecten dat het gebruik van de chlorofylmeter minder geschikt is op percelen waar organische bemesting werd toegepast, een vaak toegepaste praktijk in Vlaanderen. Ze duiden als één van de nadelen van deze techniek dat het net iets te lang duurt vooraleer een stikstoftekort in het loof wordt aangegeven. Dit resulteerde in een late fractionering met minder goede resultaten.

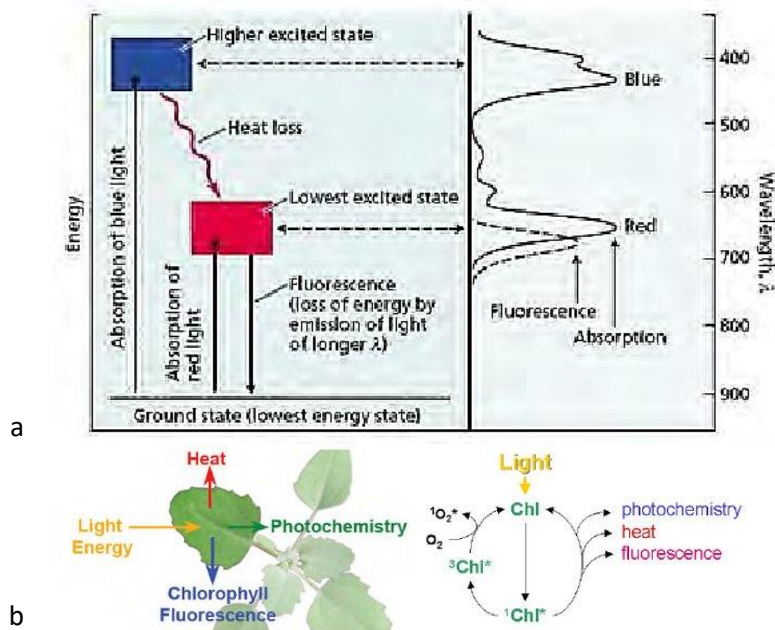


Figuur 78: Duiding op welk blad de meting met de Hydro-N-tester moet uitgevoerd worden. (Goffart et al., 2005)

- Chlorofylmeting op basis van fluorescentie en absorptie

Fluorescentie is het verschijnsel waarbij sommige bestanddelen bepaalde golflengten van licht kunnen absorberen en bijna onmiddellijk een langere golflengte van licht uitzenden. Chlorofyl a absorbeert van nature blauw licht, golflengte 430 nm, en straalt (lees fluoresceert) rood licht uit (Figuur 79).





Figuur 79: Basisprincipe van de verschillende energiestatus en het verschil in spectrum van het lichtabsorberende pigment chlorofyl in groene planten (a), basisprincipes van chlorofylfluorescentie (b). (Misra et al., 2012)

De meest interessante chlorofylbepaling op basis van fluorescentie is gebaseerd op de fluorescentie geïnduceerd door elektromagnetische straling uit het ultraviolette en zichtbare spectrum gecombineerd met de absorptie van het UV-licht door de polyfenolen aanwezig in de epidermis van het blad (Goffart et al., 2011). Goffart et al. (2011, 2013) verwezen naar Cartelat et al. (2005) voor een hogere nauwkeurigheid van deze meetmethode ten opzichte van de chlorofylmeters. Een gewijzigde nutriëntenstatus zorgt sneller voor een verandering in concentratie polyfenolen, meer bepaald flavonoïden, en bijgevolg een snellere wijziging in fluorescentie dan een verandering in chlorofylgehalte of LAI.

Toestellen die gebruik maken van de fluorescentiemethode zijn de Dualex en de Multiplex. Uit proeven met de Dualex in Wallonië bevestigde Abdallah aan Goffart et al. (2013) de hogere gevoeligheid door de combinatie van chlorofyl- en flavonolenmeting. De gecombineerde meting maakt een nauwkeuriger en vroeger onderscheid in N-status van aardappelen mogelijk.

Longchamps en Khosla (2014) die de Multiplex3 evalueerden in maïs tussen 4- en 8-bladstadium bij verschillende stikstoftrappen, stelden dat op basis van fluorescentie in een voldoende vroeg stadium onderscheid in N-status kon gemaakt worden in maïs. Tremblay et al. (2012) verwijzen ook naar Apostel et al. (2003) die aantoonde dat met behulp van fluorescentie onderscheid kan gemaakt worden tussen al dan niet N-deficiënte maïs.

Tremblay et al. (2012) stelden dat het gebruik van fluorescentie in de landbouw beperkt is omdat deze metingen niet vanuit de lucht of ruimte kunnen gebeuren. Tegelijk duiden ze op de voordelen van op fluorescentie gebaseerde meetmethoden, zijnde de hoge gevoeligheid voor de bepaling van de N-status, de onafhankelijkheid van de metingen van bodem, bladoppervlakte en de hoeveelheid biomassa. Aspecten die eerder nadelen zijn van de meetmethodes op basis van reflectie. Ook Ben Abdallah et al. (2016) wezen op de beperkingen in de landbouw, de metingen gebeuren op 2 en 5 cm²



in geval van de Dualex en Multiplex, maar zien toch mogelijkheden. Kritische waarden voor chlorophyl of flavonoiden zijn nog niet of niet altijd gekend. Een referentie, hetzij zonder bemesting of overbemesting, kan een voorlopige oplossing bieden om de nodige bijbemesting af te toetsen.

- Metingen op basis van reflectie

Met deze benadering wordt gemeten hoeveel van het invallende licht gereflecteerd wordt (Figuur 76). Deze benadering wordt eerder gebruikt op gewas- of perceelsniveau dan op bladniveau zoals de eerdere technieken. Deze metingen kunnen gebeuren van op de grond, vanuit de lucht of de ruimte. Onderscheid wordt gemaakt in near sensing en remote sensing systemen. Ongeacht de positie van het meettoestel is het karakteriseren van het gewas en meer bepaald de Leaf Area Index (LAI) van belang voor deze meetmethode. De LAI blijkt een belangrijke parameter voor het evalueren van de N-status van het gewas, vanwege de nauwe relatie tussen het N-gehalte van de plant, het chlorofylgehalte en de LAI.

Gewasreflectiesensoren meten delen van het zichtbare spectrum (in ieder geval altijd rood) en delen van het nabij infrarood spectrum. De hoeveelheid gereflecteerd licht is afhankelijk van de chemische (bv. chlorofyl) en fysische eigenschappen (bv. hoogte) van het gewas. Om de reflectie van het gewas op een gestandaardiseerde manier te kunnen vergelijken, worden vegetatie-indices berekend (Tabel 39). Per index worden volgens een bepaalde formule de reflecties in specifieke banden met elkaar gecombineerd. De meest bruikbare indices gebruiken informatie uit het groene, rode en nabij-infrarode deel van het spectrum.

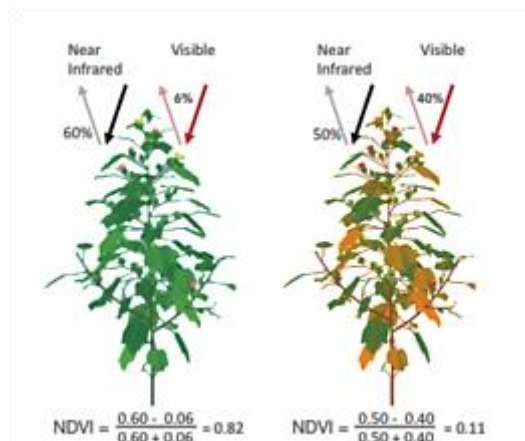
Tabel 39: Overzicht van spectrale vegetatie-indices relevant voor schatting van biomassa en stikstof in gewas (Kooistra, 2011)

Index	Naam	Formule	Ontwikkeld door
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR}-R_{red})/(R_{NIR}+R_{red})$	Rouse et al. (1974)
RVI	Ratio Vegetation Index	R_{NIR}/R_{red}	Jordan (1969)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$R_{NIR}-C \cdot R_{red}$ C = 2 (soil factor)	Clevers (1989)
REP-LI	Red edge position: linear interpolation method	$700+40(R_{re}-R_{700})/(R_{740}-R_{700})$ $R_{re}: (R_{670}+R_{780})/2$	Guyot et al. (1988)
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$(R_{754}-R_{708})/(R_{708}-R_{680})$	Dash and Curran (2008)
TCARI	Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	$3((R_{700}-R_{670})-0.2(R_{700}-R_{550}))(R_{700}/R_{670})$	Haboudane et al. (2002)
TCARI/OSAVI	Combined Index: TCARI with Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	TCARI/OSAVI OSAVI: $1.16 \times (R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16)$	Haboudane et al. (2002)
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption index	$[(R_{700}-R_{670})-0.2 \times (R_{700}-R_{550})] \times (R_{700}/R_{670})$	Daughtry et al. (2000)
DCNI	Double-peak canopy nitrogen index	$(R_{720}-R_{700})/(R_{700}-R_{670})/(R_{720}-R_{670}+0.03)$	Chen et al. (2010)
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(R_{780}-R_{720})/(R_{780}+R_{720})$	Eitel et al. (2010)

De NDVI, de Normalized Difference Vegetation Index, is de meest bekende index (Figuur 80). De NDVI index varieert van 0 tot 1 en wordt berekend op basis van rood licht (VIS-660 nm) en infrarood licht (NIR-770 nm) die gereflecteerd worden door het bladoppervlak. Door de hogere reflectie in het NIR, zeker in verhouding tot het VIS is de NDVI duidelijk hoger bij gezonde planten.



$$NDVI = \frac{Refl_{\cdot NIR} - Refl_{\cdot VIS}}{Refl_{\cdot NIR} + Refl_{\cdot VIS}}$$



Figuur 80: Formule en duiding van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (NIR= Near Infrared; VIS= Visible) (naar groenkennisnet.nl)

Dergelijke ratio-indexen zijn gevoelig voor variatie in bodemreflectie bij lage LAI-waarden en voor verzadiging bij LAI waarden hoger dan 2,5-3,0.

In functie van de meetpositie kunnen twee vormen van gewassensing onderscheiden worden:

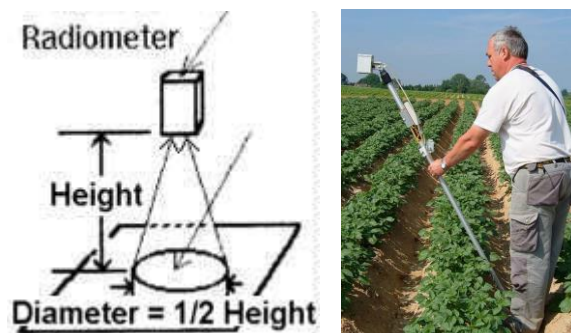
- De Near sensing systemen of 'close sensing systemen': systemen die vlak boven het gewas meten, bijvoorbeeld vanaf de tractor.
- De Remote sensing systemen: systemen die van een afstand boven het gewas meten, bijvoorbeeld met satellieten of UAS's (Unmanned Aerial Systems).

Near sensing of close sensing

Gekende toestellen op basis van reflectiemetingen vanop de grond zijn:

- Cropscan

De Cropscan, afkomstig van Amerika, is een 'handheld' passieve meter (Figuur 81). Passief omdat hij gebruik maakt van het invallende zonlicht. Omdat zowel de hoeveelheid invallend licht als gereflecteerd licht wordt gemeten, zijn de resultaten min of meer onafhankelijk van de hoeveelheid zon.



Figuur 81: Opzet van de cropscan (www.cropscan.com) en foto van het gebruik van de Cropscan in aardappelen (foto's van CRA-W Gembloux, Belgium uit Goffart et al., 2008).

Goffart et al. (2008) halen het gebruik van de Cropscan in aardappelen aan. In functie van de meethoogte kan het meetoppervlak 1 tot 2 m² bedragen. Het is aanbevolen om 20 metingen uit te voeren per te evalueren oppervlak. Per golfenlengte wordt de hoeveelheid invallend en weerkaatst licht opgeslagen, waaruit verschillende vegetatie-indices kunnen berekend worden. Ben Abdallah et al.



(2018) vergeleken de CropScan met andere instrumenten en meetmethodes voor de bepaling van de stikstofstatus van aardappelen en stelde dat de indices bekomen met behulp van de CropScan niet altijd significant correleerden met de N-inhoud en dat de correlaties verschilden in functie van het gewasstadium. De nauwkeurigheid van de CropScanmetingen was minder overtuigend dan deze van andere gemeten indices.

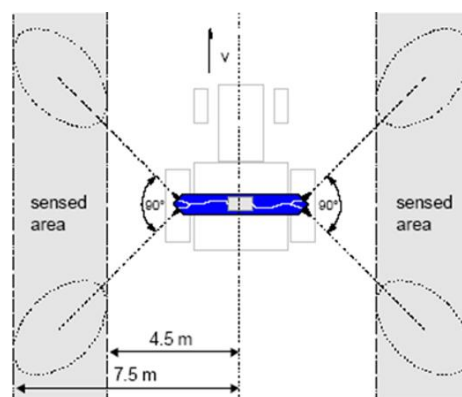
De CropScan-sensor is in Nederland gebruikt in het onderzoek naar relaties tussen gewasreflecties en stikstofstatus vanaf 1990. Aan de hand van de reflectiekenarakteristiek wordt de mate van grondbedekking berekend en de N-inhoud van het gewas. Deze stikstofinhoud wordt vergeleken met de norm (de gewenste N-inhoud). Wanneer de gemeten waarde onder de norm ligt, wordt het verschil bijbemest. De methode is ontwikkeld door PRI te Wageningen. De omrekening van de reflectie naar de actuele stikstofinhoud van het gewas en de gehanteerde normen voor de stikstofinhoud van het gewas zijn niet openbaar volgens Ros en Bussink (2012). Er wordt gesteld dat dit instrument te kwetsbaar is om te gebruiken op landbouwwerktuigen. Tabel 40 toont de technische specificaties van de CropScan vermeld door Ros en Bussink (2012).

Tabel 40: Technische specificaties van de CropScan (Ros en Bussink, 2012)

Technische specificaties CropScan	
Specificaties	CropScan
Sensor - gewas afstand	1.6-3.0 m
Scangebied - zichthoek	-
Lichtbron	geen
Nr. banden	8-16
Breedte	VIS, NIR
Selectiebanden	460, 490, 510, 560, 610, 660, 670, 700, 710, 720, 730, 740, 760, 780, 810, 870, 900, 970, 1080
Resolutie	10 nm

- N-sensor van Yara

De N-sensor van Yara is ontwikkeld in Europa, initieel voor granen. De sensor meet binnen een golflengtegebied van 300 tot 1100 nm. De sensor wordt op het dak van de trekker gemonteerd. Er zijn twee types op de markt: de Yara N-sensor en de Yara N-sensor ALS. De N-sensor heeft geen eigen lichtbron, maar meet via een extra spectrometer het spectrum van invallend zonlicht (Tabel 41), waarna deze gegevens gebruikt worden om het gewasspectrum te corrigeren. Het model ALS heeft een eigen lichtbron, waardoor de sensor ook onder suboptimale lichtcondities gebruikt kan worden. Twee spectrometers worden gebruikt voor de analyse van het gewas en meten de reflectie op twee plekken aan weerszijde van de trekker met een oppervlakte van circa 50 m² (Figuur 82).



Figuur 82: Geometrie van het opnamegebied van de Yara-sensor boven het gewas. (Kooistra, 2011).



De Yara N-sensor brengt plaats specifiek de hoeveelheid bladgroen in kaart, wat kan gebruikt worden om op een later moment taakkaarten op te stellen of onmiddellijk de dosering van kunstmest aan te passen aan de gemeten reflectie.

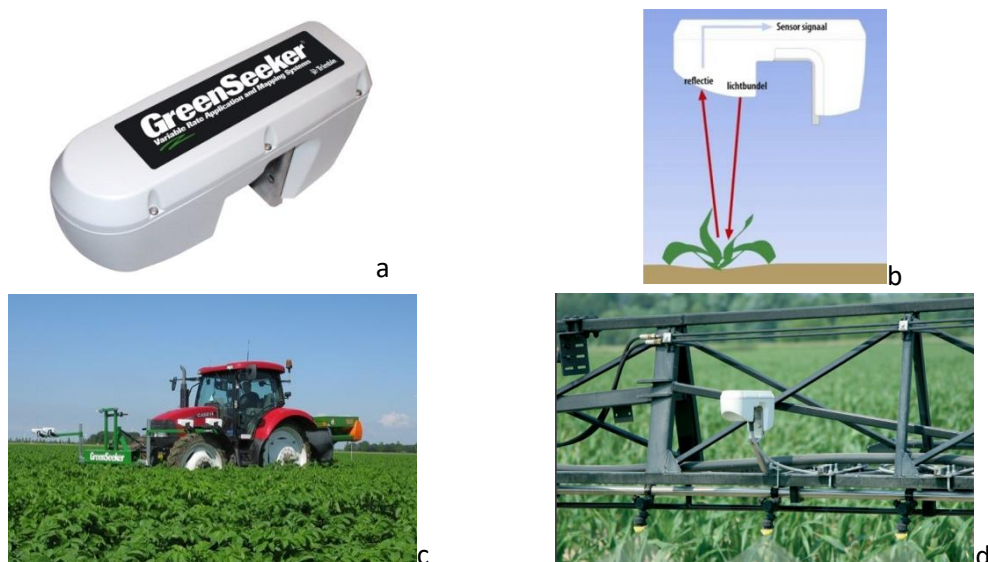
Tabel 41: Technische specificaties van de Yara N-sensoren (Ros en Bussink, 2012).

Technische specificaties YARA sensoren	
Specificaties	YARA N-sensor (ALS)
Sensor - gewas afstand	2 – 4 m
Scangebied - zichthoek	45 – 55 graden
Lichtbron	Geen (N-sensor) of Actief voor (N-sensor ALS)
Nr. banden	20 of >50 (afhankelijk van het gebruikte type en jaar van aanschaf)
Breedte	VIS – NIR
Selectiebanden	550, 670, 700, 740, 780
Resolutie	> 3 nm

De Yara N-sensor maakt standaard gebruik van de NDVI of NDRE (een Normalized Difference Red Edge Index) vegetatie index om een N-adviesgift te berekenen. Ros en Bussink (2012) stellen in hun literatuuroverzicht dat voor tarwe, maïs, gerst, aardappel en koolzaad algoritmes ontwikkeld zijn.

- Greenseeker

De Greenseeker is een actieve reflectiemeter, in de meetkop van een sensor zitten geïntegreerde LED's die nagenoeg alleen licht uitzenden in het rode en infrarode lichtspectrum. De sensor is ontwikkeld in samenwerking met Oklahoma State University en wordt gemaakt/geleverd door N-Tech. De GreenSeeker is een gewasreflectiemeter waarmee 'biomassakaarten' kunnen worden gemaakt, maar die eveneens kan gebruikt worden om de stikstofbehoefte van gewassen in te schatten. Er bestaan verschillende varianten van de Greenseeker, handheld of op een tractor of spuittoestel gemonteerd en met verschillend aantal sensoren (Figuur 83).



Figuur 83: Greenseeker-sensor (a) meetmethode (b) en plaatsingsmogelijkheden van de sensor (c en d).

Ros en Bussink (2012) vatten de technische specificaties van 2 types samen, getoond in Tabel 42. Gebruik makend van de reflectie in Rood en NIR wordt de NDVI-index afgeleid. Het is ook mogelijk om

IRVI (Inverse Ratio Vegetation Index; R_R/R_{NIR}), RVI (Ratio Vegetation Index; R_{NIR}/R_R) en twee vormen van NDVI als gewasindexen te genereren.

Het N-advies kan gebaseerd worden op N-trappen aanwezig binnen het perceel of op standaard algoritmes die afgeleid zijn van uitgebreide proeven in de USA (m.n. voor granen en maïs). De voorgeprogrammeerde rekenregels zijn voor zomer-/wintertarwe, aardappelen en maïs reeds beschikbaar.

Tabel 42: Technische specificaties van de Greenseeker RT200 en RT220 (Ros en Bussink, 2012).

Technische specificaties Greenseeker	
Specificaties	200/220
Sensor – gewas afstand	0.7 – 1.6 m
Scangebied - zichthoek	24 x 0.6°
Lichtbron	Actief
Nr. banden	2
Breedte	VIS - NIR
Selectiebanden	774, 656
Resolutie	~ 25 nm

- Crop Circle

De CropCircle is ontwikkeld door Holland Scientific en maakt gebruik van een actieve ledlichtbron, een infrarood reflectiesensor en een sensor die daglicht kan scannen.

Uit de verkregen reflectiedata wordt door een computerprogramma vervolgens de vegetatie-index NDVI of NDRE (Normalized Difference Red Edge) berekend. De NDRE gebruikt naast de rode en NIR-band een band in het red edge gebied (720 nm) en is hierdoor zowel gerelateerd aan de hoeveelheid biomassa alsook de hoeveelheid chlorofyl in het gewas.



Figuur 84: De CropCircle ACS-430.

Ros en Bussink (2012) vermelden twee types die op een tractor kunnen gemonteerd worden: de Crop Circle ACS-430 (Figuur 84) en de Crop Circle ACS-470 waarvan de belangrijkste specificaties zijn weergegeven in Tabel 43.

Tabel 43: Technische specificaties van de CropCircle ACS-430 en ACS-470 (Ros en Bussink, 2012).

Technische specificaties CropCircle	
Specificaties	CropCircle
Sensor - gewas afstand	Van 25 tot > 183 cm
Scangebied - zichthoek	~ 30 bij ~14 graden
Lichtbron	Actief - LED
Nr. banden	3
Breedte	VIS - NIR
VIS selectiebanden	670 – 730 – 775 (ACS-430) 450, 550, 650, 670, 730 en 760 nm (drie door gebruiker gedefinieerd; ACS-470)
Resolutie	10 – 20 nm

Ros en Bussink (2012) besloten op basis van circa 10 studies waarin een vergelijking werd gemaakt tussen de commercieel beschikbare sensoren, dat in de meeste situaties de verschillende sensoren in staat zijn om het N-gehalte of de N-opname te bepalen. De relaties tussen de gewasindex en de planteigenschappen zijn echter gewas- en sensorspecifiek, wat aangeeft dat ontwikkelde algoritmes niet uitwisselbaar zijn tussen de verschillende sensoren. De algoritmes die ontwikkeld zijn om een N-advies te geven zijn sensorspecifiek.

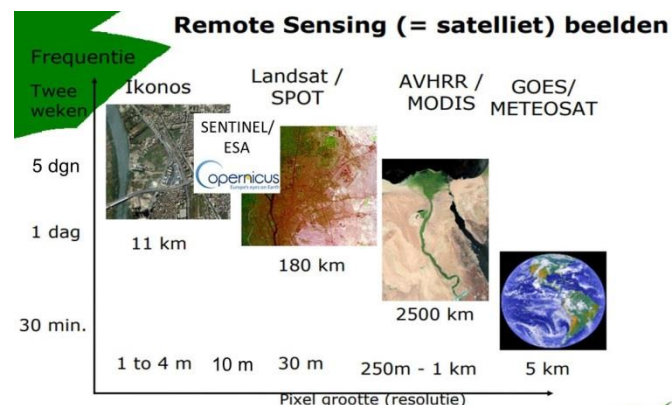
Remote sensing

Dezelfde principes kunnen gehanteerd of gebruikt worden vanop grotere afstand, vanuit de lucht of de ruimte. De waarnemingen gebeuren dan niet op gewasniveau maar beelden worden gemaakt op perceelsniveau of in geval van satellietbeelden mogelijk op regionaal niveau. Een beeld is opgebouwd uit pixels die allemaal dezelfde afmeting hebben. Beide systemen van remote sensing, vanuit de lucht of de ruimte, hebben hun voordelen en kunnen mekaar aanvullen.

Met UAS, onbemande vliegtuigen, en drones kan gevlogen worden wanneer de informatie nodig is. Deze relatief kleine vliegtuigen zijn ook in staat onder de bewolking te vliegen en beelden te verzamelen wanneer satellieten door atmosferische condities geen data kunnen verzamelen. Met UAS kan er theoretisch binnen enkele uren informatie beschikbaar zijn op de gewenste resolutie. In geval van satellietbeelden zijn er minder vrijheidsgraden.

Belangrijk hierbij zijn dan ook:

- De spectrale resolutie (het aantal en de breedtes van de golflengtebanden);
- De ruimtelijke resolutie (minimale onderscheidbare oppervlakte);
- De temporele resolutie (frequentie van beelden) (Figuur 85).



Figuur 85: Duiding van ruimtelijke en temporele resolutie van diverse satellietbeelden



Er zijn verschillende aanbieders van satellietbeelden. De aanbieders van deze satellietgegevens bieden kaarten aan waarop de variatie binnen een perceel te zien is. De remote sensingmethodes laten toe om de ruimtelijke variatie sneller te achterhalen en bieden de mogelijkheid om in te spelen op de ruimtelijke variatie en te komen tot precisie-management en variabele bemesting. Aan de beelden en kaarten moeten dan nog N-adviezen gekoppeld worden. Dit kan gebeuren door voorlichtingsinstanties. Informatie over de gebruikte algoritmes is doorgaans niet bekend.

Goffart et al. (2013) die de mogelijkheden naar een verhoogde N-efficiëntie door de opvolging van de N-status van het gewas onderzochten, onderzochten enkele van de eerder vermelde methodes in aardappelen en vatten hun bevindingen als volgt samen (Tabel 44).

Tabel 44: Samenvatting van de mogelijkheden van de verscheidene methodes om de N-status van het gewas te beoordelen, methodes beproefd door het CRA-W in aardappelen (naar Goffart et al., 2011 en 2013)

	Crop Nitrogen Status assessment method*					
	PSNC	Chlorofyl content SPAD/HNT	Fluorescence (Dualex/Multiplex)	Reflectance GPN	Satellite image Cropsan	Satellite image SPOT 5
Accuracy/precision	--	+(+)	++	++	++	++
Sensitivity	+++	+(+)	+++	++	+++	++
		But restricted to comparison of nonfertilized vs. fertilized plots	Earliness of discrimination between different N-dose	But restricted to comparison of nonfertilized vs. fertilized plots	Calculation of large range of vegetation indices available allowing increasing sensitivity	Calculation of large range of vegetation indices available allowing increasing sensitivity
Specificity	---	---	under investigation	---	---	---
Feasibility	-	++		+++	++	

*PSNC = petiole sap nitrate concentration, SPAD/HNT = SPAD 502 (Minolta, Osaka, Japan)/Hydro N-tester (Yara, Oslo, Norway) hand-held chlorophyll meters, Dualex and Multiplex commercial hand-held radiometer (Force-A, Paris, France),
GPN = Grande Paroisse Azote (AZF-Europe Sol, Toulouse, France) commercial hand-held radiometer.
Cropsan = Cropsan (Cropsan, Rochester, MN) hand-held radiometer;
Satellite Pour l'Observation de la Terre-5 [SPOT-5 (10m) multispectral image]

+, ++, +++ favorable but low, medium, and high, respectively; -, --, --- unfavourable but low, medium, and high, respectively.

Ros en Bussink (2012) stelden dat vrijwel alle onderzochte studies een sterk tot zeer sterk verband vonden tussen het geanalyseerde reflectiespectrum en het chlorofylgehalte, het N-gehalte en de N-opname. Echter alle sensoren negeren de invloed van andere stressfactoren, vochtgehalte, andere nutriëntentekorten (vooral zwavel), en ziekten en plagen. De bruikbaarheid van de verschillende sensoren is vergelijkbaar in die zin dat ze allemaal in staat zijn om een inschatting te geven van het N-gehalte en de N-opname van een gewas. Ze maken allemaal gebruik van statistische relaties waardoor de bekomen gewasindexen en afgeleide N-adviezen niet algemeen geldend zijn. Kalibratie op het perceel is daarom aan te bevelen; vrijwel alle commerciële near sensing sensoren geven daarvoor de mogelijkheid.

In het Vlaio-EraNet Potentialproject "Variable rate irrigation and nitrogen fertilization in Potato; engage the spatial variation" werd bevestigd dat vegetatie-indices zoals NDVI verschillen in gewasgroei goed kunnen beschrijven. Een diagnose voor de variatie of het blootleggen van de onderliggende redenen bleek echter niet altijd mogelijk. In dit project bleek het onmogelijk om enkel op basis van vegetatie-indices onderscheid te maken tussen watertekort en stikstoftekort. Er werd gesteld dat "in situ" metingen zoals bodemstalen of sensoren in de bodem of op het gewas nog noodzakelijk zijn om de resultaten van spectrale vegetatie-indices correct te interpreteren. Weliswaar niet in de akkerbouw maar in de sierteelt, kwam ook Bracke tot het besluit dat deze sensingtechnieken verschillen kunnen blootleggen maar dat een verklaring voor de waargenomen verschillen nog achterhaald moet worden met bijkomende metingen. De resultaten moeten relatief geïnterpreteerd



worden en vergeleken worden met een referentieplot dat voldoende bemest wordt en waar op hetzelfde moment metingen gedaan worden. Zo kan tot een bijkomend advies gekomen worden.

De variatie in het perceel zal medebepalend zijn voor de mogelijke winsten. Van Geel et al. (2011) verwijst daarvoor naar Van Marion (2002) die in 2000 en 2001 variabel bijbemeste op basis van de reflectiemetingen. De opbrengst was hetzelfde als homogeen bijmesten en het variabel bijbemesten resulteerde niet in een lagere N-gift, dit op een behoorlijk homogeen perceel. In luik 3 worden hieromtrent Soto et al. (2019) vermeld, dewelke een gemiddelde N-besparing meldden van 8 % op basis van variable rate nutrient technology.

10. LUIK 2: STAP 2: OPSTELLEN VAN AFWEGINGSKADER OM DE TECHNIEKEN TE EVALUEREN

Om te komen tot een best beschikbare techniek (BBT) betreffende fractionering worden voorgaande technieken geëvalueerd en afgewogen. Zoals in de voorgaande bespreking worden fractioneringstechnieken op zich en beslissingsondersteunende systemen in eerste instantie apart beoordeeld. De best beschikbare techniek zal uiteraard eerder een combinatie van beiden zijn.

Voor de evaluatie wordt gebruik gemaakt van een afwegingskader waarin volgende elementen worden opgenomen:

- kosten-baten-analyse: dit omvat de kost van de techniek, de kost van de meststoffen, het eventuele mindere verbruik van meststoffen, de eventuele tijdswinst en een eventuele meeropbrengst;
- N-Use efficiency of N-gebruiksefficiëntie;
- Milieukundige voordelen: bijdrage tot vermindering van uitspoeling en vervluchtiging;
- Praktische uitvoerbaarheid en haalbaarheid in Vlaanderen;
- TRL-score (Technology Readiness Level);
- Geschatte termijn tot brede ingang van de techniek in Vlaanderen.

De besparing op meststoffen en de eventuele meerproducties zijn in se vevat in de N-use efficiency. Een hogere opbrengst met eenzelfde gift of een gelijke opbrengst bij een verminderde gift betekent een hogere efficiëntie van de uitgevoerde bemesting. Uit de literatuur bleken deze technieken vaak tot beperkte meeropbrengsten of vergelijkbare opbrengsten te leiden, al dan niet met een beperkt verminderd gebruik van meststoffen. Deze parameters worden daarom apart niet nader gespecificeerd maar geëvalueerd als de N-use efficiency. Voor de kost van de meststoffen wordt effectief naar de kost per eenheid N gerefereerd en wordt geen rekening gehouden met de hoeveelheid. Voor uitvoerbaarheid en haalbaarheid is gekeken of het technisch uitvoerbaar is en of de techniek voor de Vlaamse landbouwers haalbaar zou zijn.

De parameters worden gescoord in 7 klassen, gaande van -3 tot +3, aangeduid met een kleurencode. Verdere duiding over de beoordeling en quotering wordt gegeven in Tabel 45, Tabel 46 en Tabel 47.

De referenties ten opzichte waarvan de parameters beoordeeld worden, zijn als volgt gedefinieerd:

- Referentie fractionering = totale dosis vóór poten, vollevelds toegediend
- Referentie begeleidend systeem = bemesting naar norm, zonder extern advies



Tabel 45: Overzicht en duiding van de beoordeling van de parameters opgenomen in het afwegingskader van de voorgestelde fractioneringstechnieken

Score	kostprijs meststoffen	loonwerken/machines/ins tallatie/ staalname & advisering	tijds w inst	NUe	uitspoeling	vervluchtiging	Uitvoerbaarheid	Haalbaarheid VIn	TRL-score	Duur tot brede ingang
-3	veel hogere meststofprijs	grote meerkost	veel meer tijd nodig	beduidend lagere efficiëntie	veel meer	technisch onhaalbaar	Niet realistisch			> 10 jr
-2	matig hogere meststofprijs	matige meerkost	matig meer tijd nodig	matig lagere efficiëntie	matig meer		Op <50% areaal haalbaar			3-10 jr
-1	beperkt hogere meststofprijs	kleine meerkost	beperkt meer tijd nodig	beperkt lagere efficiëntie	beperkt meer; geen verbetering verwacht		Op beperkt areaal haalbaar			<2 jr, al in praktijk gebruikt maar nog niet door 50 %
0	geen verschil in meststofprijs	geen verschil	geen tijds w inst/duurt niet langer	even efficiënt	geen verschil					wordt reeds frequent gebruikt
+1	beperkt lagere meststofprijs	beperkt lagere kost	beperkte tijds w inst	beperkt hogere efficiëntie	beperkt minder; te weinig info maar gericht op verbetering		Aanpassing/ installatie nodig	7		
+2	matig lagere meststofprijs	matig lagere kost	matige tijds w inst	matig hogere efficiëntie	matig minder		Beperkte aanpassing/ omschakeling nodig	8		
+3	veel lagere meststofprijs	veel lagere kost	grote tijds w inst	beduidend hogere efficiëntie	veel minder	technisch uitvoerbaar	Reeds frequent toegepast	9		

Mede op basis van de beoordeling van uitvoerbaarheid en haalbaarheid en volgens de weergegeven schaal, getoond door het VITO in een studie naar de best beschikbare techniek voor mestverwerking (Figuur 86) (Derden, 2020), is een TRL-score toegekend.



Figuur 86: Beoordeling TRL-score (Technology Readiness Level) gehanteerd bij de ontwikkeling van een technologie (Derden et al., 2020).

Voor de 'duur tot brede ingang' is 'brede ingang vinden' gedefinieerd als het moment dat 50 % of meer van de landbouwers de techniek op regelmatige basis gebruikt.

In functie van de teelt, aardappelen of maïs in dit geval, zijn enkele nuances in de beoordeling in het afwegingskader noodzakelijk. De aardappelteelt is een kapitaalsintensieve teelt, gericht op opbrengst en kwaliteit. Bijkomend is het een teelt die vaak op niet bedrijfseigen percelen maar op percelen in seizoenspacht wordt geteeld, waardoor meer bijkomend inzicht in de percelen aangewezen is. In de maïsteelt staan opbrengst en kwaliteit uiteraard ook centraal maar de bemesting is er vaker gestuurd door de afzet van organische mest. Maïs wordt vaker op eigen percelen geteeld maar een duidelijk zicht op de werkelijke productie is doorgaans minder aanwezig.

Het voorgestelde afwegingskader en de beoordeling van de technieken binnen dit kader is gebaseerd op de doorgenomen literatuur en expert judgement zijnde een expertenafweging van het uitvoerend consortium. Deze is zeker vatbaar voor kritiek of naar eigen inzicht of eigen situatie interpreteerbaar en aanpasbaar.



11. LUIK 2: STAP 3: AANDUIDEN VAN DE BEST
BESCHIKBARE FRACTIONERINGSTECHNIEKEN VOOR
AARDAPPELEN EN MAÏS

Op basis van het afwegingskader kunnen voor aardappelen en maïs enkele conclusies getrokken worden.



Tabel 46: Afwegingskader fractioneringstechnieken in aardappel

A A P P D E L		Techniek	kostprijs meststoffen	loonwerken/machines/ installatie/ & adviesname staalname	tijdswinst	NUE	uitspoeling	verluchting	Uitvoerbaarheid	Haalbaarheid	TRL-score	Duur tot brede ingang	
Fractionering		Rijenbemesting		aanpassing planter		Deels in de rij					8		
		Fertigatie		installatie	installatie, opvolging					<50% areaal realiseerbaar	7		
		x-aantal fracties, vast tijdstip, vaste dosis			bijkomende bemesting						9		
		Bladmeststoffen		geen aanpassing nodig		bepert deel als bladmeststof					9		
		Slow-release		geen aanpassing nodig			twijfel moment 'release'				9		
		Cultan		aangepast toestel; loonwerk	trage toediening						7		
Begeleidende systemen	Bodem	N-index	begeleidend systeem heeft geen effect op de meststof- keuze								9		
		Azobil			administratie						9		
		N-balans									9		
	Gewas	Bladsteeltjesmethode					late respons	Systemen zijn gericht op een betere opname. Effect op uitspoeling en verluchting moeilijk kwantificeerbaar.			owv tijdrovend minder interesse verwacht;	8	mgldn voorlichters
		Yara bladmeting					late respons				beperkt areaal; mgldn voorlichters	8	mgldn voorlichters
		Handsensoren-Fluorescentie										7	mgldn voorlichters
		Machinegedragen sensoren				bv GPS inrijden						7	
		Luchtbeelden				administratie	effect index; wat wordt gemeten?					7	
	Ruimtebeelden								7				



Tabel 47: Afwegingskader fractioneringstechnieken in maïs

M a i s		Techniek	kostprijs meststoffen	loonwerken/machines/ installatie/ & adviseuring	tijdswinst	NUE	uitspoeling	vervluchting	Uitvoerbaarheid	Haalbaarheid	TRL-score	Duur tot brede ingang	
Fractionering	Rijenbemesting					Deels in de rij					9		
	Fertigatie		installatie	installatie, opvolging						op beperkt areaal; kost	7		
	x-aantal fracties, vast tijdstip, vaste dosis			bijkomende bemesting							7		
	Bladmeststoffen		geen aanpassing nodig		beperkt deel als bladmeststof						9		
	Slow-release		geen aanpassing nodig			twijfel moment 'release'					9	in maïs hierin sneller interesse dan in 2 fracties	
	Cultan		aangepast toestel; loonwerk	trage toediening							7		
Begeleidende systemen	Bodem	N-index	begeleidend systeem heeft geen effect op de meststofkeuze								9		
		Azobil		administratie							9		
		N-balans									9		
	Gewas	Bladmeting-destructief					late respons	Systemen zijn gericht op een betere opname. Effect op uitspoeling en vervluchting moeilijk kwantificeerbaar.			late fase, niet meer met tractor	8	
		Yara bladmeting									ovv tijdrovend minder interesse ; beperkt areaal;	8	mgldn voorlichters
		Handsensoren										7	mgldn voorlichters
		Machinegedragen sensoren				bv GPS inrijden						7	
		Luchtbeelden				administratie						7	
		Ruimtebeelden										7	



12.1 Aardappelen

Door **rijenbemesting** in aardappelen is een beperkte besparing op de N-gift mogelijk en kan een vergelijkbare opbrengst gerealiseerd worden. Uitgegaan wordt van een besparing van 10 % N door rijenbemesting. Een bijkomende grote besparing ligt eerder in het niet bemesten van spuitpaden of hoeken waar ook niet gepoot wordt. Landbouwers lieten bijvoorbeeld in de landbouwpers optekenen dat op een areaal van 60 ha aardappelen 2 ha minder bemest werd door te werken met rijenbemesting. Het nitraatresidu ligt op een vergelijkbaar tot iets lager niveau in proefveldomstandigheden. In de praktijkomstandigheden kan het verschil in nitraatresidu tussen vollelds en rijenbemeste percelen groter zijn. Door het onmiddellijk inwerken van de N-meststof bij rijtoepassing is de vervluchtiging duidelijk beperkt in vergelijking met een volleldse toediening. De NUE neemt op basis van voorgaande elementen in zekere mate toe. Het kiezen voor een toepassing in de rij betekent het uitsparen van een werkgang, wat in eerder onderzoek een beweegreden bleek te zijn voor landbouwers om hiervoor te opteren. Een nadeel is de bijkomende logistiek die nodig is bij het planten, immers de meststoffen moeten ook op het veld geraken. De techniek vraagt ook extra tijd om de meststoffen aan te vullen waar anders enkel pootgoed moet aangevuld worden. De keuze voor rijenbemesting vergt geen aangepaste of duurdere meststoffen. Gangbare meststoffen zoals AN, KAS of Urean kunnen in functie van de gekozen techniek perfect gebruikt worden. Rijenbemesting vraagt wel een aangepaste mechanisatie. Er kan geopteerd worden om in dit geval te laten poten door een loonwerker, waardoor evenwel niet langer zelf kan gepoot worden of er kan zelf geïnvesteerd worden. De investering kan bijna zo duur of goedkoop zijn als de landbouwer wenst. In de praktijk gaan telers soms zelf aan de slag maar eveneens worden aangepaste pootmachines door de fabrikanten aangeboden. Dit geeft onmiddellijk aan dat de techniek uiteraard technisch uitvoerbaar is maar bovendien dat het ook zeker haalbaar is. Nadeel wanneer de rijenbemesting gecombineerd wordt met het poten, is de zwaardere combinatie. De machinecombinatie die gebruikt wordt zal nog zwaarder zijn dan anders. Uitgaande van de interesse tijdens het demonstratieproject “N naar de aardappel brengen en zo N efficiënter benutten” zou de techniek brede ingang kunnen vinden. Rekening houdend met de interesse die tijdens eerdere demo’s bleek, de nodige tijd om het machinepark aan te passen en de momenteel economisch minder gunstige situatie van deze sector, wordt geschat dat deze techniek de twee eerstvolgende jaren geen brede ingang zal kennen maar dat hij, mits de nodige aandacht hiervoor, haalbaar zou kunnen zijn binnen de eerstvolgende 10 jaar.

Fertigatie lijkt een zeer interessante techniek. De nutriënten kunnen gespreid over het seizoen in kleinere hoeveelheden en plaatselijk worden toegediend en tegelijk wordt voldaan aan de waterbehoefte van de teelt. Door fertigatie kan de N-gift verlaagd worden en eenzelfde of hogere opbrengst gerealiseerd worden. De emissie van mineralen naar het milieu is dan ook lager. Deze techniek vraagt echter een hoge installatiekost en vraagt ook tijdens de teelt de nodige opvolging. Naargelang de positie van de druppeldarm is ook bij aanleg en voor de oogst meer of minder bijkomend werk vereist. Bijkomende moeilijkheid voor deze techniek is de beschikbaarheid van (kwalitatief) water. Bijvoorbeeld te veel ijzer in het water doet filters of druppelgaten verstoppen. De hoge kost en de beschikbaarheid van water maken het voor deze techniek, ondanks de kennis terzake, moeilijk in Vlaanderen. De steeds frequenter voorkomende en langere droogteperiodes zijn uiteraard een belangrijke incentive om een dergelijke installatie te overwegen. Ook technisch is dit perfect uitvoerbaar. De beschikbaarheid van water zal de haalbaarheid beperken alsook de termijn tot brede ingang.



//

Een **gesplitste toediening** van de bemesting zal de meststofkeuze niet automatisch beïnvloeden en betekent niet noodzakelijk een meerkost of een besparing per eenheid N. Zonder begeleidend systeem en tussentijdse evaluatie zal ook de dosis niet aangepast worden. Naargelang de keuze van de meststoffen voor bijbemesting, vloeibaar of vaste kunstmest, betekent een gesplitste bemesting in vergelijking met de gestelde referentie, volledige dosis vollevelds toegediend, al dan niet een extra werkgang. Bijbemesting met een vaste meststof betekent een extra werkgang. Bijbemesting met vloeibare meststoffen die in meerdere keren worden toegepast in combinatie met de fungicidebehandelingen, vraagt geen extra passage. De beperktere voorraad bij het begin van de teelt vermindert de kans op uitspoeling en het onbereikbaar worden van de aangeboden minerale stikstof voor de plant in het voorjaar. De fracties toegediend tijdens de teelt betekenen een eerder beperkte N-gift maar op deze gift zijn wel verliezen door vervluchtiging mogelijk. Bij langere droogte kan geen vaste meststof gekozen worden. Deze komt niet of te laat ter beschikking van het gewas. Bij extreme droogte zullen zelfs bladtoepassingen geen effect hebben. De bedoeling is bij te sturen op het moment dat de aardappelen nog veel N vragen. Eens dit moment voorbij is moet een bijkomende fractie niet meer overwogen worden. Te laat bijmesten, bijvoorbeeld in augustus, stimuleert de loofgroei soms te sterk wat ten koste gaat van de knolontwikkeling. Technisch zijn er voor deze benadering geen problemen en ook voor de telers is dit een haalbare praktijk. In de focusgroepen georganiseerd door VLM bleek trouwens in de focusgroep aardappelen dat sinds enkele jaren een gefractioneerde bemesting standaard is (VLM, 2018). Deze bevindingen resulteren in een hoge TRL-score en korte duur tot brede ingang.

Bladmeststoffen of **bladbemesting** zijn uiteraard geen onbekenden. Een besparing op dosis of een meeropbrengst is niet bepaald door de keuze van bladmeststoffen. Bladmeststoffen kunnen functioneren als een onderdeel van de bemesting, maar de N-bemesting kan er nooit volledig mee ingevuld worden. Naargelang de keuze voor meer commerciële formules of een eenvoudige vloeibare N (Urean) betekent dit wel of niet een meerkost. Technische aanpassingen zijn voor het gebruik van bladmeststoffen niet nodig, eventueel een aangepaste spuitdop. Het gebruiken van bladmeststoffen heeft geen effect op de tijdsbesteding van de landbouwer. Door de mogelijkheid deze bemesting te combineren met de fungicidebehandelingen is er geen extra werkgang nodig. Het “verspuiten” van meststoffen heeft een nauwkeurige dosering en toediening als belangrijk voordeel. Verliezen op spuitbanen en aan perceelsranden zijn minimaal en bij sectionaalafsluiting kan overlap op gerende percelen eenvoudig voorkomen worden. De efficiëntie van de N-bemesting neemt toe, maar door het beperkte aandeel in de totale N-bemesting, uiteindelijk in beperkte mate. Het deel dat als bladvoeding wordt toegepast, is niet onderhevig aan uitspoeling maar vervluchtiging is wel mogelijk. Beperkte dosissen tot 5 kg N/ha in juli-augustus kunnen soms wel het gewas “aan de gang” houden. Technisch is alles reeds aanwezig op de landbouwbedrijven. Een bijbemesting onder de vorm van bladbemesting is al een ingeburgerde praktijk zoals ook werd gesteld in de focusgroep-aardappelen georganiseerd door VLM om meer praktijkinzicht te krijgen in de gemeten nitraatresidu’s. Dit heeft reeds brede ingang bij de landbouwers gevonden.

Slow-release meststoffen zijn duurdere meststoffen in aankoop. De mogelijke besparing op N-dosis is moeilijk in te schatten op basis van de literatuur. Het effect op de opbrengst is niet significant. De N-use efficiency neemt in beperkte mate toe. Aangezien de effectiviteit van de remstoffen afhankelijk kan zijn van de fysische en chemische eigenschappen van de grond zoals zuurtegraad, textuur en organische-stofgehalte en van de biologische activiteit, op zich beïnvloed door vocht en temperatuur, is deze niet altijd even voorspelbaar of betrouwbaar. Het beperken of vertragen van de nitrificatie draagt bij tot een verminderde N₂O-emissie. Aan het



machinepark zijn geen aanpassingen of bijkomende investeringen nodig. De techniek is dus een theoretisch haalbare kaart voor de Vlaamse landbouwers. De meerkost en de onzekerheid over de effectiviteit zullen de toepassing in de praktijk beperken. Nitrificatieremmers kwamen ook aan bod tijdens de eerder vermelde focusgroep-aardappelen en ook daar blijkt het expertenoordeel bevestigd. Eén van de aanwezige landbouwers probeerde dit eenmalig, maar zag geen effect op het nitraatresidu. Er werd gesteld dat de kostprijs de drempel is om dit op grote schaal toe te passen.

De **Cultan-methode** is een specifieke methode van rijenbemesting. Meer bepaald de keuze van de gebruikte meststof maakt deze techniek specifiek. Het doel is om een geconcentreerd ammoniumdepot in de rij te voorzien waardoor nitrificatie geremd wordt, stikstof meer onder de vorm van ammonium zou opgenomen worden en slechts één keer moet bemest worden. Een besparing op N bleek vaak maar niet altijd uit de literatuur. Toch kan besloten worden dat een zekere besparing mogelijk is, maar zeker niet meer dan 20 %. Eenzelfde opbrengst is zeker haalbaar. Wordt gewerkt met Urea als meststof dan blijft het verschil in kostprijs beperkt. Wanneer men denkt aan spuiwater van chemische luchtwassers dan kost de meststof niets maar kan ook maar een beperkt deel van de bemesting worden ingevuld waardoor de winst minder groot wordt. Voor dit spuiwater is bovendien ook een aangepaste opslag nodig. De toepassingsnelheid is vaak beperkt. De N-use efficiency is hoger dan bij een volveldse toediening, vervluchtiging is door het ondergronds toedienen drastisch beperkt en de N-vorm beperkt het risico op uitspoeling. Deze techniek werd reeds in het buitenland gedemonstreerd en is technisch geen probleem. Mits de nodige aanpassingen, welke een meerkost meebrengen, is dit praktisch haalbaar voor de Vlaamse landbouwer, eventueel in loonwerk. Dit is een techniek die reeds in een bedrijfsomgeving werd gedemonstreerd. Omwille van de aanpassingen die nog moeten gebeuren en rekening houdend met de tijd die nodig is om de landbouwers wat meer vertrouwen in de techniek te laten krijgen wordt geschat dat deze techniek de volgende 2 jaar nog geen brede ingang kan vinden (zoals bij rijenbemesting).

Naast de keuze voor een bepaalde techniek is het aangewezen om gebruik te maken van een begeleidend of beslissingsondersteunend systeem. Deze kan mee de duur tot brede ingang bepalen. Over alle **beslissingsondersteunende systemen (BOS)** heen kan gezegd worden dat deze niet sturen in de meststofkeuze en bijgevolg de prijs van meststoffen per eenheid N niet zullen beïnvloeden. Eveneens gemeenschappelijk voor alle begeleidende systemen is het feit dat ze erop gericht zijn een 'correcte' en aangepaste N-dosis voor te schrijven en dat ze een betere N-opname beogen. Het effect daarvan op uitspoeling en vervluchtiging is moeilijk te kwantificeren maar is wel positief. Voor de verdere toelichting wordt onderscheid gemaakt tussen de systemen die zich eerder baseren op de bodem en de systemen die zich eerder baseren op het gewas.

De **bodemgebaseerde beslissingsondersteunende systemen (BBOS)** voorzien een N-advies op maat van het perceel begroot op basis van de perceels- en gewaseigenschappen en de gemeten waarden. Deze systemen zetten in op een optimale dosis, een (economisch) optimale opbrengst en een hoge NUE. Ze staan niet inherent gelijk aan een lagere dosis dan wanneer bemest wordt tot de norm maar bieden de mogelijkheid tot meer beperkte verliezen. Deze systemen kunnen op meerdere momenten richting geven aan de bemestingsdosis. Ze formuleren een advies bij de start van de teelt zodat ook de basisbemesting onderbouwd is, maar ze bieden evenzeer de mogelijkheid om in de loop van de teelt een tweede fractie al dan niet aan te raden en te onderbouwen. Voor een bijbemestingsadvies moet rekening gehouden worden met de nodige analyseperiode zodat de bemesting nog tijdig kan gebeuren. De staalname en advisering brengen een zekere kost met zich mee.



In vergelijking met de gestelde referentie voor de beslissingsondersteunende systemen, zijnde bemesting tot de norm, wordt van de landbouwer door het BBOS de nodige onderbouwende informatie en administratie gevraagd. Dit vraagt in beperkte mate wat meer tijd dan blinde bemesting tot de norm. Technisch stellen deze systemen geen eisen en het gebruik van een dergelijk systeem is een haalbare en gekende kaart voor de Vlaamse landbouwer. Dergelijke BBOS zijn volop in de praktijk in gebruik. De duur tot brede ingang wordt voor alle BBOS uniform beoordeeld.

Ook de **gewasgebaseerde beslissingsondersteunende systemen (GBOS)** betekenen niet inherent een verlaagde N-dosis in vergelijking met bemesting tot norm. Het systeem geeft een N-advies op basis van de gewasinhoud, chlorofylgehalte of NDVI, is bijgevolg aangepast aan de situatie en zal de ene keer hoger en dan weer lager zijn dan de referentie. De advisering is gebaseerd op kritische waarden en responscurven welke gericht zijn op een optimale opbrengst. Ze bieden wel het voordeel van de kans op minder verliezen.

De **bladsteeltjesmethode** en de **Yara-bladmeting** krijgen een gelijkaardige beoordeling. De bladsteeltjesmethode vraagt een analyse- en adviseringskost of vraagt net zoals bij de Yara-N-meter een investering in een meettoestel. Voor beide methodes moeten op regelmatige basis en verspreid over het perceel metingen gedaan worden of bladeren verzameld worden. Dit is een eerder tijdrovende aangelegenheid. Van beide methoden wordt ook gesteld dat een N-tekort vrij laat gedetecteerd wordt waardoor de bijbemesting te laat gebeurt en het effect en een verhoogde efficiëntie in het gedrang komen. Bovendien is bij dergelijke technieken, wanneer ze alleenstaand gebruikt worden, de basisbemesting en dus het grootste deel van de bemesting al gebeurd zonder verdere onderbouwing. Technisch zijn beide methodes perfect uitvoerbaar. De tijdsfactor zal het moeilijker maken voor de landbouwers. Op een groot areaal aardappelen is dit bovendien niet haalbaar maar zou eventueel kunnen geopteerd worden om groepen van percelen te maken. Deze techniek is min of meer geïntroduceerd in de markt. Brede ingang wordt niet onmiddellijk verwacht maar mogelijkheden voor deze methodes zijn misschien weggelegd voor de voorlichters. Het blijft wel een techniek met een late reactiemogelijkheid.

De handsensoren zoals een **Dualex**, gebaseerd op fluorescentiemetingen, die naast het chlorofylgehalte ook het polyfenolengehalte meenemen, zijn gevoeliger voor het bepalen van een N-tekort en kunnen dit sneller detecteren. Dit toestel heeft uiteraard een kost die zonder beslissingsondersteuning niet zou gemaakt worden. Een concreet bijbemestingsadvies geeft dit toestel evenwel niet. Een referentie-object met een gekende bemesting is nodig om de bijbemestingsdosis tegen af te wegen. Ook hier is de basisbemesting gebeurd en kan op een beperkt deel bespaard worden. Toch zal de N-efficiëntie toenemen. De landbouwer moet ter plekke gaan voor de metingen, wat de nodige tijd vergt. Deze handsensoren zijn minder bekend dan de Yara-N-meter of de bladsteeltjesmethode, maar zijn beschikbaar. De tijdsinvestering wordt verwacht een belemmering te zijn voor de landbouwers. Mits een referentievenster liggen hier ook mogelijkheden voor voorlichters. Deze sensor wordt niet verwacht om snel brede ingang te vinden.

De handsensoren op basis van reflectiemetingen zoals de CropScan zijn in het afwegingskader niet specifiek toegelicht. De CropScan is onvoldoende robuust om op een tractor te monteren en van de landbouwers wordt niet verwacht dat ze hun percelen doorlopen zoals getoond in Figuur 81. Dit is een toestel dat eerder zijn plaats vindt in onderzoekstoepassingen.



De **machinegedragen sensoren** baseren hun werking op reflectiemetingen. Op dit punt is geen verder onderscheid gemaakt tussen de commercieel beschikbare sensoren. Allen vertegenwoordigen ze een bijkomende kost. Dit is echter een kost die, door het feit dat ze machinegedragen zijn en makkelijker op een groter areaal en in andere teelten ingezet kunnen worden, nog beperkt kan worden. De metingen kunnen tijdens bv. een fungicidebehandeling gebeuren, waardoor de meting op zich geen extra tijd van de landbouwer vraagt. Echter de praktijk leert dat storingen, problemen met connectiviteit of bv. het 'inrijden' van de percelen in de RTK-GPS toch voor het nodige oponthoud en tijdsverlies kunnen zorgen. Naargelang de gekozen sensor wordt als resultaat van de metingen reeds een advies aangeboden of wordt een verder te interpreteren vegetatie-index aangeboden. In dit laatste geval moet deze index nog verder vertaald worden naar een concreet advies. Zoals ook voor de volgende metingen zal vermeld worden, zullen deze sensoren gebaseerd op reflectiemetingen mogelijk meer invloeden meten dan enkel de N-beschikbaarheid. Deze kunnen de variabiliteit binnen het perceel in kaart brengen maar hebben mogelijk ook baat bij een referentie. Wanneer deze techniek gebruikt wordt om uniform bij te bemesten, is het effect op de dosis moeilijk in te schatten. Wordt bij het bijbemesten ingespeeld op de variatie in het perceel dan zal het effect op de dosis ook afhangen van de grootte van de variatie in het perceel. In luik 3 wordt verwezen naar Soto et al. (2019) die een gemiddelde N-besparing meldden van 8 % op basis van variable rate nutrient technology. De bijbemesting gebeurt met meer kennis maar met mogelijk te weinig inzicht op de achterliggende reden waardoor de N-efficiëntie in mogelijk beperkte tot grote mate zal toenemen. Dergelijke sensoren zijn beschikbaar maar compatibiliteit van sensoren en machines, het vertalen van indices naar adviezen en het maken van taakkaarten zijn belangrijke aandachtspunten. Voor dergelijke technieken is uiteraard interesse maar de vertaalslag naar concrete adviezen is onduidelijk of is vaak nog niet gemaakt. Bijkomende ondersteunende metingen of waarnemingen of zelfs een referentiemeting zijn doorgaans nog nodig. In een snel ontwikkelende sector kunnen deze aandachtspunten mogelijk snel verholpen worden maar dat is niet noodzakelijk zo. Dit kan de eerstvolgende 10 jaar mogelijk brede ingang vinden.

Voor de **luchtbeelden** of de airborne sensoren geldt grotendeels dezelfde redenering als voor de machinegedragen sensoren. De kost kan wel enigszins hoger uitvallen, zeker wanneer de kost op perceelsniveau moet verhaald worden en ook onafhankelijk van de perceelsoppervlakte wordt gezien. Wat de tijdsbesteding betreft, blijft dit beperkt voor de landbouwer en moet enkel ondersteunende informatie doorgegeven worden. Belangrijke knelpunten ook hier zijn het feit dat de achterliggende reden van een afwijkende NDVI niet altijd gerelateerd is aan de N-bemesting en dat de vertaalslag of de integratie in verdere beslissingsondersteunende systemen nog moet gebeuren. Ook hier kan ondanks de mogelijk snelle ontwikkeling gesteld worden dat dit zeker de eerste 2 jaar nog geen brede ingang zal vinden.

De **ruimtebeelden** zijn vrij recent beduidend goedkoper geworden voor landbouwers. De prijs is doorgaans oppervlakteafhankelijk. De beelden zijn mits de juiste interpretatie ook bruikbaar in een tijdsreeks waardoor ook in andere teelten de informatie nog kan gevalideerd worden door bv. het blootleggen van droogtegevoelige plekken op een perceel. Ook hier speelt nog steeds dat een mindere gewasgroei geassocieerd wordt met een stikstoftekort wat niet altijd terecht is. De gewasreflectie geeft de toestand van het loof weer maar geeft geen uitsluitend over de precieze oorzaak van een achterblijvende loofontwikkeling op plekken binnen het perceel. Bijkomend is de voorwaarde voor een voldoende bodembedekkingsgraad, wat in sommige gevallen kan betekenen dat te laat op het seizoen pas een besluit kan genomen worden.



12.2 Maïs

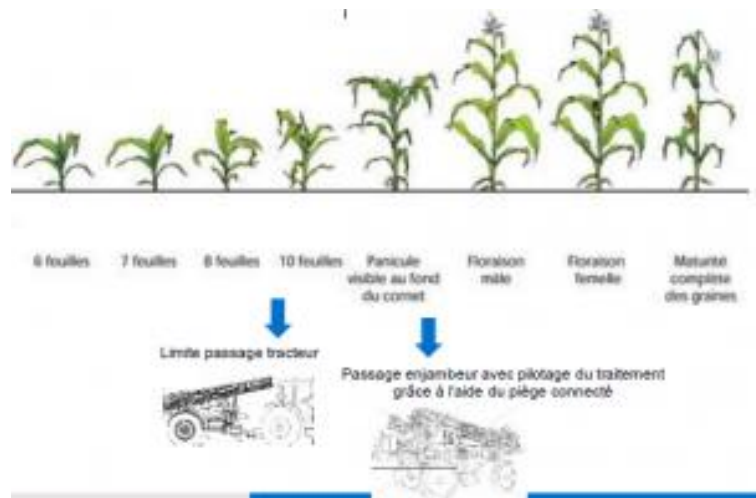
Ook voor maïs werden de voorgaande afwegingen gemaakt. De beoordelingen of scores zullen weinig verschillen van deze gemaakt voor aardappelen. Daarom wordt hierbij enkel dieper ingegaan op de aspecten die in het geval van maïs anders beoordeeld werden.

Rijenbemesting is in de maïsteelt meer ingeburgerd dan bij de teelt van aardappelen. Dit heeft zijn consequenties voor de duur tot brede ingang. De rijenbemesting in maïs beperkt zich momenteel in de praktijk weliswaar tot het minerale gedeelte van de bemesting. Op dat vlak duurt het minder dan 2 jaar vooraleer deze praktijk door meer dan 50 % van de landbouwers gebruikt wordt. De haalbaarheid voor de maïstellers kan dan ook net hoger gescoord worden. Het huidige gebruik is soms wat streekgebonden, afhankelijk van de intensiteit van de maïsteelt. De installatiekost werd hier net als voor aardappelen ten opzichte van de referentie beoordeeld maar in de praktijk zullen minder aanpassingen nodig zijn om kunstmest in de rij toe te dienen, wat mee in de hogere score voor haalbaarheid zit vervat. De mogelijke N-besparing door het toepassen van rijenbemesting is duidelijker in maïs. Tot maximaal 25 % kan bespaard worden op de minerale N door rijenbemesting, waardoor ook de NUE sterker toeneemt in maïs. Toch blijft het beperkt tot een deel van de bemesting aangezien rijenbemesting met dierlijke mest veel moeilijker lijkt door te breken.

Fertigatie is ook in maïs niet onmiddellijk realiseerbaar. Ook hier gelden de beschikbaarheid van water en de kost als beperkende factoren. Toch is er bij landbouwers die wel water ter beschikking hebben mogelijk interesse na de afgelopen droge jaren, zoals blijkt uit een ingediende aanvraag binnen het Landbouwcentrum Voedergewassen welke normaliter vanuit de praktijk wordt gestuurd.

Een **gesplitste toediening** heeft op interesse kunnen rekenen na het bijzonder natte voorjaar van 2016. Vlaamse proeven hieromtrent gaven nadien geen duidelijke of overtuigende resultaten, weliswaar onder totaal andere, met name zeer droge, weersomstandigheden. De duur tot brede ingang wordt daarom ook wat langer ingeschat dan bij aardappelen. Er wordt ingeschat dat in de maïsteelt ondanks de kost meer oor zal zijn naar het gebruik van slow release meststoffen dan naar het fractioneren van de bemesting. Bij maïs moet ook rekening gehouden worden met de praktische haalbaarheid. Later dan het 8-10-bladstadium is het praktisch niet meer mogelijk om de maïs met een gewone tractor te bemesten (Figuur 87).





Figuur 87: Mogelijkheden passage door maïs in functie van het gewasstadium en gewashoogte.

Bladmeststoffen worden in maïs ook gebruikt, doch minder frequent dan in aardappelen. Ook in de focusgroep intensieve veeteelt bleken slechts enkele landbouwers bladbemesting toe te passen.

Slow release meststoffen, bv. op Entec gebaseerde meststoffen, worden soms al in de rij toegepast. Ook in de maïs betekent dit een meerkost per eenheid N. Toch wordt verwacht dat hiervoor eerder zal geopteerd worden in de maïsteelt dan in de aardappelteelt, eerder dan voor een gesplitste toediening, dit omwille van de tijds winst in vergelijking met een gesplitste toediening en omwille van de eerder beperkte dosis die nog in de rij wordt meegegeven in de praktijk.

De **Cultan-methode** en/of het gebruik van chemisch spuiwater heeft in gras en maïs wat meer in de belangstelling gestaan door recente demonstraties. Proeven hebben in deze teelten mogelijkheden laten zien. Voor deze techniek wordt eerder in maïs dan in aardappelen een toekomst verwacht. Toch wordt verwacht dat deze techniek de eerstvolgende jaren geen brede ingang zal vinden. Hiervoor zijn mogelijkheden weggelegd door lokale afspraken tussen landbouwers en bedrijven die afzet zoeken voor het chemische spuiwater.

Bodemgebaseerde beslissingsondersteunende systemen (BBOS) zijn ook in de maïsteelt niet vreemd. Zeker op derogatiebedrijven met de teelt gras-maïs, wordt vaak een N-advies ingewonnen.

In maïs kan naar **analogie met de bladsteeltjesmethode**, in dit geval dus bladanalyse, verwezen worden naar de Jubil®-methode uit Frankrijk. Op basis van deze methode is enkel in een zeer laat stadium correctie mogelijk, wat in Vlaanderen praktisch niet haalbaar is. Van deze destructieve methode wordt net als voor de **handsensoren** of de **Yara-bladmeting** weinig verwacht in maïs in Vlaanderen. Tijdsbesteding zal voor deze systemen de beperkende factor zijn.

Voor **machinegedragen sensoren** gelden in maïs doorgaans dezelfde bevindingen als in aardappelen. Toch wordt de overweging tot investering of duur tot brede ingang voor deze teelt wat anders ingeschat. De sector



waar maïs van groter belang is op bedrijfsniveau is de intensieve melkveehouderij. Op deze bedrijven wordt het melkvee gecombineerd met grasland en maïs en enkele in bedrijfsbelang ondergeschikte teelten. Op dergelijke bedrijven, waar weinig return uit andere teelten kan verwacht worden, zal de investering voor maïs alleen niet onmiddellijk overwogen worden. Dit zal de duur tot brede ingang in deze teelt mee beperken.

Voor het gebruik van *luchtbeelden of ruimtebeelden* geldt dezelfde redenering als deze gemaakt bij de aardappelen. Echter, ook voor deze technologie wordt in maïs net wat minder interesse verwacht. Voor ruimtebeelden kunnen historische reeksen misschien wel mogelijkheden bieden. Op basis van deze reeksen kunnen percelen met hoog en laag productiepotentieel onderscheiden worden en kan de bemesting gericht verdeeld worden.

12.3 Conclusies

In wat volgt wordt een onderscheid gemaakt tussen ideale technieken of benaderingen, de best beschikbare technieken en de best beschikbare benadering binnen het Vlaamse, praktische gegeven.

12.3.1 Ideale scenario's

Uitgaande van de gevoeligheden van de teelten kunnen volgende scenario's als nagenoeg ideaal naar voor geschoven worden indien de hierboven besproken technologieën geen beperking hadden in praktische uitvoering of duur tot brede ingang:

Aardappelen

- De teelt starten met een onderbouwde inschatting van de N-bemesting: een N-advies op basis van bodemstaalname.
- De geadviseerde N-dosis in 2 fracties toedienen als het N-advies meer dan 160 kg N/ha bedraagt. De eerste fractie wordt beperkt tot 70 % van het N-advies. Deze basisbemesting wordt bij voorkeur in de rij toegepast.
- Vanaf 4 à 6 weken na poten kan de toestand geëvalueerd worden op basis van bodemmetingen. Ruimtebeelden worden later gemaakt bij voldoende bodembedekking en gewas en geven duiding van de ruimtelijke variatie. Op basis daarvan wordt een ruimtelijk gedifferentieerd bijbemestingsadvies gegeven. Deze wordt bij voorkeur toegediend via het blad met respect voor een maximale dosis van 15 kg N/ha/behandeling.

Maïs

Het ideale scenario van maïs is vrij vergelijkbaar met bovenstaande.

- De teelt starten met een onderbouwde inschatting van de N-bemesting: een N-advies op basis van bodemstaalname.
- Bij een advies van meer dan 100 kg N/ha wordt de bemesting gefractioneerd, zeker op de lichtere gronden. De eerste fractie bedraagt 50 kg N/ha, toegepast in de rij.
- Evaluatie gebeurt idealiter in het 4-bladstadium met satellietbeelden. De tweede fractie of het resterende saldo wordt net voor of in het 6-bladstadium toegediend.



12.3.2 Best Beschikbare Technieken

In afwachting van een heldere en correcte vertaalslag van 'beelden' en indices naar adviezen, onder Vlaamse omstandigheden afgetoetst, wordt, uitgaande van de gevoeligheden van de teelten en de bovenstaande beoordelingen, het volgende als best beschikbare techniek of als best beschikbaar bemestingsscenario aangeduid.

Aardappelen

- De teelt starten met een onderbouwde inschatting van de N-bemesting: een N-advies op basis van bodemstaalname
- De geadviseerde N-dosis in 2 fracties toedienen als het N-advies meer dan 160 kg N/ha bedraagt. De eerste fractie wordt beperkt tot 70 % van het N-advies. Deze basisbemesting wordt bij voorkeur in de rij toegepast.
- 4-6 weken na poten wordt de toestand geëvalueerd, momenteel op basis van bodemstaalname. Ongeveer 6 weken na planten bij knolaanleg start de bijbemesting. Deze wordt bij voorkeur toegediend via het blad met respect voor een maximale dosis van 15 kg N/ha/behandeling.

Maïs

In maïs wordt bijkomend gesteld dat pas in een vrij laat stadium voldoende betrouwbare beelden kunnen bekomen worden met reflectiesensoren. Op dat moment is in maïs een bijbemesting praktisch niet meer uitvoerbaar.

- De teelt starten met een onderbouwde inschatting van de N-bemesting: een N-advies op basis van bodemstaalname
- Bij een advies van meer dan 100 kg N/ha wordt de bemesting gefractioneerd, zeker op de lichtere gronden. De eerste fractie bedraagt 50 kg N/ha en wordt toegepast in de rij.
- De evaluatie gebeurt in het 4-bladstadium op basis van bodemstaalname. De tweede fractie of het resterende saldo wordt net voor of in het 6-bladstadium toegediend.

Deze best beschikbare technieken worden best nog eens bijkomend afgetoetst aan de praktijk. Voorgaande technieken betekenen immers een duidelijke bijkomende kost. Een praktische benadering van deze voorgestelde BBT kan gevonden worden in "Isopercelen". Zoals isobaren duiden op lijnen van gelijke druk duiden isopercelen op vergelijkbare percelen. De landbouwer maakt groepen van percelen die vergelijkbaar zijn qua textuur, voorteelt, bemestingshistoriek en koolstofgehalte. Door vergelijkbare percelen te groeperen kan het aantal stalen en de bijhorende kost beperkt worden.

12.3.3 Gebruik van dierlijke mest

In een praktische benadering moet uiteraard ook stil gestaan worden bij de Vlaamse situatie waarbij op tal van bedrijven gebruik gemaakt wordt van dierlijke mest.

Aardappelen



Bij gebruik van dierlijke mest, meer bepaald drijfmest, kan naar voor geschoven worden dat de norm van 170 kg dierlijke N, overeenstemmend met 102 kg werkzame N, wordt ingevuld. Is hiermee de 70 % van het advies nog niet voldaan, dan wordt het verschil in de rij toegepast. Op deze percelen is een evaluatie 4 weken na poten zeker een aandachtspunt om de verwachte mineralisatie te evalueren. Bijbemesting wordt bij voorkeur toegediend via het blad met respect voor een maximale dosis van 15 kg N/ha/behandeling.

Maïs

Door het invullen van de dierlijke norm (170 kg dierlijke N/ha) met het zicht op een maximale afzet van de dierlijke mest, wordt al bij de start van de teelt 102 kg werkzame N/ha toegediend. Dit betekent dat de voorgestelde eerste fractie van 50 kg N/ha ruim overschreden wordt. De voorgestelde tweede fractie wordt voorzien in een vaak droge periode wat de effectiviteit in gedrang brengt. Een tweede fractie zou mogelijk zijn in één werkgang met het schoffelen. Een toediening over het gewas met een kunstmeststrooier is af te raden, omdat hierdoor gemakkelijk verbranding kan optreden door kunstmestkorrels die in de bladkoker terechtkomen.

Daarom wordt in maïs vanuit praktijkoogpunt volgende benadering voorgesteld:

- De teelt starten met een onderbouwde inschatting van de N-bemesting: een N-advies op basis van bodemstaalname
- Volledige dosis bij start van de teelt
 - Vollevelds toegediende dierlijke mest aanpassen en beperken.
 - Aanvullen met rijenbemesting, rekening houdend met de 25 % N-besparing door rijenbemesting.

Deze technieken zullen aangehaald worden in de code goede praktijk “Gefractioneerde bemesting in aardappelen en maïs”.

12. LUIK 2: STAP 4: OPSTELLEN VAN EEN OVERZICHT VOOR GOEDE PRAKTIJEN ROND GEFRATIONEERDE BEMESTING IN MAÏS EN AARDAPPELEN

In het kader van deze studie werd ook een overzicht voor goede praktijken rond gefractioneerde bemesting in maïs en aardappelen opgesteld. Deze worden in een apart document opgenomen aangezien dit document ook apart verspreid zal worden.



13. LUIK 2: FICHES MET TECHNOLOGIEËN VOOR HET FRACTIONEREN VAN BEMESTING

In het kader van deze studie werden ook fiches opgesteld met bestaande en mogelijke technieken voor het fractioneren van bemesting. Deze worden in een apart document opgenomen aangezien de fiches ook apart verspreid zullen worden.



Abras, M., Goffart, J.P. and Destain, J.P. (2013). Perspectives d'amélioration du conseil prévisionnel de fertilisation azotée à la parcelle en Wallonie par l'utilisation du logiciel AzoFert. *Biotechnology Agronomy Society Environment* 17(S1)(2013), 215-220.

Anjum M. M., Shafi M., Ahmad H., Ali N., Iqbal M.I., Ullah S., Shafiullah, Muhammad Faheem Jan and Waqas Liaquat (2018). Influence of split nitrogen application on yield and yield components of various maize varieties. *Pure and Applied Biology*. Vol. 7, Issue 2, pp 721-726.
<http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2018.70090>

ARVALIS & TERRES INOVIA (2020). ARVALIS & TERRES INOVIA INFOS, Édition Sud-Ouest. Maïs et tournesol les nouvelles variétés au banc d'essai. JANVIER 2020, 54p. ISSN n° 2610-6027

Ben Abdallah, F., Philippe, W. and Goffart, J.P. (2016). Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne pour l'évaluation du statut azoté des cultures (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2016 20(1), 83-93.

Ben Abdallah, F., Philippe, W. and Goffart, J.P. (2018). Comparison of optical indicators for potato crop nitrogen status assessment including novel approaches based on leaf fluorescence and flavonoid content. *Journal of Plant Nutrition* 2018, VOL. 41, NO. 20, 2705–2728 <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510514>

Blandino, M., Cordero, E., Vanara, F., Reyneri, A. (2019). Effect of Drip Irrigation and Fertigation On Maize Resource-Use Efficiency, Yield and Quality. *Atti del XLVIII Convegno della Società Italiana di Agronomia. Evoluzione e adattamento dei sistemi colturali erbacei.*, 199-200.

Bracke, J. (2020) Nitrogen fertilization in ornamental plant production based on in-season demands through proximal sensing and soil modelling. PhD Thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University and Faculty of Bioscience Engineering, KU Leuven. 322p.

Bries J., Vandendriessche H. en Geypens M., (1995). Bemesting en beregning van aardappelen in functie van opbrengst en kwaliteit. Eds. Bries J., H. Vandendriessche en M. Geypens. Uitgever IWONL, 250p.

CIPF. Que penser des engrais « starter » ou encore des engrais foliaires ?

Clevering, O.A. (2002). Toepassingsmogelijkheden van vloeibare NPK-meststoffen in de akkerbouw. Projectrapport nr. 1125246. 52p.

Cohan, J.P., Laurent, F. (2012). Des gains de rendement mais attention aux gros calibres. *Perspectives Agricoles*, N°385, JANVIER 2012, 32-33.



Coussement, T., Elsen, A., Bries, J. (2014) Final report: DMPP performance in slurry under farmer practice in comparison to mineral fertilizers and competitor product (PIADIN). Not published report. 19p.

Coussement, T., Elsen, A., Bries, J., Vandendriessche H. (2015). Effect of nitrification inhibitors in slurry on nitrogen uptake efficiency and yield of silage maize. Abstract presented at the BASF Symposium 2015 on Nitrification Inhibitor usage in Organic and Mineral Fertilizer.

Dalla Costa L., Delle Vedove G., Gianquinto G., Giovanardi R., Peresotti A. (1997). Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. Potato Research 40 (1997), 19-34.

De Blauwer V., Goeminne M., Bries J. (2014a). N naar de aardappel brengen en zo N efficiënter benutten. Technisch eindverslag, ADLO-demonstratieproject, 111p.

De Blauwer V., Odeurs W., Goeminne M. (2014b). Fractioneren van de stikstofbemesting in aardappelen. Management&Techniek 7, 4 april 2014, 12-14.

Derden, A., Dijkmans, R. 2020. Addendum bij de studie “Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking - derde uitgave” Mestverwerkingstrajecten: BBT en “technieken in opkomst” met focus op nutriëntrecuperatie. Eindrapport 8 september 2020, 71p.

D’Haene K., Salomez J., Hofman G. (2018). Is rijenbemesting dé oplossing om stikstofverliezen te minimaliseren?, 14p.
https://www.onderzoekplatformduurzamebemesting.be/Portals/76/Documents/Rijenbemesting_literatuurstudie_2018.pdf

Dieleman, P. (2015) Wordt druppelirrigatie een optie voor aardappelen? Management&Techniek 18, 16 oktober 2015, 20-21.

Effizient duengen. https://www.effizientduengen.de/kulturen_/hackfruechte/

Gao, X., Shaw, W.S., Tenuta, M. and Gibson, D. (2018). Yield and Nitrogen Use of Irrigated Processing Potato in Response to Placement, Timing and Source of Nitrogen Fertilizer in Manitoba. Am. J. Potato Res. 95, 513–525.

Goffart, J.-P., Olivier, M., Destain, J.-P., Lebrun, P. (2005). Bilan des recherches sur la fertilisation azotée en culture de pomme de terre de consommation. Proceedings in: Journée d'étude Pomme de terre, CRA-W, Gembloux, 23 novembre 2005, 56-69.

Goffart, J.P., Olivier, M. and Frankinet, M. (2011). Crop Nitrogen Status Assessment Tools in a Decision Support System for Nitrogen Fertilization Management of Potato Crops. HortTechnology, June 2011 21(3), 282-286.



Goffart, J.P., Abras, M., Ben Abadallah, F. (2013). Gestion de la fertilisation azotée des cultures de plein champ. Perspectives d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote sur base du suivi du statut azoté de la biomasse aérienne. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, Volume 17 (2013), numéro spécial 1, 221-230.

Handboek Bodem en Bemesting.

<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting.htm>

Hardy, Y. (2016). Kunstmestvervanger in de aardappelteelt. Masterproef Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen, KU Leuven. 112p.

Hofman G. (1983). Minerale stikstofevolutive in zandleemgronden. Thesis Aggregaat Hoger Onderwijs. Faculteit van de Landbouwwetenschappen, Universiteit Gent, Belgium, 183p.

Hofman G., Van Ruymbek M., Ossemerct C. & Ide G. (1981). Nieuwe tendenzen in het formuleren van bemestingsadviezen op basis van profielonderzoek. *Landbouwtijdschrift*, 34, 905-925.

Hu, Y., Schraml, M., von Tucher, S., Li, F. and Schmidhalter, U. (2014). Influence of nitrification inhibitors on yields of arable crops: A meta-analysis of recent studies in Germany. *International Journal of Plant Production* (2014) 8 (1), 33-50.

Inagro, PCA, BDB. Rijenbemesting in de aardappelteelt. Flyer ADLO-demoproject. 4p.

Janssens, P., Reynaert, S., Piccard, I., Pauly, K., Garré, S., Dumont, G., von Hebel, C., Van Der Kruk, J., Neumann Andersen, M., Manevski, K., Peng, J., Kørup, K., FASTERHOLT Maskinfabrik, Kamp, J., Booij J. 2020. Variable rate irrigation and nitrogen fertilisation in potato; engage the spatial variation (potential). 90 p.

Kooistra, L. (2011). Verificatie remote versus near sensing voor toepassingen in precisie landbouw Eindrapport PPL project 023. 27 p.

Kücke, M. (2001). Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Beiträge des Workshops am 29. November 2001 in Braunschweig, Sonderheft 245-Special Issue

Kuikman, P. Schils, R., van Beek, Ch., Velthof, G. (2010). Nitrificatieremmers in de Nederlandse landbouw, potentiële vermindering van lachgasemissie. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2016. 33p.

LCV (2019). Mais bijbemesten: zinvol, wat, wanneer?. 17p. - niet gepubliceerd

Rosique, P. " (2013). Subsurface drip irrigation, a proven innovative solution for field crop irrigation. *Les dossiers d'Agropolis International- Green technologies*, n° 16 - February 2013, 9.
<http://www.agropolis.org/pdf/chapiters-green-technologies/green-technologies-agriculture.pdf>



Liu, G., Zotarelli, L., Li, Y., Dinkins, D., Wang, Q. and Ozores-Hampton, M. (2017) Controlled-Release and Slow-Release Fertilizers as Nutrient Management Tools. HS1255, one of a series of the Horticultural Sciences Department, UF/IFAS Extension. 6p.

Longchamps, L. and Khosla, R. (2014), Early Detection of Nitrogen Variability in Maize Using Fluorescence. *Agronomy Journal*, 106: 511-518. doi:10.2134/agronj2013.0218

Maidl, F., Brunner, H., & Sticksel, E. (2002). Potato uptake and recovery of nitrogen ¹⁵N-enriched ammonium nitrate. *Geoderma*, **105**, 167-177.

Maier, J., Müller-Sämman, K., Hölscher, T., Bischoff, W-A. und Schwarz, A. (2011). Platzierung von Harnstoff-AmmoniumsulfatLösung bei Mais und Kartoffel am Oberrhein. Endbericht zum Projekt Nr. 2008-2. Neue Wege der Stickstoffdüngung bei Mais und Kartoffel – mehr Effizienz für Landwirtschaft und Umwelt mit dem CULTAN-Verfahren. 131p.

Misra, A.N., Misra, M. and Singh R. (2012). Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. *Biophysics Chapter*: 7, 10.5772/35111.

Nkebiwe P.M., Weinmann M., Bar-Tal A., Müller T. (2016). Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield; A review and meta-analysis. *Field Crops Research*, 389-401.

Odeurs W., Bries J., Latré J., Cauffman D., Vrancken K., Verheyen J., Van de Ven G. (2014a). Maïs bemesten: oude principes, nieuwe technieken. Landbouwcentrum voor Voedergewassen, 13 p.

Paauw J. (2001). Druppelirrigatie en fertigatie in Bintje consumptie-aardappelen. *PPO-Bulletin Akkerbouw* (2001-1), 5-6.

PCA <https://www.pcainfo.be/fr-fr/Kenniscentrum/Teelttechniek/category/teelttechniek/geen-aardappelen-zonder-water-3>

PCG. 2019. Irrigatiegids Werktuigdagen Oudenaarde, 21-22 september 2019, 20p.

Postma, R., van Schöll, L., Russchen, H.J., de Boer, H., Dogterom, J. en van Erp, P.J. (2012). Naar een duurzaam bodem- en nutriëntenbeheer in de akkerbouw. Projectnummer 1442.N.11. Uitgave van Nutriënten Management Instituut NMI BV, Wageningen, 27 april 2012, 80p.

Ros, G.H., Bussink, D.W. (2012). Ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijmesten van gewassen. Toepassingsmogelijkheden van gewassensoren in de Nederlandse precisielandbouw: een literatuurstudie. rapport 1454.N.11. 72p.

"Science for Environment Policy": European Commission DG Environment News Alert Service. Nitrification inhibitors — climate change mitigation tool recommended by the IPCC – may be less effective than previously thought. Issue 477, 18 November 2016.



van Geel, W. (2015). Advisering rijenbemesting bij aardappel en zaaiui; Notitie voor het Handboek Bodem en Bemesting. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving/ Plant Research International, Wageningen, PPO-rapport 667, 26 p.

Vandendriessche, H., Coussement, T., Elsen, A. and Bries, J. (2015). Effect of nitrification inhibitors in cattle slurry on nitrogen uptake efficiency and yield of silage maize. Poster presented at the BASF Symposium 2015 on Nitrification Inhibitor usage in Organic and Mineral Fertilizers.

Vanrespaille H., Bries J., Elsen A. (2019) Effecten van stikstofbladmeststoffen in de aardappelteelt. Project uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België vzw, Pibo campus vzw en Land- en tuinbouwcentrum Waasland in opdracht van Landbouwcentrum aardappelen - PCA. Eindrapport proefveldjaren 2016-2018, 14/01/2019. 25 p.

Vermeulen, B., Huijsmans, J. en Meuffels, G. (2013). Precisieplaatsing van drijfmest en grondbewerking in maïs. Rapport 510 Plant Research International, Wageningen UR, 34 p.

VLM. (2018). Statistische analyse nitraatresidu-Eindrapport 20.07.2018
https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Statistische_analyse_nitraatresidu.pdf

Vos J. (1999). Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget. *Journal of Agricultural Science* 133,263-271.

Vos, J., en Bom, M. (1993). Hand-held chlorophyll meter: A promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. *Potato Res.* 36: 301–308.

Weimar, S. (2001) Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. Aus: Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. (Martin Kücke) Beiträge des Workshops am 29. November 2001 in Braunschweig, Landbauforschung Voelkenrode Sonderheft 245-Special Issue, 23-44

Wu, D., Xu, X., Chen, Y., Shao, H., Sokolowski, E. and Mi, G. (2019). Effect of different drip fertigation methods on maize yield, nutrient and water productivity in two- soils in Northeast China. *Agricultural Water Management.* 2013: 200-211.

Zhou, B., Sun, X., Ding, Z., Ma, W. and Zhao, M. (2017). Multisplit Nitrogen Application via Drip Irrigation Improves Maize Grain Yield and Nitrogen Use Efficiency. *Crop Science* 57 (2017): 1687–1703.



LUIK 3: INNOVATIE

15.

LUIK 3: BESCHRIJVING VAN DE INNOVATIES

De innovaties werden verdeeld in 3 categorieën en per categorie werden een aantal algemeen beschreven innovatie(thema's) naar voor geschoven en beoordeeld door de deelnemers aan de enquête. Bij het invullen van de enquête werd een korte omschrijving van ieder innovatiethema gegeven. Hieronder worden de categorieën van de innovatiethema's en hun omschrijving gegeven.

1 Categorie GEWAS

a Alternatieve (grondgebonden) teeltsystemen

Het huidige teeltsysteem wordt veranderd en aangepast naar een systeem waarbij niet meer een aantal hoofdgewassen centraal staan, maar het systeem of de rotatie centraal staat en waarbij het hoofdgewas slechts een product van het systeem wordt. Dit kan heel beperkt of heel verregaand zijn.

Bedenkingen:

- In de economische realiteit is dit niet altijd haalbaar.
- De meest gekende voorbeelden zijn vlinderbloemigen/graaan, vlinderbloemigen/gras en onderzaai gras in maïs. Deze zijn laagdrempelig in vergelijking met het systeem volledig veranderen. Toch geven ze dikwijls grote praktische knelpunten.
- Agroforestry behoort hier ook toe, maar is niet laag-drempelig.

b Eiwittransitie en vlinderbloemigen

Momenteel doen zich verschuivingen voor in het eetpatroon van de consument. Op wereldvlak neemt de consumptie van dierlijke producten toe, maar op lokaal vlak daalt de consumptie ervan. Het is niet zeker hoe dit zal uitdraaien voor de West-Europese landbouw, maar de vraag naar plantaardige eiwitproducten stijgt. Indien deze voor een stuk kan ingevuld worden door stikstof-fixerende gewassen, wordt niet alleen meer stikstof gerecycleerd in het systeem, maar is er ook minder noodzaak voor de productie van kunstmest, hetgeen veel fossiele brandstof verbruikt.

c Alternatieve gewassen

Meer inzetten op nieuwe gewassen die bij een veranderend klimaat goede opbrengsten blijven halen of weinig nutriënten nodig hebben voor een goede groei of die biomassa kunnen aanleveren voor de bio-economie en dus hernieuwbaar zijn.

Enkele voorbeelden van alternatieve gewassen zijn:

- Korte-omloophout: energie, geen bemesting nodig
- Miscanthus: energie en vezel, geen bemesting nodig
- Vlas: vezel, lage stikstofbehoefte
- Cichorei: inuline, lage stikstofbehoefte

////////////////////////////////////
//

- Hennep: vezel, beperkte bemesting
- Sorghum: (graan) en voeder, minder droogtegevoelig, optimum stikstof lager dan bij maïs
- Zonnekroon: energie, lage bemesting
- Goudsbloem: grondstof, lage stikstofbehoefte
- (Quinoa, Paardenbloem, bataat e.a.)

Bedenkingen:

- Bij grondstoffen, vezel en energiegewassen: In welke mate is dit duurzaam? Steek je er niet meer energie in dan in de fossiele of andere grondstoffen?
- De keten geraakt niet georganiseerd als het product een afzet buiten het bedrijf vraagt.
- Competitie met voedselgewassen?

d Alternatieve rassen

Selectiecriteria opnemen bij de veredeling van landbouwgewassen die onrechtstreeks zorgen voor verminderde nutriëntenverliezen. Dit kan volgens 3 strategieën:

- Huidige gewassen van de gematigde streken beter wapenen tegen extreme weersomstandigheden zodat de gewassen toch een groot deel van hun opbrengstpotentieel halen in extreme jaren/seizoenen. Dit kan mogelijk wel betekenen dat het opbrengstpotentieel (of de kwaliteit) lager ligt. Bv. Veredelingsprogramma's met droogteproeven in festulolium en lolium grassen
- Gewassen uit andere klimaatzones die beter kunnen omgaan met de klimaatverandering veredelen zodat ze ook hier kunnen geteeld worden. Bv. Sorghum kan goed om met droogte in de zomer, maar dit komt momenteel niet altijd tot uiting in de rassen die in de gematigde streken worden geteeld. Er is echter nog veel verdelingspotentieel.
- Bestaande gewassen veredelen zodat ze efficiënter met voedingsstoffen omgaan. Zodoende zijn er minder meststoffen nodig en is er dus minder 'overschot' dat uit het systeem kan verloren gaan. Bv. In granen kunnen selectiejaren op arme gronden en vette gronden elkaar afwisselen om het genetisch materiaal te kiezen dat het ook goed doet in arme gronden.

Bedenkingen:

- Veredelaars hebben niet altijd voordeel om te selecteren voor deze eigenschappen. Bv. een ras met hoge opbrengsten is commercieel aantrekkelijker dan een ras met hittestolerantie (alleen zichtbaar bij een hittegolf).
- Veredeling duurt lang en mogelijkheden zijn eindig. Hoe ver geraken we hier mee? Hoeveel marge is er? Hoeveel opbrengst mag er opgegeven worden om robuustere rassen te bekomen?
- Veredelen is in feite vooral selecteren voor de juiste eigenschap. Dit heeft een negatief effect op de genetische diversiteit. Omdat de omgevingsfactoren ook veranderen en het veredelen in een bepaalde omgeving gebeurt, gaan de planten die het best om kunnen met deze veranderende omgeving het best naar voor komen. Ten minste de beste planten binnen een pool van niet 'weggegooid' genetica. In welke mate kunnen we of wordt er nu teruggegrepen naar oude genetische diversiteit van species?



2 Categorie BODEM en WATER

a Precisielandbouw

Door precisielandbouw wordt de bemesting niet alleen juister toegediend, het gewas en de bodem kunnen ook beter gemonitord worden, met een beter aangepaste dosis tot gevolg. Dit kan leiden tot het reduceren van overbemesting of tot een meer optimale bemesting afhankelijk van de heel precies bepaalde omgevingsomstandigheden. Mogelijkheden zijn o.a. variabele bemesting en bekalking, rijenbemesting en fertigatie, gewas en bodemmonitoring door gebruik van drones, satellietbeelden, bodemscans en gewassensoren.

Bedenkingen:

- Overlap van bemesting en lichte overbemesting om fouten en variatie op te vangen is veel minder nodig. Hier zit een quick-win. Toch moet bedacht worden dat dan vooral kunstmeststrooiers nog beter zullen moeten afgesteld worden.
- Deze bemestingen zijn gebaseerd op modellen. Als een minderopbrengst gerelateerd is aan een factor die niet in het model zit, zal hiermee geen rekening worden gehouden.
- Het is vreemd dat de vraag 'bemest je meer op de beste stukken op een perceel of bemest je meer op de slechtere stukken van een perceel' eigenlijk nog niet beantwoord is. Mogelijk is er zelfs een ander antwoord vanuit economische, landbouwkundige of milieukundige hoek.

b Waterbeheersing

Waterbeheersing omvat irrigatiesturing, subirrigatie en peilgestuurde drainage. Irrigatie kan op twee manieren opgevat worden:

- Irrigeren om hogere opbrengsten te halen (met zelfde bemesting?) in sommige teelten;
- Irrigeren op cruciale momenten om een gewas dat door droogte opbrengstderiving zou kunnen vertonen, te helpen de droogteperiode door te komen en zo een overschot aan niet opgenomen voedingsstoffen te voorkomen.

Bedenkingen:

- Men kan aannemen dat de teelten waar irrigatie rendabel is of wordt, ook deels de teelten zijn die meer bemest worden. Irrigatie is vooral gewenst op lichtere zandgronden die gevoeliger zijn voor uitspoeling.
- Vlaanderen heeft weinig tot geen watervoorraden. Indien zware investeringen worden gedaan om hemelwaterreserves aan te leggen, is het niet zeker dat de landbouw hier op een rendabele manier gebruik van kan maken (zelf opslag op het bedrijf) of dat de landbouw wel de eerste afnemer van dit water moet zijn (opslag op regionaal niveau).
- Combinatie droge bemeste bodems + irrigatie = meer kans op uitspoeling nutriënten?

c Hydrocultuur en containerteelten

Wanneer een teelt volledig op hydrocultuur of containerteelt buiten kan gebeuren, heeft men de circulatie van nutriënten in de hand en kan men de nutriëntenverliezen beperken tot een minimum.

Bedenkingen

- Kan voor heel veel teelten en de kwaliteit is dikwijls hoog. Prei werd recent onderzocht. Werkt goed, grootste knelpunt is de investering. Bij prei in vollegrond is er dikwijls veel nitraatresidu,



hydrocultuur biedt een oplossing. Prei op hydrocultuur helpt ook tegen erosie en bodemverdichting. Bovendien is er geen verwarming nodig. Het kan buiten.

- Aversie van de consument.
- Veel extra kennis nodig? Zware investeringen?
- Indien substraat nodig, hoe hernieuwbaar? (bv. veen)
- Is goed systeem voor koude kassen en in open lucht. Wat met verwarmde kassen? Of is dit verantwoord indien de kassen bv. worden verwarmd met hernieuwbare energie?
- Even verantwoord voor ieder gewas?
- Hoe zit het met broeikasgasverliezen uit voedingswater (N₂O)?

d Bodemkwaliteit en biostimulantia

Bodemkwaliteit is een moeilijk te beschrijven begrip, maar het is duidelijk dat organische stof in de bodem en bodem-pH belangrijke parameters zijn die invloed hebben op de bodemkwaliteit en het gewas. Een gewas dat groeit in betere bodemkwaliteitsomstandigheden is beter gewapend tegen extreme weersomstandigheden en zal minder opbrengstdervingen hebben dan een gewas dat groeit in slechtere bodemkwaliteitsomstandigheden. Bovendien heeft een gewas dat groeit in een bodem van hogere kwaliteit minder meststoffen nodig dan in een bodem van slechte kwaliteit.

Biostimulantia kunnen helpen om de plant gezonder te houden en helpen bij de opname van voedingsstoffen. Dit leidt tot een efficiënter gebruik van voedingsstoffen.

Bedenkingen:

- Het totaalconcept van de bedrijfsvoering moet hierbij veranderen. De vruchtafwisseling moet afgestemd worden op een maximaal inpassen van granen en groenbedekkers, het verlagen van de kans op bodemverdichting (heel moeilijk bij heel wat groenteteelten, mogelijkheden met vaste rijpaden of robotisering?) en het inpassen van wisselbouw waar mogelijk op akkerland (wat met gras zonder koeien?).
- Er wordt momenteel veel onderzoek gedaan naar biostimulantia. In veel labo's en potproeven worden kleine successen geboekt, maar de transitie naar het veld is momenteel nog erg moeilijk. Is dit een haalbare stap? Is er nog veel onderzoek nodig?

e Nutriënten tijdelijk immobiliseren

Het vastleggen van nutriënten zodat ze niet verloren gaan in periodes dat ze niet worden opgenomen door het gewas. Dit kan op verschillende manieren:

- De bodem bedekken met levende vanggewassen zodat nutriënten niet uitspoelen of eroderen;
- Organisch materiaal inwerken met hoge C/N verhouding zodat minerale N wordt opgenomen in de organische stof;
- Maximaal afvoeren van stikstofrijke en snel afbreekbare oogstresten en deze verwerken tot compost om vervolgens opnieuw aan te wenden;
- Inwerken van mineralen of (veilige) restproducten waarmee fosfaat wordt vastgelegd;
- Filters aan het uiteinde van de drainage installeren.

Bedenkingen:



- Er wordt nu al maximaal ingezet op het telen van vanggewassen. Toch blijven veel percelen kaal tijdens de winter omdat het zaaïen van het vanggewas niet meer kan. Een andere hoofdteelt zou oplossingen kunnen bieden, maar deze teelten zijn dan gewoonlijk minder rendabel.
- Afvoeren van oogstresten kost veel energie en bovendien zijn de oogstresten vaak bevuild met bodem. Dit hypothekeert bv. het gebruik in vergisting. Er is misschien wel mogelijkheid met het gebruik van aangepaste oogstmachines.
- Inwerken van mineralen in de bouwvoor die P fixeren. Deze leggen P vast voor een lange periode, hetgeen ongewenst is.

3 Categorie INFRASTRUCTUUR, DIER(VOEDING) en PROCESSEN

Vanuit stallen, mestopslag, silo's, afval en composthopen zijn er stikstofemissies naar de lucht mogelijk, alsook puntuitspoelingen. Zijn hier mogelijkheden om verdere verliezen te beperken?

Kan nog aan diervoeding worden gesleuteld om minder nutriëntenverliezen in de hand te werken?

In de mestverwerking en de verwerking van andere organische reststromen wordt momenteel gezocht om organische stof en fosfor zoveel mogelijk te scheiden en wordt tevens gezocht naar systemen waarbij stikstof gerecupereerd wordt in plaats van dat het als stikstofgas de lucht in gaat. Vermoedelijk kunnen hier nog stappen vooruit worden gemaakt.

Bedenkingen:

- Zijn er voldoende mogelijkheden om deze emissies aan te pakken?
- Mogelijks zullen zo'n aangepaste processen enkel mogelijk zijn in grote geïndustrialiseerde bedrijven. Aversie van de maatschappij/consument?

16.

LUIK 3: WORKSHOP

De workshop voor luik 3-innovatie werd op dezelfde manier georganiseerd als deze voor de Luik 1 - MAP-bepalingen en bestond uit:

- Een algemene presentatie over het klimaat en de gevolgen voor landbouwpraktijken;
- Een online vragenlijst;
- Een online rondetafelgesprek per categorie van Innovaties (5 groepsdiscussies).

16.1 Vragenlijst

16.1.1 Aanpak

Per innovatiethema werden 3 vragen gesteld:

- Welk potentieel heeft de innovatie in het tegengaan van nutriëntenverliezen in het veranderend klimaat?
- Welk effect heeft de techniek in het tegengaan van broeikasgasemissie vanuit de landbouw?
- Wat is de praktische uitvoerbaarheid en relevantie van de techniek in Vlaamse omstandigheden?

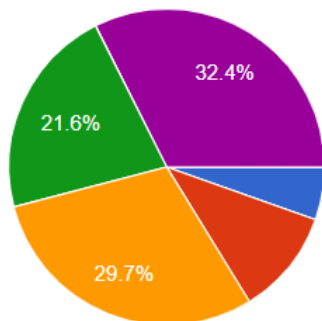
De deelnemers aan de enquête (experten genoemd) konden per vraag een score opgeven van 0 tot 3 opgeven. Per innovatiethema werd tevens gevraagd om te beschrijven waarom de scores op bovenstaande vragen werden gekozen. Ten slotte werd nog gevraagd welke andere innovaties nog interessant zouden zijn om mee op te nemen in de studie.



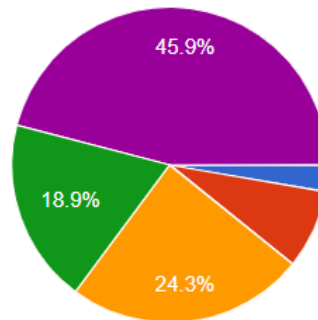
16.1.2 Resultaten

De scores per vraag en innovatiethema werden samengevat in taartdiagrammen. Deze worden hieronder per vraag besproken. Er werd telkens per innovatiethema ook om verantwoording of toelichting gevraagd, waarom deze scores werden verkozen. Deze toelichtingen waren erg informatief en worden in deze sectie eveneens per innovatiethema samengevat.

Figuur 88 geeft een samenvatting van de scores die werden toegewezen aan de innovatiethema's op de vraag 'Welk potentieel heeft de innovatie in het tegengaan van nutriëntenverliezen in het veranderend klimaat?'. Het is opvallend dat voor 6 van de 10 thema's ongeveer 1/3 van de experts antwoordde 'ik weet het niet' omwille van onvoldoende expertise over dit thema. Dit geeft aan dat de verdeling van expertise onder de deelnemers van de enquête vrij evenwichtig was. Bij de thema's 'alternatieve rassen', 'hydrocultuur en containerteelten' en vooral 'infrastructuur, dier(voeding) en processen' was er duidelijk minder expertise. Ondanks het feit dat heel wat deelnemers geen achtergrond hebben in precisielandbouw, gaf slechts een kleine fractie 'ik weet het niet' als antwoord aan bij dit thema. Precisielandbouw springt er als innovatiethema sterk uit en wordt veel positief potentieel toebedeeld om nutriëntenverliezen te beperken. Bij de andere innovatiethema's is er een redelijk evenwichtige score gegeven tussen 2 en 3, wat aangeeft dat de meeste experts er wel potentieel in zien om nutriëntenverliezen te beperken. Dit is echter zeer afhankelijk van hoe de expert het desbetreffende thema interpreteert en moet daarom samen bekeken worden met de bijhorende toelichting door de expert. Deze wordt verder besproken.

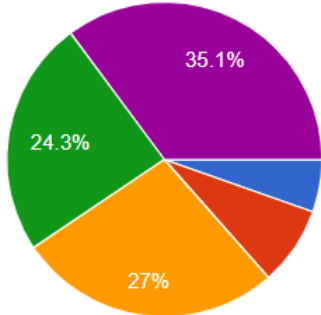


Alternatieve gewassen

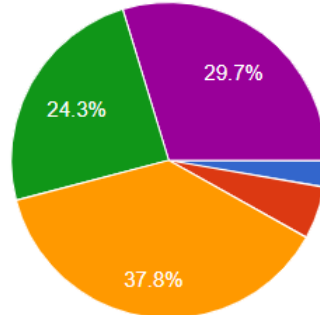


Alternatieve rassen

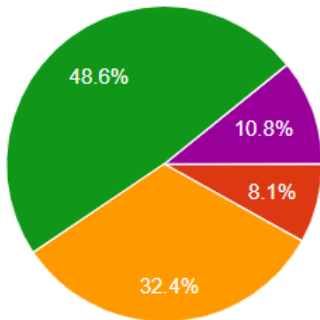




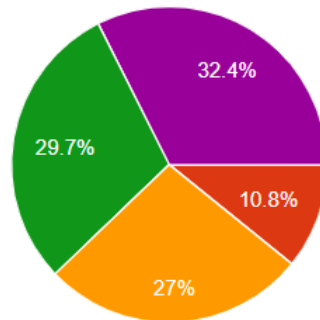
Alternatieve (grondgebonden) teeltsystemen



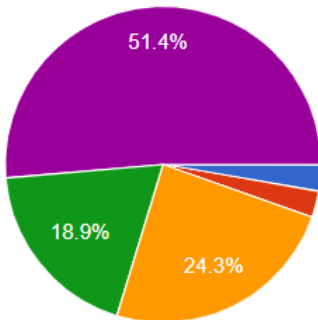
Eiwittransitie en vlinderbloemigen



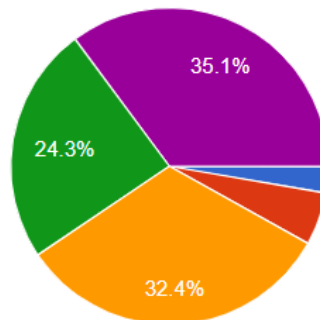
Precisielandbouw



Waterbeheersing

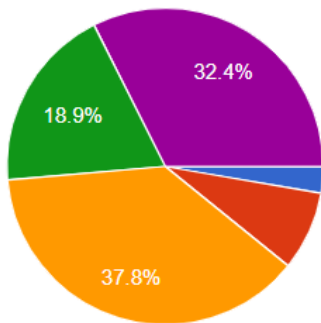


Hydrocultuur en containerteelten

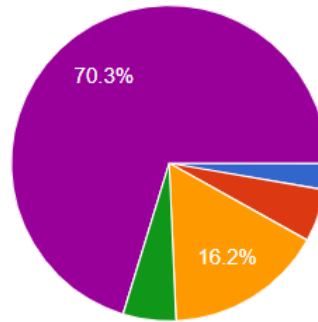


Bodemkwaliteit en biostimulantia





Nutriënten (tijdelijk) immobiliseren



Infrastructuur, dier(voeding) en processen

Legende:

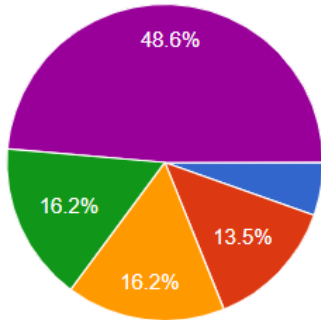
- 0: geen potentieel
- 1: weinig positief potentieel
- 2: matig positief effect
- 3: veel positief potentieel
- ik weet het niet

Figuur 88: Verdeling van de scores die werden gegeven op de vraag ‘Welk potentieel heeft de innovatie in het tegengaan van nutriëntenverliezen in het veranderend klimaat?’ (n=37)

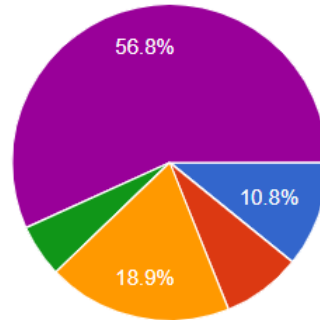
In Figuur 89 wordt de verdeling van de scores weergegeven voor de vraag ‘Welk effect heeft de techniek in het tegengaan van broeikasgasemissie vanuit de landbouw?’. Het aandeel experten dat ‘ik weet het niet’ aanduidde is groter. Ook op basis van de gevraagde onderbouwing van de keuze van de scores komt naar voor dat de experten aangeven dat ze moeilijk een gegronde inschatting kunnen maken van het effect op broeikasgassen. Regelmatig werd aangegeven dat men duidelijk inziet op welke processen van broeikasgasemissie een bepaalde innovatie kan effect hebben, maar niet wat het totale plaatje is. Om een eenvoudig voorbeeld te geven: Het telen van vlinderbloemigen als lokaal veevoeder ter vervanging van geïmporteerd sojaschroot betekent dat er minder nood is aan kunstmest. Kunstmestproductie vergt enorme hoeveelheden energie en dus veroorzaakt dus broeikasgasuitstoot. Ook overzees transport van soja vraagt veel energie. Het is echter niet duidelijk of lokaal eiwit wel efficiënt is in productie en lokaal transport en of het onderwerken van gewasresten van vlinderbloemigen niet leidt tot meer emissies van lachgas in vergelijking met andere teelten. Er is onder de experten een duidelijke vraag aanwezig om steeds het gehele plaatje te bekijken van een innovatie. Eventueel kunnen LCA (Levenscyclusanalyses) hierbij gehanteerd worden.

De innovatiethema’s ‘eiwittransitie en vlinderbloemigen’ en opnieuw ‘precisielandbouw’ worden duidelijk aangeduid als innovaties met veel potentieel om nutriëntenverliezen te beperken, met eerder positieve invloed op het beperken van broeikasgasemissies. Van de thema’s ‘hydrocultuur en containerteelten’ en ‘infrastructuur, dier(voeding) en processen’ komt duidelijk tot uiting dat de kennis onder de experten erg beperkt was aangaande het effect op broeikasgassen.

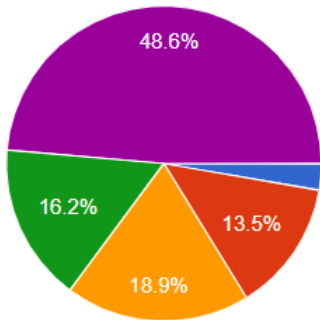




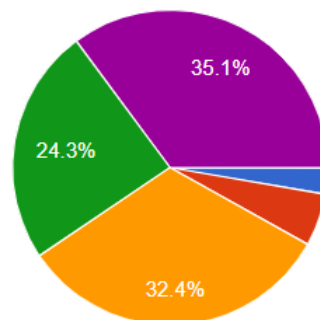
Alternatieve gewassen



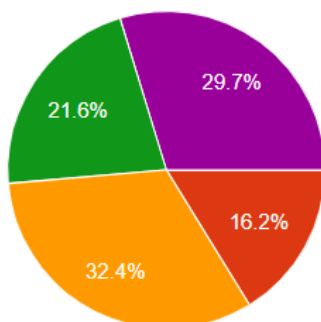
Alternatieve rassen



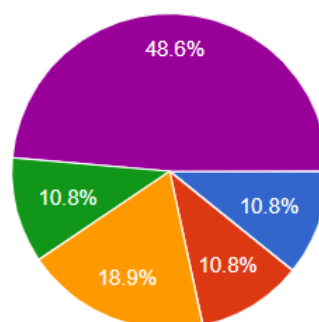
Alternatieve (grondgebonden) teeltsystemen



Eiwittransitie en vlinderbloemigen

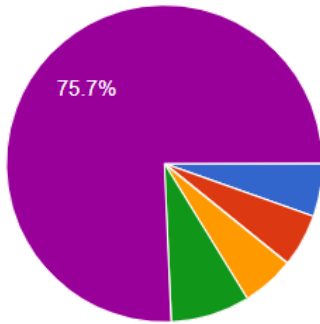


Precisielandbouw

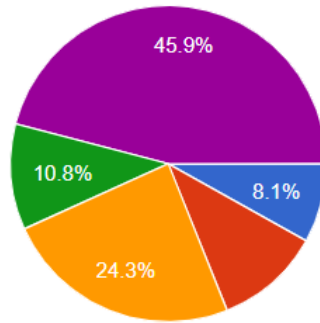


Waterbeheersing

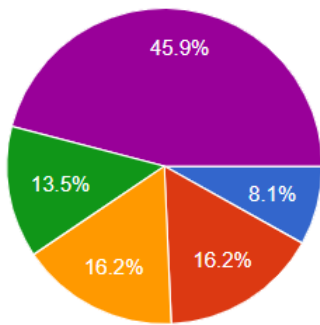




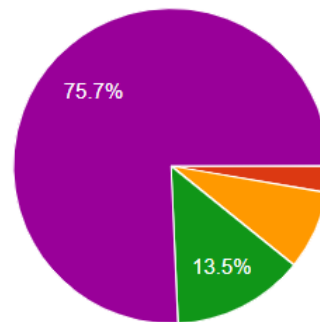
Hydrocultuur en containerteelten



Bodemkwaliteit en biostimulantia



Nutriënten (tijdelijk) immobiliseren



Infrastructuur, dier(voeding) en processen

Legende:

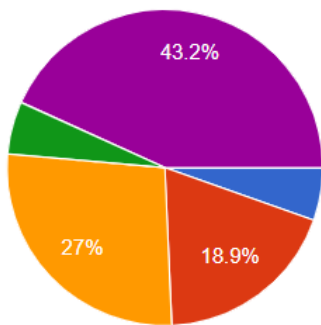
- 0: geen positief effect
- 1: weinig positief effect
- 2: matig positief effect
- 3: veel positief effect
- ik weet het niet

Figuur 89: Verdeling van de scores die werden gegeven op de vraag 'Welk effect heeft de techniek in het tegengaan van broeikasgasemissie vanuit de landbouw?' (n=37)

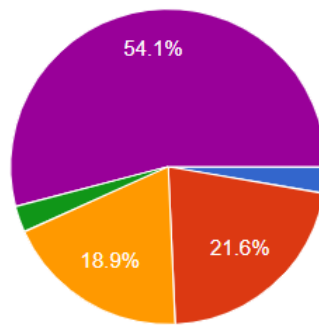
In Figuur 90 wordt een overzicht gegeven van de scores die werden gegeven door de experts op de vraag 'Wat is de praktische uitvoerbaarheid en relevantie van de techniek in Vlaamse omstandigheden?'. Antwoorden bleken hier wel sterk afhankelijk van het innovatiethema. Het aandeel experts dat antwoordde 'ik weet het niet' was opnieuw vrij hoog (40-50%) voor de meeste thema's of zelfs erg hoog (hydroteelten en containerteelten, infrastructuur, dier(voeding) en processen). Opnieuw kwam precisielandbouw sterk naar voor als toepasbaar binnen de 5 jaar. Van deze innovatie wordt dus duidelijk veel verwacht op korte termijn. Waterbeheersing en nutriënten (tijdelijk) immobiliseren scoorden bij ongeveer een kwart van de experts als



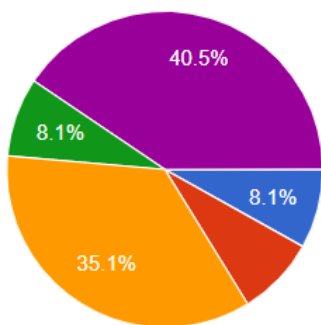
'onmiddellijk toepasbaar'. Ook hier ziet men dus snel mogelijkheden. Voor de alternatieve rassen en gewassen ziet men mogelijkheden op iets langere termijn.



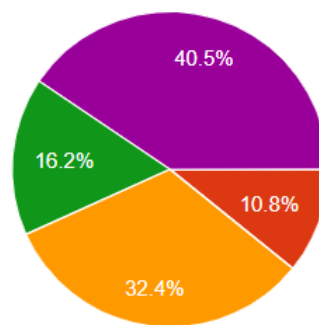
Alternatieve gewassen



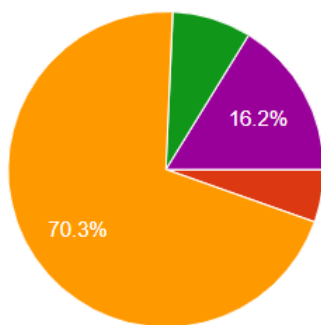
Alternatieve rassen



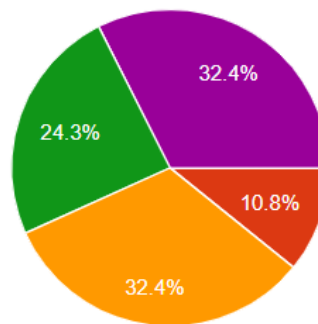
Alternatieve (grondgebonden) teeltsystemen



Eiwittransitie en vlinderbloemigen

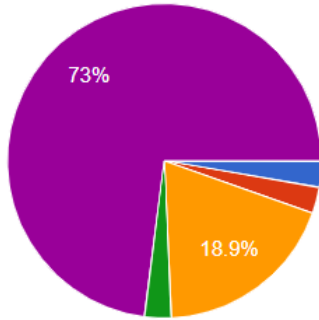


Precisielandbouw

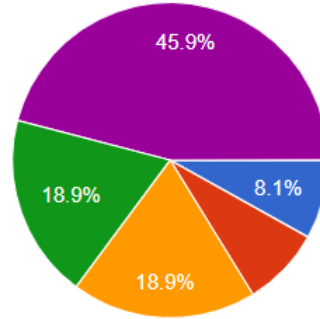


Waterbeheersing

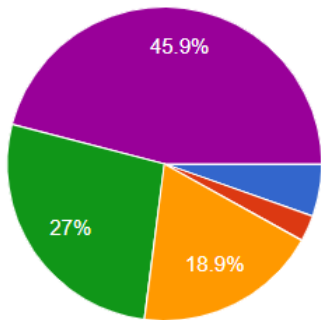




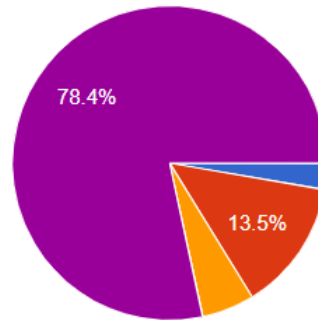
Hydrocultuur en containerteelten



Bodemkwaliteit en biostimulantia



Nutriënten (tijdelijk) immobiliseren



Infrastructuur, dier(voeding) en processen

Legende:

- 0: niet uitvoerbaar/relevant
- 1: enkel uitvoerbaar op lange termijn
- 2: uitvoerbaar op korte termijn (<5j) mits...
- 3: onmiddellijk uitvoerbaar
- ik weet het niet

Figuur 90: Verdeling van de scores die werden gegeven op de vraag 'Wat is de praktische uitvoerbaarheid en relevantie van de techniek in Vlaamse omstandigheden?' (n=37)

Er dient op gewezen te worden dat de bovenstaande scores slechts een indicatie zijn van wat de aangeschreven experts inschatten. De meeste deelnemers zijn slechts expert in 1 of enkele thema's. Bovendien interpreteert niet elke expert de verschillende thema's op dezelfde manier. Daarom volgt hieronder een samenvatting van de onderbouwing die de experts gaven bij hun keuze. We kiezen er bewust voor om een samenvatting te geven, omdat sommige antwoorden eenzelfde redenering omschrijven. Er moet ook opgemerkt worden dat de experts het niet altijd eens zijn met elkaar. Deze samenvatting kan dus niet geïnterpreteerd worden als de



meest wetenschappelijk correcte onderbouwing. Regelmatig werden ook vragen geponeerd omdat de expert in kwestie over bepaalde onderdelen geen kennis had, of omdat dit nooit eerder werd onderzocht. De samenvatting wordt per innovatiethema weergegeven.

– Alternatieve gewassen

Van veel van de voorgestelde gewassen is op dit moment nog onvoldoende geweten. Verder onderzoek naar teelttechniek en bemesting is noodzakelijk. Verder is de afzet van deze gewassen dikwijls een niche en problematisch. Er staat geen verwerkende keten klaar, of mogelijke afnemers vragen hoeveelheden die onmogelijk kunnen geleverd worden. Hierdoor komen deze teelten niet op gang. Een deel van deze teelten zijn ook nog onvoldoende aangepast voor onze contreien, veredeling is nodig. Het werd ook meermaals opgemerkt dat teelten soms aantrekkelijk zijn omdat ze in theorie bv. om kunnen met droogte of andere weerfenomenen, maar dat ze het in praktijk toch slechter doen dan de huidig geteelde gewassen. Er werd ook aangehaald dat het principe van andere teelten niet als innovatie moet bekeken worden. Een veranderend klimaat zal immers automatisch zorgen voor andere teeltkeuzes.

– Alternatieve rassen

De algemene tendens in de antwoorden was dat de veredeling meer en meer rekening zal moeten houden met selectiecriteria die een antwoord bieden op de klimaatsverandering, in plaats van louter te veredelen voor de opbrengst. Er werd gesuggereerd om terug te grijpen naar de oude genetische variatie en op zoek te gaan naar geschikte interessante eigenschappen, zoals een efficiëntere opname van stikstof. Ook werden een aantal concrete suggesties gedaan: toelaten van GMO's omdat zo voor sommige gewassen een duidelijke tijds winst in het veredelingsproces kan gemaakt worden, kiezen van stabielere rassen ook al kost dit opbrengst, het toevoegen van extra klimaatgerelateerde criteria in de officiële nationale rassenproeven. Er werd wel meermaals (terecht) aangegeven dat ook de veredeling in een veranderend klimaat gebeurt. Omgevingsfactoren bepalen dus automatisch mee de selectie en de resultaten van de nationale rassenproeven. Ook worden veredelingsprogramma's uitgevoerd vanuit de basisredenering dat men selecteert voor rassen die binnen 10 jaar en meer aan de toekomstige omgeving- en productiefactoren zullen moeten voldoen. Dit betekent dat in belangrijke mate al rekening wordt gehouden met een veranderend klimaat.

– Alternatieve (grondgebonden) systemen

Veel van de experts geven aan dat het huidige landbouwsysteem onder druk staat en alternatieven moeten bekeken worden. Er worden vanuit de experts echter weinig of geen suggesties van alternatieven gedaan. Systemen zoals agroforestry worden door sommigen voorgesteld als een mogelijkheid waar eerst nog verder onderzoek nodig is en door anderen als systemen die slechts beperkt toepasbaar zijn in een niche van het areaal. Er zijn nog veel kennisvragen en ook de uitvoerbaarheid wordt in twijfel getrokken door een aantal experts. Er was veel tegenkanting tegen maaimeststoffen. De vrees is dat dit veel transport in de hand werkt (broeikasgassen) en slechts een herverdeling van nutriënten teweegbrengt. Er werd ook meermaals aangehaald dat men eerst de onderzoeksvraag verder moet uitspitten of teelten best gescheiden gehouden worden of best gecombineerd worden en in welke mate er een echt voordeel is in de praktijk van het ene of het andere systeem. Mengteelten van granen/gras met vlinderbloemigen en onderzaai gras in maïs werd aangehaald als mogelijkheid,



maar met de kanttekening dat deze systemen ook tegen grenzen aanbotsen, zoals bv. onderlinge concurrentie en onkruidbestrijding.

– Eiwittransitie en vlinderbloemigen

De meeste experts hebben veel verwachtingen van vlinderbloemige gewassen, omdat sterk op kunstmest kan bespaard worden. Door deze besparing, bespaart men op energie voor de productie ervan (minder broeikasgassen) en verlaagt men ook de kans op emissie en uitspoelingsverliezen. Deze teelten zijn wel minder bekend bij landbouwers omdat ze in het verleden verdwenen zijn (bv. klavers, veldbonen...) of omdat ze niet eerder in Vlaanderen werden geteeld (bv. soja). Er werd wel aangegeven dat er nog duidelijke economische en praktische knelpunten zijn die het overschakelen naar deze teelten moeilijk maken. Er werd ook meermaals aangehaald dat het consumptiepatroon verandert van dierlijk naar plantaardig eiwit en dat de landbouwsector zal moeten volgen. Tevens werd aangegeven dat een kleinere veestapel leidt tot minder noodzaak aan voedergewassen en dat er dus meer areaal ter beschikking kan komen om deze plantaardige eiwitbronnen te produceren en/of men extensiever aan landbouw kan doen. Dit laatste is echter correct vanuit technisch aspect, maar economisch mogelijk wel minder rendabel. Dit is niet duidelijk.

– Precisielandbouw

De experts koesteren tevens veel verwachtingen van precisielandbouw. Volgens de experts is er vooral veel winst te boeken bij een correcte toepassing van mest (volgens nutriënteninhoud) en bemesting (geen overlap). Als nadeel wordt wel aangehaald dat een upgrade van het machinepark nodig is en de vraag komt naar voor of de winst opweegt tegen de extra kosten in een gebied met vele kleine percelen. Mogelijk zit hier de optie om loonwerkers in te schakelen. Het zal tevens een mentaliteitswijziging vragen. Landbouwers moeten kunnen omgaan met exact bemesten i.p.v. lichte overbemesting. Er werd ook de vrees aangehaald dat wanneer beslissingen overgelaten worden aan modellen, de landbouwer zijn/haar expertise op termijn zal verliezen. Belangrijke knelpunten blijken ook nog de groeimodellen en beslissingsmodellen te zijn. De techniek staat al heel ver, maar de modellen zullen toch nog heel wat beter moeten worden om de precisielandbouw maximaal te implementeren. Verder is er ook de opmerking dat modellen doordacht moeten ingezet worden, bv. een deel van het perceel met een lagere potentiële opbrengst moet niet meer bemest worden, maar er moet gezocht worden naar de oorzaak (bv. verdichting) en wat men hier kan aan doen.

– Waterbeheersing

Met de klimaatverandering worden meer en grotere periodes van droogte verwacht. De experts geven dan ook aan dat water belangrijker zal worden in de toekomst. Irrigatie zal vermoedelijk meer plaatsvinden, al geven de meeste experts ook aan dat er zo weinig water beschikbaar is in Vlaanderen dat irrigatie enkel gericht mogelijk zal zijn. Hiermee wordt een bepaald moment of een bepaalde teelt bedoeld. Een gerichte irrigatie in een droog jaar of een gemiddeld jaar kan respectievelijk een teelt redden, of een opbrengst doen verhogen met minder nutriëntenresidu's en verliezen tot gevolg. Toch zal irrigatie niet steeds kosteneffectief zijn. De irrigatie zal meestal moeten gebeuren met recuperatiewater of opgevangen regenwater. Grond- en oppervlaktewater zijn te weinig beschikbaar. Investerings in opslagbekkens is erg duur en niet altijd mogelijk. Peilgestuurde drainage werd ook aangehaald, maar slechts op een beperkt aantal percelen is er drainage aanwezig en is dit haalbaar.



Klimaatverandering zal ook leiden tot intensere regenbuien. Daarom wordt het belangrijker om op korte tijd veel water in de bodem te laten infiltreren in plaats van oppervlakkig te laten afspoelen langsheen hellingen. Dit kan door een betere bodembedekking, meer organische stof in de bodem en eventueel andere bodembewerkingstechnieken. Bodems met meer organische stof kunnen ook het water beter vasthouden, zodat droogteperiodes makkelijker overbrugd worden.

– Hydrocultuur en containerteelten

De experts geven aan dat deze teelttechniek mogelijkheden biedt om de volledige nutriëntencyclus in de hand te hebben en nutriënten te recupereren. Er worden echter tal van knelpunten aangehaald. Weegt het beperken van de nutriëntenverliezen op tegen extra energiekosten? Door meer voorkomende droogte zal veel water een te hoge natriumgehalte hebben voor gebruik in hydroteelt. Voor sommige teelten is er aversie van de consument. Voor veel teelten is er nog heel wat onderzoek nodig om de hydroteelt op punt te stellen. Voor serre- en containerteelten zal heel wat extra substraat nodig zijn. Kunnen we dit voldoende recyclen en kunnen we delfstoffen als veen vervangen? Indien er problemen zijn met een containerveld, kunnen puntverliezen ontstaan die misschien veel erger zijn dan de diffuse verliezen in volle grond. Voor hydroteelten zal ook op kunstmeststoffen moeten gesteund worden, waarvan de productie opnieuw energieverblindend is. Een centrale vraag die gesteld werd is wat het effect is op het landgebruik? Blijft dit een niche, met heel weinig effect op de totale productie? Komt er nog massaal veel extra verharding in het landschap bij of maakt de hoge productie op een beperkte oppervlakte het mogelijk om extensiever aan landbouw te doen in het resterende areaal? Deze laatste redenering is mogelijk wel foutief. Het is binnen de economische realiteit niet zo dat door meer te produceren in hydroteelten, de resterende velden automatische extensiever zullen beteeld worden.

– Bodemkwaliteit en biostimulantia

De biostimulantia worden door de experts als weinig zinvol beoordeeld. De werking van de preparaten in praktijkomstandigheden wordt sterk in vraag gesteld en men verwacht ook geen grote stappen in de toekomst. Het permanent werken wordt echter wel sterk naar voor geschoven als een middel om het teeltsysteem te verduurzamen en opbrengsten te garanderen zonder extra nutriëntenverliezen. Een gezondere bodem met meer bodemleven zorgt voor een gezonder gewas en een gewas dat ook beter gebufferd is tegen klimaatverandering. Opnieuw werd aangehaald dat meer organische stof in de bodem kan helpen om de bodem in goede conditie te houden. Kanttekening is wel dat meer organische stof aanbrengen via bemesten moeilijk is en dat daarom vooral moet ingezet worden op een doordachte vruchtafwisseling. Ook zal meer organische stof leiden tot meer mineralisatie. Hier moet rekening mee gehouden worden bij de bemesting.

– Nutriënten (tijdelijk) immobiliseren

De experts geven aan dat vanggewassen heel nuttig zijn om N vast te leggen en te laten overwinteren, maar dat momenteel de grenzen van de uitbreiding hiervan zijn bereikt (niet iedereen is het daarmee eens). Verdere uitbreiding zou niet mogelijk zijn omwille van hoofdteelten die te laat geoogst worden, maar tevens omwille van fytosanitaire redenen. Er werd reeds onderzoek uitgevoerd naar het afvoeren van gewasresten, maar dit wordt als praktisch onhaalbaar beschouwd. Composteren van gewasresten of ander organische afvalstromen kan tevens een goede techniek zijn om nutriënten tijdelijk vast te leggen en later terug aan te brengen, al worden wel vragen gesteld in welke mate er tijdens het



composteerproces grote N-emissies plaatsvinden. Het plaatsen van fosforfilters of denitrificatiefilters op drainages werd ook aangehaald, maar kan slechts op een beperkt aantal percelen. Een aantal experts gaven aan dat het bij immobilisatie belangrijk is om de nutriënten te recupereren. De vastlegging moet dus tijdelijk zijn om dit toe te laten. Ten slotte was er ook een opmerking dat nutriënten niet zozeer moeten geïmmobiliseerd worden (end-of-pipe oplossing), maar dat de bemesting moet aangepast worden (oplossing aan de bron).

– Infrastructuur, dier(voeding) en processen

In de enquête worden twee punten naar voor geschoven waar nog winsten zijn te boeken, namelijk het aanpakken aan de bron en mestverwerking. Met aanpakken aan de bron wordt het rantsoen van de dieren bedoeld. Met een verdere optimalisatie kunnen emissies nog naar beneden. Bij mestverwerking wordt meermaals aangeduid dat deze leidt tot het verwijderen van N uit de mest via N_2 , terwijl er ook zeer veel energie wordt verbruikt om N kunstmest te produceren uit N_2 . Dit zou beter moeten met een recuperatie van de N. Er blijkt ook te weinig kennis te zijn rond de lachgasemissies uit mestverwerking, terwijl deze vermoedelijk aanzienlijk zijn. Ook zijn er signalen dat de verblijftijden van de mest in de verwerking te kort zijn, waardoor effluenten nog steeds een te hoog aandeel N bevatten ten opzichte van wat men theoretisch aanneemt. Mestverwerking wordt ook door sommige experts aangehaald als een deel van het probleem en geen deel van de oplossing. Dankzij mestverwerking kan de veestapel verder toenemen en kunnen nutriëntenverliezen toenemen. Optimalisatie van mestopslag en stalsystemen kwam relatief weinig aan bod in de enquête onder innovaties, maar wel in de groepsdiscussie.

16.2 Groepsdiscussies

16.2.1 Aanpak

Oorspronkelijk was het de bedoeling om groepsdiscussies te organiseren per categorie van innovaties zoals bij luik 1, maar bij de categorie 2-bodem en water, vereisten de verschillende thema's heel andere expertise. Categorie 2 werd daarom in 3 groepsdiscussies verdeeld: groep 1-precisielandbouw en waterbeheersing, groep 2-hydrocultuur en containerteelten en groep 3-bodemkwaliteit, biostimulantia en nutriënten (tijdelijk) immobiliseren. Iedere discussiegroep werd samengesteld uit een moderator, een verslaggever, een vertegenwoordiger van VLM en 4 tot 6 experts in het vakgebied. De experts werden gekozen op basis van het invullen van de enquête en de thema's waar hij of zij het meeste expertise in had. Sommige experts namen aan meerdere groepsdiscussies deel. Er werd telkens gekozen voor onderzoekers om de discussie zo technisch mogelijk te houden. Beleids- en maatschappelijke discussies werden vermeden indien dat kon. Elke groepsdiscussie nam ongeveer één tot anderhalf uur in beslag en werd ingeleid door de moderator met enkele slides met algemene informatie over het onderwerp, gevolgd door een beperkte toelichting van de resultaten van de enquête voor deze specifieke innovatie. Daarna werd de discussie op gang getrokken door de moderator. Op basis van de enquête werden verschillende technieken in een lijst geplaatst en gepresenteerd. Deze technieken werden hier verder gespecificeerd dan het innovatiethema waar ze onder vallen. Techniek per techniek werd bediscussieerd op basis van 5 centrale vragen:



- Biedt de techniek veel potentieel om NO₃- en P-uitspoeling, -afspoeling en/of NH₃-emissies te reduceren bij een veranderend klimaat (meer hittegolven, droogte en hevige neerslag, hogere temperatuur en CO₂)?
- Worden de broeikasgasemissies (CO₂, CH₄ en N₂O) verlaagd of blijven ze gelijk?
- Is de techniek al voldoende onderzocht en/of is er literatuur beschikbaar?
- Is de techniek ractisch haalbaar vandaag of op korte termijn?
- Is de economische realiteit een hinderpaal?

Vooraf werd afgesproken dat een techniek enkel als positief kan beoordeeld worden als de eerste drie vragen positief zijn beantwoord. Meestal ging de discussie vanzelf door. Ondanks de moeilijke setting (skype-meeting) verliep dit zeer vlot. Bij het einde van iedere discussie werd getracht een consensus te bereiken over de innovaties die het meeste potentieel bieden om nutriëntenverliezen te beperken bij een veranderend klimaat. Per groepsdiscussie is een verslag in bijlage toegevoegd (Bijlage 5 – Bijlage 9).

16.2.2 Resultaten

Per groepsdiscussie worden hieronder de technieken opgesomd die werden bediscussieerd en het algemene besluit dat werd getrokken aan het einde van de groepsdiscussie. In de verslagen van de groepsdiscussies in bijlage 5-bijlage 9 wordt meer in detail toegelicht hoe de groep oordeelde per techniek.

- Categorie 1: GEWAS
 - ▶ Agroforestry (en contourlandbouw)
 - ▶ Maaimeeststoffen
 - ▶ Mengteelten
 - ▶ Teelten doorzaaien in vorige teelt
 - ▶ Onderzaai van een groenbedekker in hoofdteelt
 - ▶ Telen van rustgewassen in de rotatie
 - ▶ Plantaardige eiwitgewassen i.p.v. dierlijke eiwitten produceren
 - ▶ Zelf voedereiwit telen i.p.v. importeren
 - ▶ Telen van alternatieve gewassen met lage N-behoefte
 - ▶ Telen van alternatieve gewassen die beter gewapend zijn tegen klimaatsverandering
 - ▶ Telen van biomassa voor hernieuwbare energie
 - ▶ Veredeling tot rassen die efficiënter nutriënten benutten
 - ▶ Veredeling tot rassen die efficiënter nutriënten opnemen
 - ▶ Veredeling tot gewassen die stabielere opbrengsten geven bij klimaatsverandering en extremere weersomstandigheden

Besluit: Tijdens de discussie werd duidelijk dat uit de lijst van bovenstaande technieken weinig keuze valt te maken. We zullen moeten evolueren naar een robuuster teeltsysteem en deze technieken kunnen daar een onderdeel van zijn, maar het zijn de regio, de bodem, het weer en andere omgevingsomstandigheden die zullen bepalen welke technieken men kan hanteren of combineren. Een algemene keuze maken is vrijwel onmogelijk. Een robuuster teeltsysteem vereist immers een aanpassing van het huidige teeltsysteem, het constant veredelen van nieuwe rassen voor de nieuwe omgevingsomstandigheden en mogelijk kiezen voor alternatieve gewassen. Er moeten verder nog heel wat data geïnterpreteerd worden over de impact van de ‘extreme’ omstandigheden van de voorbije



jaren ten opzichte van de 'normale' omstandigheden, om de juiste keuzes te kunnen maken voor de toekomst.

Er werd wel door de hele groep aangenomen dat meer vlinderbloemigen zullen opgenomen worden in het teeltsysteem.

- Categorie 2: BODEM en WATER – groep 1: PRECISIELANDBOUW en WATERBEHEERSING
 - ▶ Taakkaarten op basis van bodemvariabiliteit voor variabele bemesting en bekalking
 - ▶ Vaste rijpaden
 - ▶ Enkel bijbemesting op basis van gewassensoren, dronebeelden of satellietbeelden
 - ▶ Betere afstelling van bestaande strooiers en eventueel andere machines, betere machines
 - ▶ Rijbemesting, bandbemesting, spaakwielbemesting
 - ▶ Peilgestuurde drainage
 - ▶ Druppelirrigatie inbouwen in de gevoeligste teelten of teelten met hoogste opbrengsten
 - ▶ Gerichte irrigatie op cruciale momenten standaard inbouwen
 - ▶ Strategie om watervoorraad aan te leggen?

Besluit: De expertengroep verwacht dat een grote stap vooruit mogelijk is met precisielandbouw op vlak van het toepassen van nutriënten, nl. juistere toegediende dosis, minder overlap, organische-mestdosissen op basis van samenstelling en dosissen meer op maat van de variabiliteit in bodem en gewas. Er is al heel wat technologie ter beschikking die nu kan ingezet worden, maar twee knelpunten zijn de kostprijs en de beslissingsmodellen. Indien een model enkel een bemestings- of bekalkingsadvies moet geven volgens de variabiliteit in een perceel, kan op dezelfde manier gerekend worden als voor een bemestingsadvies op perceelsniveau op basis van een mengstaal van dat perceel. Indien gewasgroei modellen moeten gevolgd worden, zal nog veel werk moeten verzet worden. Gewassensoren kunnen helpen om de gewasgroei in kaart te brengen. Het is belangrijk te bemerken dat de sensoren in de eerste plaats moeten helpen om problemen in het veld te detecteren en op te lossen, in plaats van alleen de bemesting te sturen. Dit om te voorkomen dat slechte plekken meer worden bemest omdat het gewas daar minder efficiënt is in opname of gebruik van nutriënten.

De experts zijn het er mee eens dat water steeds belangrijker zal worden. Irrigatie van veel of alle teelten is echter niet haalbaar, omwille van te weinig beschikbaar water en te kostelijk. Toch kan irrigatie in de toekomst ingezet worden om nutriënten beter op te nemen en nutriëntenverliezen te reduceren. Het zal eropaan komen om gericht irrigatie in te zetten. In die zin kan irrigatie een onderdeel zijn precisielandbouw. Er werd summier ook aangehaald hoe deze irrigatie moet bekeken worden vanuit het bemestingsadvies.

- Categorie 2: BODEM en WATER – groep 2: HYDROCULTUUR en CONTAINERTEELTEN
Binnen deze discussiegroep werden geen specifieke technieken besproken, enkel de hydrocultuur, containerteelt en serreteelt an sich.

Besluit: De experts geven aan dat hydrocultuur en serre- en containerteelten in theorie wel geschikt zijn om de nutriëntencyclus te sluiten, maar dat dit verre van evident is. Veel teelten zouden in principe indoor of op water kunnen, maar de investering lijkt te groot en bovendien wordt verwacht dat er steeds minder toegang zal zijn tot geschikt water. Er ontbreekt nog kennis om nieuwe teelten te introduceren,



maar de ervaring in andere hydroteelten leert dat er soms aan een snel tempo nieuwe problemen en ziektes optreden die moeten aangepakt worden. Dit maakt hercirculatie en ter plaatse houden van nutriënten moeilijk. In een aantal Europese landen ziet men zelfs een evolutie weg van hercirculatie van voedingswater. Voor het gebruik van containervelden wordt tevens opgemerkt dat men in principe wel de nutriëntenstromen in de hand heeft, maar dat bij hevige regenval toch puntverliezen kunnen ontstaan, die mogelijk een groter probleem vormen dan diffuse verliezen in vollegrond. Door de klimaatverandering worden meer intense buien verwacht en zal meer buffer nodig zijn, wat extra investering vergt. De algemene teneur onder de experts is vrij negatief ten opzichte van deze innovatie.

– Categorie 2: BODEM en WATER – groep 3: BODEMKWALITEIT, BIOSTIMULANTIA en NUTRIËNTEN (TIJDELIJK) IMMOBILISEREN

- ▶ Meer vruchtafwisseling (gestimuleerd of zelfs gedwongen)
- ▶ Aangepaste lichte machines, vaste rijpaden, robotisering op veldschaal (minder verdichting)
- ▶ Verlaging bemesting en verhoging bodemkwaliteit
- ▶ Rassen die vroeger kunnen geoogst worden
- ▶ Meer voedingsstoffen uit de bodemorganische stof, minder meststoffen in zwaar bemeste teelten
- ▶ Meer groenbedekkers, maar ook doordachtere keuze (fytosanitair)
- ▶ Teeltplan aanpassen om meer groenbedekkers te kunnen zaaien
- ▶ Biostimulanten
- ▶ Fosforfilters en dertificatiefilters in de drainage
- ▶ C-rijke materialen inwerken in najaar
- ▶ Oogstresten verwijderen
- ▶ Slow release meststoffen en/of nitrificatieremmers

Besluit: De experts zijn het eens dat, bij een wijzigend klimaat, de bodemkwaliteit steeds belangrijker zal worden. Een betere bodemkwaliteit zal nodig zijn om het gewas beter te wapenen tegen extreme weersomstandigheden en om oogstmislukkingen en nutriëntenoverschotten aan het einde van het seizoen te voorkomen. Voor de bodemkwaliteit werden door de experts organische stof in de bodem en bodemzuurtegraad naar voor geschoven als belangrijkste parameters. Werken aan organische stof in de bodem binnen de grenzen van het MAP en de beschikbaarheid van organische mest is moeilijk. Vruchtafwisseling doordacht uitvoeren is dan ook uitermate belangrijk. Het voorkomen van verdichting, het kiezen van vroegere rassen, minder intensieve bodembewerking en andere technieken helpen mee om de bodemkwaliteit te behouden of te verbeteren, maar vruchtafwisseling wordt als primordiaal beschouwd.

Biostimulantia werden door de experts relatief laag in waarde geschat. Er zijn heel wat producten en preparaten waarvan het onderzoek uitwijst dat tests in labo en serre wel positief zijn, maar de stap naar het praktijkveld nog veel te moeilijk is. Veel van deze biostimulantia hebben in het veld weinig of geen effecten. Ingeval het gaat om levende organismen blijkt het voor nieuwe, gewenste organismen die aan de bodem toegevoegd worden erg moeilijk om zich te handhaven. Het bodemleven is erg complex en nog te veel een black-box. Vanuit die optiek lijkt het algemeen werken aan bodemkwaliteit vanuit de klassieke bedrijfsvoering nog steeds de beste insteek.

Vanggewassen worden aangegeven als de techniek bij uitstek om nutriënten tijdelijk te immobiliseren. Het gebruik van vanggewassen moet nog beter, maar moet misschien ook wel over meerdere jaren



bekeken worden. Dit wil zeggen dat er waarschijnlijk meer winst is te halen uit het maximaliseren van veggewassen over meerdere jaren heen, dan op jaarniveau. Veggewassen zijn een onlosmakelijk deel van een goede vruchtafwisseling en deze laatste wordt ook over meerdere jaren heen bekeken. Het afvoeren van gewasresten en het plaatsen van drainagefilters werden ook als waardevolle technieken beschouwd, maar slechts beperkt toepasbaar. Er werd hierover besloten dat drainagefilters misschien standaard kunnen geïnstalleerd worden bij nieuwe drainages en dat voor een aantal teelten een aanpassing van oogstmachines technisch mogelijk is om gewasresten af te voeren. Dit is echter een technische stap die gezet moet worden, maar die niet onmiddellijk binnen de scope ligt van de dit project. Er was weinig animo om mineralen of andere stoffen toe te voegen aan de bodem om fosfaten vast te leggen.

- Categorie 3: INFRASTRUCTUUR, DIER(VOEDING) en PROCESSEN
 - ▶ Aangepaste opslag van mest in mestkelders en stallen
 - ▶ Verzuring van de mest: echter risico's bij uitvoering, vervuiling bij productie anorganische zuren, extra bekalking vereist
 - ▶ Mestverwerking waarbij N wordt gerecirculeerd i.p.v. als N₂ uitgestoten
 - ▶ Optimalisatie van de mestverwerking
 - ▶ Aangepaste voeders (bv. lager gehalte aan ruw eiwit): echter mogelijke effecten op melkproductie
 - ▶ Voederadditieven
 - ▶ Emissies naar lucht van stallen, dieren, mestverwerking, compostering e.a. processen nog verder verlagen of verder doorgedreven afvangen
 - ▶ Emissie-arm aanwenden van mest en meststoffen
 - ▶ Specifieke puntvervuiling aanpakken
 - ▶ CASE: Dierlijke productie meer baseren op extensiever gras
gras/klaver of gras/luzerne aandeel verhogen in het rantsoen van herkauwers, ten voordele van andere voeders + lagere import soja + lagere N-bemesting voederteelten + lagere melk/vleesproductie toestaan

Besluit: De besproken technieken waren zeer uiteenlopend, maar samengevat kunnen toch 2 subgroepen worden gemaakt: enerzijds nutriëntenverliezen (voornamelijk emissies) aan de bron aanpakken en anderzijds end-of-pipe maatregelen. Bij de laatste kunnen we technieken rekenen zoals luchtwassers, mestverwerking, mestopslag gescheiden van de stal of met een kleiner contactoppervlak enz. Deze technieken zijn eigenlijk al in meer of mindere mate in gebruik, soms als onderdeel van de bedrijfsvoering en soms als verplichte maatregel. Deze technieken kunnen echter beter scoren op vlak van efficiëntie. Omdat deze technieken reeds gedeeltelijk geïmplementeerd zijn, kunnen ze binnen dit project beter bekeken worden vanuit de MAP-bepalingen dan vanuit de innovaties. Volgens de experts zijn er echter nog mogelijkheden om de nutriëntenverliezen aan de bron aan te pakken, enerzijds door de dierlijke productie te beperken – maar dit beschouwen we als een beleidskeuze en hoort dan ook eerder bij luik 1 in dit project -, maar er kan tevens nog winst gemaakt worden op vlak van verbetering van de samenstelling van de rantsoenen.



16.3 Luik 3: Voorstel vijf innovaties

Zowel uit de enquête als uit de groepsdiscussies kwam naar voor dat veel innovaties sterk met elkaar verbonden zijn en moeilijk te scheiden zijn in een literatuurstudie. Toch was er een sterke consensus tussen de experts in de groepsdiscussies. Op basis van zowel de enquête als de discussiegroepen stellen we hier 5 innovatie(thema's) voor die verder in de literatuurstudie kunnen bekeken worden.

- **Robuuster teeltsysteem**
In de discussiegroep rond gewas kwam sterk naar voor dat het huidige landbouwsysteem onder druk staat. Uit de vele technieken die in deze groep werden besproken, was het moeilijk tot onmogelijk om er één of zelfs meerdere te kiezen. De experts zijn van mening dat het steeds een combinatie zal moeten zijn en dat keuzes zeer sterk worden beïnvloed door de omgevingsfactoren. Algemeen moet het systeem robuuster. Daarom stellen we voor om deze innovatie anders te benaderen dan de volgende vier. Deze innovatie kan benaderd worden vanuit het huidige systeem en waar het in dit systeem spaak loopt of waar knelpunten zitten in het huidige klimaat. Vanuit dat startpunt kan bekeken worden welke stappen kunnen gezet worden om deze knelpunten aan te pakken.
- **Vlinderbloemigen**
Vlinderbloemigen kunnen dankzij symbiose met N-fixerende bacteriën zonder N-kunstmest toch goede opbrengsten en kwaliteiten geven. Doordat de kunstmest niet geproduceerd hoeft te worden, wordt bespaard op energie en dus broeikasgassen. Door geen of weinig N-kunstmest toe te dienen vermindert de kans op emissie van N₂O en NH₃ en vermindert tevens de hoeveelheid nitraat vatbaar voor uitspoeling en/of afspoeling. Een aantal vlinderbloemigen zijn tevens geschikt om in mengteelten te telen met een ander gewas, wat mogelijk het geheel ook robuuster maakt.
- **Bodemkwaliteit**
Bodemkwaliteit is één van de basisvoorwaarden om een landbouwsysteem robuust te maken tegen klimaatveranderingen. Er zijn vele manieren waarop hier kan aan gewerkt worden, maar de experts gaven duidelijk vruchtafwisseling als hoofdstrategie aan. In wezen is dit geen innovatie, maar een oude en goede techniek om aan duurzame landbouw te doen. Toch verdient het opnieuw aandacht binnen de hedendaagse landbouw. Heel specifiek vanggewassen dienen ook aandacht te krijgen in de vruchtafwisseling. Dikwijls is het grootste knelpunt de economische situatie. Landbouwers zijn zich zeer bewust van bodemkwaliteit, maar niet steeds in staat om de keuzes te maken die het best zijn voor de bodem.
- **Precisielandbouw**
Zowel uit de enquête als uit de discussiegroep kwam sterk naar voor dat men verwacht dat grote stappen vooruit kunnen gemaakt worden dankzij precisielandbouw op vlak van de juiste dosering van mest en meststoffen op de juiste plaats en op het juiste moment. Het gaat voor een stuk om technologie die reeds bestaat maar nog verder moet doorstromen naar de praktijk of moet geoptimaliseerd worden. Er werd in het verleden al onderzoek gedaan naar de juistheid van bemesting – los van precisielandbouw - en momenteel is heel veel landbouwonderzoek toegespitst op precisielandbouw. Ook irrigatie (en fertigatie) kan als onderdeel van precisielandbouw beschouwd worden.



- Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)
In de discussiegroepen kwam door landbouwonderzoekers gespecialiseerd in dierlijke productie en emissies naar voor dat er nog steeds mogelijkheden zijn om binnen het huidige systeem nutriëntenverliezen (voornamelijk emissies) te reduceren. Hieromtrent liepen en lopen er ook enkele projecten die hierin meer inzicht moeten geven.



17.

LUIK 3 LITERATUURSTUDIE

17.1 Innovatie 1 - Vlinderbloemigen

17.1.1 Inleiding

Vlinderbloemige gewassen worden voornamelijk geteeld voor de productie van olie (bv. soja) of voor de productie van vezel- en/of eiwitrijk voedsel en voeder (bv. erwten, witte klaver...) (Jensen et al., 2012), maar worden soms ook ingezet als groenbedekker of toegevoegd aan mengsels van groenbedekkers (bv. wikke). Graanleguminosen vormen wereldwijd 27% van de totale landbouwproductie en vullen respectievelijk 33% van de eiwitvraag en 35% van de plantaardige olieproductie in en zijn daarmee de belangrijkste groep gewassen na granen (Cordain, 1999; Graham en Vance, 2003). In het agro-ecosysteem zijn vlinderbloemigen uniek omdat ze in staat zijn door symbiose met bodembacteriën, N₂ op te nemen uit de atmosfeer. Dit betekent dat ze een grote bijdrage (kunnen) leveren aan de klimaatmitigatie. De globale CO₂-uitstoot voor de productie van 100Tg N-kunstmest wordt geschat op 300Tg CO₂ (Jensen et al., 2012). Er wordt geschat dat ongeveer 1% van de globale antropogene broeikasgasuitstoot onder de vorm van CO₂ voortkomt uit de productie van kunstmest (Jensen en Hauggaard-Nielsen, 2003). Voor iedere kilogram biologisch gefixeerde N, kan dus bespaard worden op broeikasgasuitstoot.

Naast het direct verband tussen het klimaatverhaal en de N-fixatie, kan het inpassen van vlinderbloemigen volgens de literatuur nog een aantal bijkomende voordelen bieden aan het agro-ecosysteem:

- Aanlevering van eiwitrijk voedsel, voeder en groenbemesters (Jensen et al., 2012)
- Verbetering van de bodemstructuur (Rochester et al., 2001; McCallum et al., 2004)
- Verhoging van de biodiversiteit van de vruchtafwisseling, waardoor ziektecycli worden doorbroken en/of nuttige organismen worden gestimuleerd (Jensen and Hauggaard-Nielsen, 2003; Kirkegaard et al., 2008)
- Van sommige vlinderbloemigen (bv. luzerne) wordt aangenomen dat ze in staat zijn nitraat uit de diepere lagen van het bodemprofiel te recupereren (Angus et al., 2001).

Ondanks deze voordelen, is het areaal vlinderbloemigen op Vlaams niveau erg beperkt in oppervlakte en is het gros van het areaal slechts toe te schrijven aan één maaigewas, namelijk gras/klaver (Tabel 48). Het areaal gras/klaver nam in de voorbije jaren echter gestaag toe, onder de stimulans van een areaalsubsidie die valt onder PDPO III.

Tabel 48 Overzicht van de evolutie in Vlaamse arealen van de gewasgroepen (2017-2020)(Bron: Departement Landbouw & Visserij).

Gewasgroep	Gewas	2020	2019	2018	2017
Aardappelen	Aardappelen (consumptie)	54 230	54 165	49 954	53 261
Bieten	Suikerbieten	19 026	18 812	20 583	21 117
Totaal graangewassen	-	81 962	86 606	81 873	84 155
Grasland	Grasland	234 084	234 143	235 301	237 509
Groenten	Erwten (andere dan droog geoogst)	2 210	2 308	2 392	2 526
Groenten	Bonen	1 882	1 811	2 339	2 521
Totaal groenten	-	33 833	32 432	29 884	33 393
Totaal maïs	-	178 154	172 868	181 146	173 417
Voedergewassen	Grasklaver	19 299	17 279	14 933	12 922
Voedergewassen	Andere voedergewassen	2 570	2 289	2 211	2 140
Eindtotaal	-	660 036	654 655	652 478	653 988

Er zijn meerdere verklaringen voor het lage areaal aan vlinderbloemige gewassen in Vlaanderen:

- Vlinderbloemigen zijn uit gebruik geraakt in de landbouw in een periode dat de productie van kunstmest op basis van gas en andere fossiele brandstoffen zeer goedkoop was (Siddique et al., 2012). Ook vandaag is N-kunstmest gemakkelijk en relatief goedkoop ter beschikking van de landbouw. Er is dus geen echte nood aan vlinderbloemigen om N in het systeem of de rotatie te brengen. Dit is natuurlijk een andere situatie voor de bio-landbouw die geen gebruik maakt van N-kunstmest.
- N-kunstmest kan gemakkelijk ingezet worden in diverse gewassen. Veel gewassen hebben een hoge N-vraag binnen een bepaald tijdsvenster om voldoende opbrengsten (bv. granen), voederkwaliteit (bv. grasland) of kwaliteit te bekomen (bv. intensieve groenten). Kunstmest biedt de mogelijkheid om op het juiste tijdstip een voldoende dosis toe te passen. Het gebruik van kunstmest maakt teelten minder afhankelijk van mineralisatie en van de voorgaande vruchtafwisseling. Gaandeweg werden N-levering via de bodem en N-vraag door het gewas van elkaar losgekoppeld. Doch, er zijn tekenen dat de N-levering vanuit de bodem verkeerd wordt ingeschat en dat het nodig is om efficiënter met deze N-bron om te gaan (Willekens, 2016).
- Er is veel dierlijke mest ter beschikking in Vlaanderen, waardoor bemesting zo maximaal mogelijk wordt ingevuld met drijfmest en stalmest. Vlinderbloemigen inpassen in de rotatie betekent vaak minder plaatsingsruimte. Bovendien kan in mengteelten zoals gras/klaver de plaatsing van teveel dierlijke mest leiden tot verdrukking van de vlinderbloemige component. Door de N injectie in het systeem reageren de grassen zodanig sterk dat de vlinderbloemigen worden weggeconcentreerd. De vlinderbloemigen genieten wel van o.a. de kalium en magnesium aanwezig in de dierlijke mest, indien ze niet volledig worden weggeconcentreerd.
- Voedereiwit is goedkoop beschikbaar. Wereldwijd wordt >300 miljoen ton sojabonen geproduceerd (SOPA.org, 2020), waarvan een belangrijk aandeel voor de productie van eiwitrijke diervoeders. Meer dan 75% van het voedereiwit dat in Europa werd vervoerd in de periode 2000-2004 werd geïmporteerd (Crépon, 2006). Voor Vlaamse landbouwers is het financieel interessanter (Pannecoucq en Van Meensel, 2018) en bovendien minder risicovol om sojaschroot aan te kopen dan om zelf krachtvoerders te gaan telen. Er dient wel op gewezen te worden dat het hier gaat over krachtvoerders. Een ruwvoeder zoals gras/klaver levert in principe dezelfde opbrengst en voederwaarde als grasland, aan een vrijwel gelijke kost (duurder zaadmengsel maar er moet minder N-kunstmest aangekocht worden) (De Vlieghe et al., 2019).
- De West-Europese consument haalt een belangrijk aandeel van het voedingseiwit uit dierlijke producten, wat maakt dat de vraag naar plantaardige eiwitbronnen voor voedingstoepassingen relatief beperkt zijn in vergelijking met ontwikkelingslanden zoals India. In de Vlaamse landbouw zijn enkel boontjes en erwten gewassen met een relatief groot areaal (samen 5000 tot 6000ha). Andere (vlinderbloemige) eiwitgewassen voor menselijke toepassing zoals linzen, kikkererwten, soja ... komen nauwelijks voor in het areaal. Al is er momenteel wel een duidelijke kentering in het voedingspatroon van de West-Europese consument richting meer plantaardige voeding.
- De variatie in gewasopbrengsten van vlinderbloemigen is groot. De gewasopbrengsten van veel graanvlinderbloemigen schommelen heel sterk onder invloed van weersomstandigheden van jaar tot jaar, maar ook door plaats specifieke problemen zoals wildschade. Mogelijk nemen schommelingen nog toe bij een veranderend klimaat. Ter illustratie geven we in Tabel 49 (boven), een overzicht van de ranges in de opbrengsten van veldbonen en voedererwten in veldproeven van de Hogeschool Gent van de voorbije jaren. Zulke schommelingen komen in veel minder mate voor in andere gewassen zoals bv. tarwe of maïs, waardoor veel



vlinderbloemige gewassen door landbouwers als te risicovol worden beschouwd. We illustreren dit door de schommeling in de opbrengsten van de Belgische officiële rassenlijst wintertarwe (veldproeven CRA-W en ILVO) relatief te vergelijken met de opbrengsten van de winterveldbonen gemeten in de proeven van de Hogeschool Gent. De spreiding is bij wintertarwe slechts half zo groot als bij veldbonen. Al moeten we wel de bemerking maken dat de rassenproeven van wintertarwe op meer locaties liggen en de locaties met hoge variatiecoëfficiënt worden afgekeurd (wat de variatie in totaal kan verkleinen). Toch geeft het een grof geschat beeld. In veel teelttechnisch onderzoek krijgen graanteelten ook voorrang op vlinderbloemige teelten zodat variatie in gewasopbrengsten niet aangepakt worden. Bovendien zijn vlinderbloemige gewassen ook gevoeliger aan abiotische en biotische stress dan granen (Siddique et al., 2012). Nochtans zijn er ook studies die aangeven dat opnemen van een vlinderbloemige in de rotatie tot een netto meeropbrengst kan leiden (von Richthofen, 2006). Al zal dit ongetwijfeld afhankelijk zijn van de referentie. Een meeropbrengst is te verwachten ten opzichte van een zuiver akkerbouwmatige (enge) rotatie van voornamelijk granen (Nemecek et al., 2008), maar deze rotaties komen nauwelijks voor in Vlaanderen wegens onvoldoende rendabel. Schommelingen kunnen ook gewasafhankelijk zijn. Als voorbeeld kunnen we het jaar 2016 nemen. In dat jaar werden door bijzonder natte omstandigheden zeer slechte gewasstand en legering waargenomen op veel erwtenpercelen. Voor soja daarentegen, bleken de natte omstandigheden na zaai en het droge najaar te leiden tot zeer goede eiwitgehalte van de bonen (Pannecouque, 2020).



Tabel 49 BOVEN: Spreiding van de gewasopbrengsten van velderwten en veldbonen op de proefvelden van de Hogeschool Gent. In 2016 ging de volledige oogst van velderwten verloren door de weersomstandigheden (Bron: Latré et al., 2020). ONDER: Verschil in opbrengstspreading in de periode 2013-2017 voor de gewassen winter tarwe en winter veldboon. Voor winter tarwe werd gebaseerd op de Belgische officiële rassenproeven in die periode (bron: Jacquemin, 2020) en voor winter veldbonen op de bovenste tabel. De gemiddelde opbrengst is het gemiddelde van de jaarlijkse gemiddelde opbrengst van alle locaties en rassen. Het minimum en maximum geven de gemiddelde jaaropbrengst weer van het jaar met de laagste en met de hoogste opbrengst. Dit wordt tevens procentueel ten opzichte van de referentie uitgedrukt.

	jaar	Opbrengst (kg/ha)		
		gemiddeld	min	max
zomererwten	1986 tot 2000	5300	2700	9051
	2005	5461	1415	7746
	2006	4874	3742	7125
	2013	6060		
	2003 - 2013	5210	2000	8200
	2014	2324	1245	3657
	2015	2989	2189	3917
wintererwten	2013-2014	5404	5139	5670
	2004-2013	4500	2000	7415
	2014-2015	7500	5118	9044
	2014-2015	4795	4148	5402
	2015-2016	0	0	0
zomerveldboon	1986 tot 2000	4793	3074	8489
	2005	5224	2499	7776
	2006	5896	2770	8339
	2013	4940	4930	4950
	2013	5377	3284	7034
	2014	4150	3700	4600
	2015	3379	3181	3508
	2016	1522	1442	1652
winterveldboon	2013-2014	5369	5136	5632
	2014-2015	4130	3597	4640
	2015-2016	1335	788	2046
	2016-2017	3831	3652	4357
	2016-2017	5893	4791	6738

	Opbrengstspreading (kg/ha)		
	gemiddeld	min	max
winter tarwe	9659	7234	12104
	Referentie	75%	125%
		Verschil MAX-MIN	50%
winter veldbonen	4112	1335	5893
	Referentie	32%	143%
		Verschil MAX-MIN	111%

Vlinderbloemige gewassen inpassen in de vruchtwisseling heeft zowel een effect op de N-cyclus van het agro-ecosysteem als de bedrijfsvoering, waardoor nutriëntenverliezen en broeikasgasemissies



onrechtstreeks ook worden beïnvloed. In Tabel 50 wordt een algemeen overzicht gegeven van de te verwachten effecten van biologische N-fixatie op een aantal omgevingsfactoren. In de onderstaande tekst worden de verbanden tussen vlinderbloemigen, nutriëntenverliezen en broeikasgasemissies in meer detail besproken.

Tabel 50 Potentiële effecten van biologische N₂-fixatie op omgevingsparameters (Bron: Jensen en Hauggaard-Nielsen, 2003).

Table 1. Potential effects of biological N₂ fixation (BNF) on environmental parameters: ↑ – increase, ↓ – decrease

BNF process per se	Effect of reduced fertilizer production and application	Effect of BNF crops on N cycling of cropping systems	Non-N effects of BNF organisms
Soil acidification	↓ Fossil energy use	Pre-cropping/cropping period	Soil structure
↑ CO ₂ fix./mol N ass.	↓ CO ₂ emission	↓ N ₂ O emission	Break-crop effect
↑ Soil N uptake	↓ NO _x emission	↓ Ammonia volatilisation	Soil erosion control
		↓ N leaching risk	Deep rooting
		↓ Risk of N loss from GM ¹ than NF ²	Carbon sequestration
		<i>Post-harvest period</i>	Biodiversity
		↑ N ₂ O emission	
		↑ Ammonia volatilisation	
		↑ N leaching risk in intensive systems	
		↑ N-benefit to next crop	
		Long-term effects of BNF	
		↑Soil fertility building	
		↑Soil N supply power	
		↑Risk of N losses intensive systems	

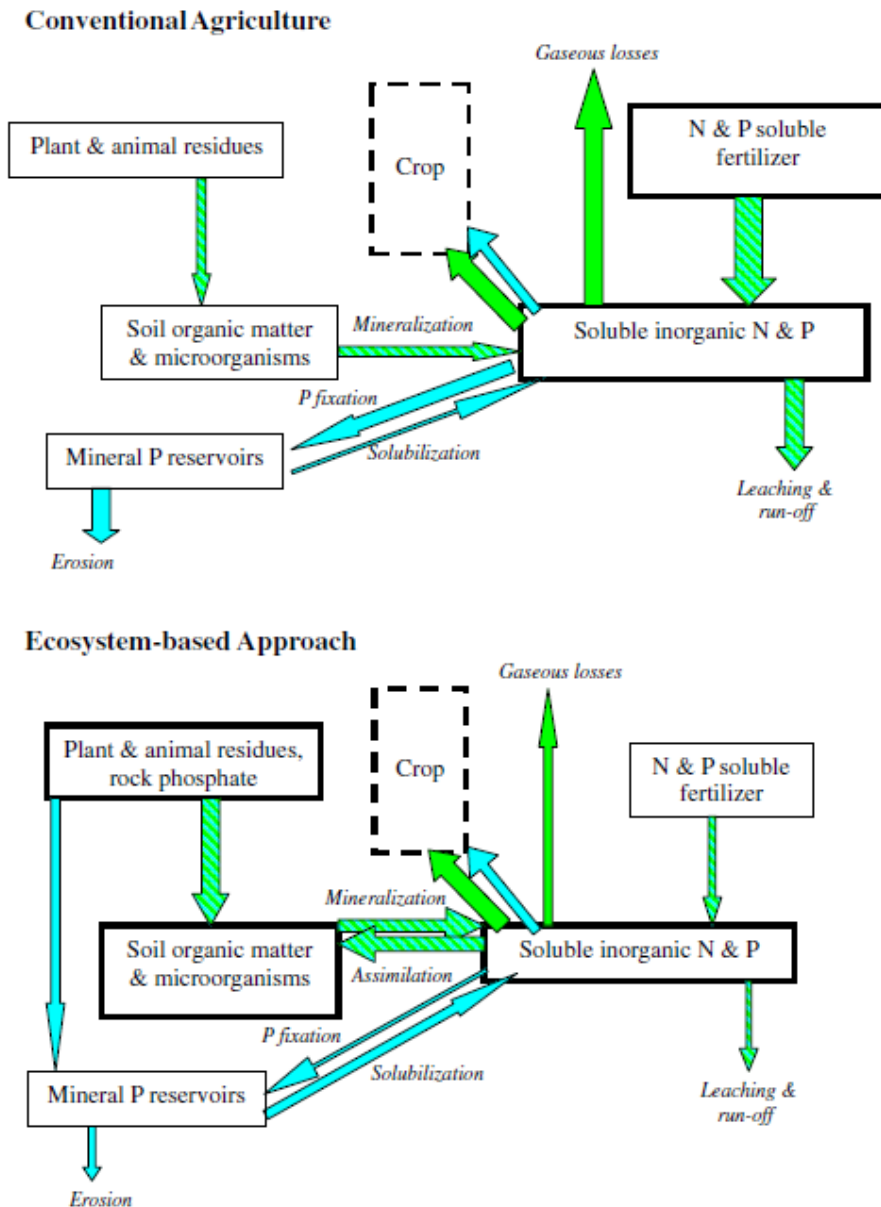
¹GM – Green manure/*Azolla*.

²NF – N-fertilizer (mainly ammonia or urea).

17.1.2 Nutriëntenverliezen

De bemesting van landbouwsystemen werd in de voorbije decennia sterk toegespitst op het aanvullen van de beschikbare nutriëntenpool om zo voldoende nutriënten ter beschikking te stellen van het gewas. Hierbij werd de grootte van aanlevering van nutriënten uit de bodemorganische stof en minerale bodemvoorraad dikwijls te weinig in rekening gebracht (Siddique et al., 2012). Drinkwater en Snapp (2007) geven aan dat dit leidde tot een ont koppeling van de N-, C- en P-cyclus, waardoor de nutriëntenverliezen uit het systeem zijn toegenomen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 91. De nutriëntenverliezen kunnen ingedeeld worden in uitspoeling, gasvormige emissie en run-off/erosie.

Fig. 3 Qualitative representation of N (green arrows) and P (blue arrows; blue-green striped=N+P) dynamics in conventional cropping systems (above) and ecosystem-oriented cropping systems (below). Arrow thickness represents relative proportion of nutrient flow. After Drinkwater and Snapp (2007)



Figuur 91 Kwalitatieve weergave van N (groene pijl) en P (blauwe pijl) dynamiek in conventionele productiesystemen (boven) en ecosysteem georiënteerde productiesystemen (onder). De dikte van de pijl is representatief voor de grootte van de nutriëntenflow (naar Drinkwater en Snapp, 2007).

17.1.2.1 Nutriëntenverliezen door uitspoeling

De nutriënten N en P kunnen verloren gaan door uitspoeling en verticaal transport doorheen het bodemprofiel naar het grondwater toe. Het nutriënt N, is onder de vorm van NO_3^- sterk oplosbaar, en wanneer er een netto neerwaartse stroom aan bodemwater is die dit nutriënt transporteert tot beneden de wortelzone is dit element verloren en dus uitgespoeld. In Vlaanderen vindt dit proces voornamelijk plaats in het najaar en de winter wanneer er een neerslagoverschot is. Incidentele N-verliezen zijn echter doorheen het groeiseizoen ook mogelijk indien veel NO_3^- aanwezig is, weinig plantenwortels aanwezig zijn en er hevige neerslag plaatsvindt. Klimaatmodellen geven aan dat in Vlaanderen meer intense buien ook effectief zullen plaatsvinden (European Environment Agency, 2019; Willems, 2020). Dit staat echter los van de teelt van vlinderbloemigen.

Om het verband tussen vlinderbloemige teelten en N-uitspoeling te bespreken, wordt best een onderscheid gemaakt tussen de meerjarige vlinderbloemige gewassen, in Vlaanderen voornamelijk



gras/klaver, rode klaver, luzerne en gras/luzerne enerzijds en de graanleguminosen zoals soja, erwten, veldbonen en mengteelten van granen en erwten/veldbonen anderzijds. Er zijn ook teelten die minder duidelijk in te delen zijn zoals inkarnaatklaver die slechts 1x gemaaid wordt, boontjes voor menselijke consumptie en mengteelten voor gehele plantsilage. Ze beslaan slechts een zeer beperkt areaal in Vlaanderen, maar interesse neemt in de toekomst mogelijk wel toe. Omdat ze slechts 1 jaar aangehouden worden en éénmalige geogst, beschouwen we ze onder de groep van de graanleguminosen.

Meerjarige vlinderbloemige gewassen

De NO_3^- -uitspoeling in grasland en gras/klaver neemt toe met toenemende intensiviteit van de bemesting (Ledgard, 2001). Figuur 92 toont het verband tussen een toenemende N-bemesting en NO_3^- -uitspoeling in een begraasd systeem. Wanneer gras met hoge bemesting wordt vergeleken met niet bemeste gras/klaver, komt steeds tot uiting dat NO_3^- -uitspoeling veel lager is bij gras/klaver dan bij grasland (Jarvis, 2006). Dit blijkt ook uit Tabel 51. Tyson et al. (1997) vonden gemiddeld over 8 jaar zwaar bemest en begraasd grasland een jaarlijkse 200 kg N/ha NO_3^- -uitspoeling. Voor niet bemeste gras/klaver was dit slechts 13 tot 50 kg N/ha per jaar. Toch dient opgelet te worden met begraasde gras/klaverevelden die een zeer hoog aandeel klaver bevatten, deze kunnen immers N-verliezen vertonen tot hetzelfde niveau als zwaar bemest grasland (Macduff et al., 1990). Het is echter zo dat gemaaide percelen tot minder nitraatuitspoeling leiden dan begraasde percelen, zowel voor zuiver grasland als gras/klaver (Whitehead, 1995).

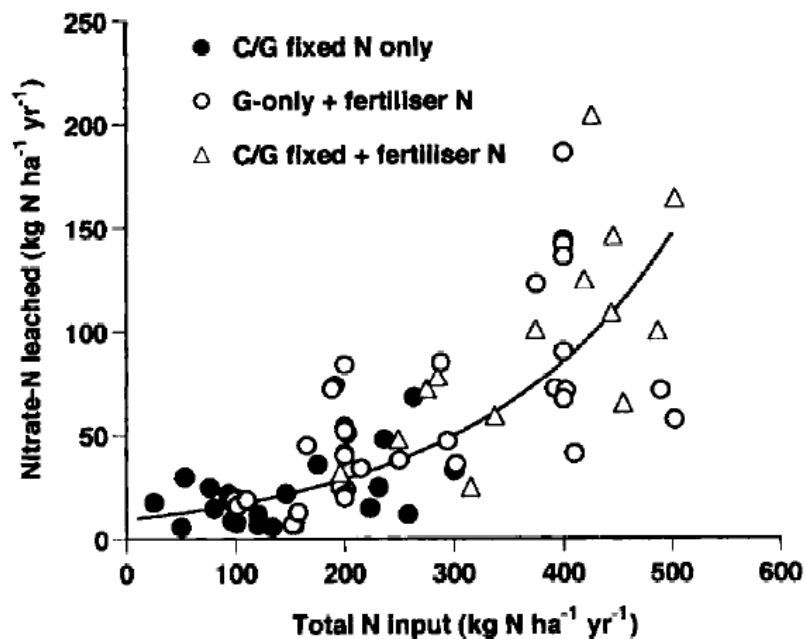


Figure 2. Nitrate leaching from grazed clover–grass or grass only pastures as affected by total N input from N_2 fixation or N fertiliser application. C–Clover; G–Grass. Data are summarised from studies in New Zealand, France and UK. Source: Ledgard (2001).

Figuur 92 Nitraatuitspoeling van begraasde gras en gras/klaverpercelen in Nieuw-Zeeland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk in functie van de totale N-input (via bemesting en biologische N_2 -fixatie). (bron: Ledgard, 2001).

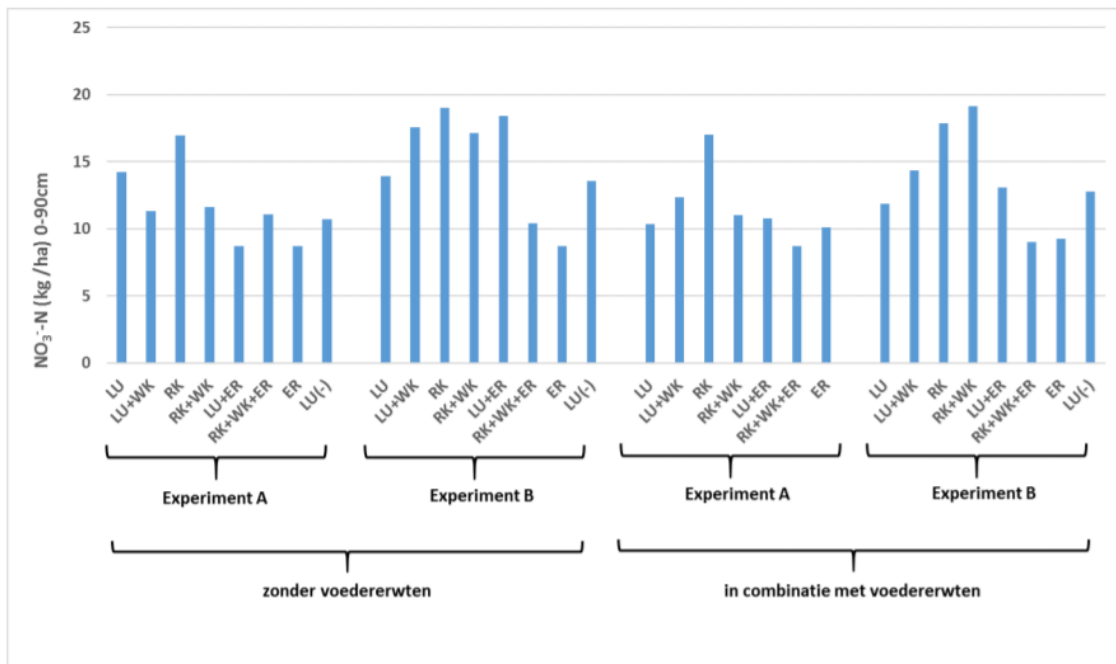
Tabel 51 Overzicht van de N-flows in begraasde gras/klover met en zonder bemesting in Nieuw-Zeeland (cijfers tussen haakjes geven de range weer) (bron: Ledgard, 2001).

Table 3. Animal stocking rate, pasture production N inputs and outputs from intensive dairy farm systems based on legume-grass pastures in New Zealand. Comparison is made with (400 kg N ha⁻¹ year⁻¹ as urea) and without N application. Values in brackets are the range of N flows measured over five years. After Ledgard (2001)

System component	Without N application	Application of 400 kg N
Cows ha ⁻¹	3.3	4.4
Total pasture (t Dm ha ⁻¹ year ⁻¹)	16	20
% Clover in pasture	15	5
<i>N inputs (kg ha⁻¹ year⁻¹)</i>		
Clover BNF	160 (80–210)	40 (15–115)
Asymbiotic BNF + deposition	5	5
Fertilizer	0	400
Purchased feed	0	41
<i>N outputs (kg ha⁻¹ year⁻¹)</i>		
Milk and meat	76 (68–83)	114 (90–135)
Transfer of excreta to roads	53 (41–63)	77 (72–91)
Denitrification	5 (3–7)	25 (13–34)
NH ₃ volatilisation	15 (15–17)	68 (47–78)
Leaching	30 (12–14)	130 (109–137)
Immobilisation fertilization N	0	70 (60–84)
<i>N balance (kg N ha⁻¹ year⁻¹)</i>	-16 (-17 to +47)	12 (-11 to +24)
<i>Kg N lost/ kg N in product</i>	1.4	2.6

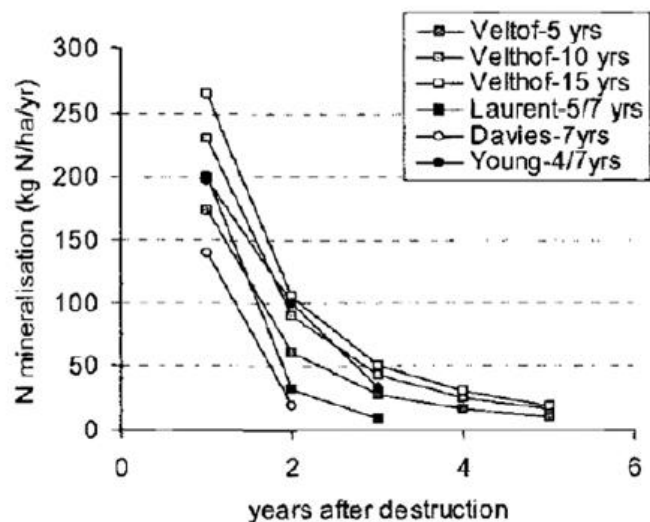
Eenzijds worden gras/klover percelen in Vlaanderen bijna uitsluitend gemaaid en de trend van meer opstallen van melkvee zet zich nog verder door, anderzijds worden gras/kloverpercelen wel bemest in tegenstelling tot bovenstaande studies. Uit het derogatiemonitoringsnetwerk 2016-2019 (Odeurs et al., 2020) blijkt dat landbouwers nauwelijks tot niet besparen op de N-bemesting in gras/kloverpercelen ten opzichte van graspercelen. Er wordt dus eigenlijk niet van het potentieel van de N₂-fixatie door klover gebruik gemaakt. Twee grote oorzaken komen naar voor, een te beperkt klaveraandeel en de kennishiaat van de landbouwer. Uit het derogatiemonitoringsnetwerk blijkt zoals verwacht dat er geen verschillen in nitraatstikstofresidu's tussen de gras en gras/kloverpercelen zijn op te merken. Het praktijkonderzoek van ILVO en LCV wijst uit dat gras/klovers kunnen beheerd worden in een intensief maaibeheer bij een bemesting van 200 kg N werkzaam/ha. In dit systeem wordt runderdrijfmest geplaatst samen met een beperkte dosis N-kunstmest in de eerste 2 snedes om de grasgroei te stimuleren. In de latere snedes neemt de klover de groei over van het gras. In deze situatie zijn geen problemen met een te hoog nitraatstikstofresidu te verwachten (De Vliegheer et al., 2019). De Vliegheer et al. (2019) vond in 2 zandleempercelen die 4 jaar werden opgedeeld tussen een gras/klover met 200 kg N werkzaam en gras met 300 kg N werkzaam/ha in beide behandelingen in alle 4 de beproevingsjaren slechts 8 tot 20 kg nitraatstikstofresidu terug in het bodemprofiel (0-90 cm) in de sperperiode (1 okt-15 nov). Dit residu was in slechts 2 jaren op 1 perceel significant hoger voor gras/klover dan voor gras, maar bleef dus steeds beperkt tot max 20 kg NO₃⁻-N/ha. Ook bij andere vlinderbloemige maaigewassen (luzerne, luzerne + witte klover, rode klover, rode klover + witte klover en Engels raaigras + rode klover + witte klover) die oordeelkundig werden bemest (zuiver vlinderbloemige mengsels geen N, gras/klover 120 kg N/ha) bleek dat de nitraatrest tussen 10 en 20 kg NO₃⁻-N ha schommelde in de sperperiode (zie Figuur 93), en daarmee niet verschillend was van deze van Engels raaigras bemest aan 300 kg N/ha (De Vliegheer et al. b, 2019). Samengevat kan gesteld worden dat bij een vervanging van gemaaid grasland door gemaaide gras/klover, bij een oordeelkundige bemesting, dezelfde nitraatverliezen kunnen verwacht worden.

////////////////////////////////////



Figuur 93 Nitraatstikstofresidu (0-90 cm) in de sperperiode (1 oktober – 15 november) van 2016 op proefvelden met luzerne (LU), luzeren + witte klaver (LU+WK), rode klaver (RK), rode + witte klaver (RK+WK), gras/klaver (RK+WK+ER), Engels raai gras (ER) en niet-geënte luzerne (LU(-)). Experiment A werd gezaaid in het voorjaar van 2015, experiment B in het voorjaar van 2016. Alle mengsels werd getest met een bijvoeging van velderserwten en zonder deze bijvoeging. Na de 1^e snede zijn de erwten weggemaaid (Bron: De Vlieghe et al., 2019b).

Gemaaide gras/klaver zijn echter bijna steeds tijdelijke maaibeiden in Vlaanderen die eens om de 3 tot 5 jaar worden ondergeploegd en weer in de rotatie worden opgenomen van het bouwland. Aangezien het grasland 75 tot 125 kg N/ha jaarlijks kan cumuleren, kan de vrijstelling van N uit mineralisatie van de zode in het eerste jaar na scheuren 100 tot 400 kg N/ha bedragen (Van Dijk et al., 2020). In Figuur 94 wordt een overzicht gegeven van de vrijstelling van N uit een ondergeploegde zode van 5 jaar oud en ouder (Vertes et al., 2007). Ook Nevens (2003) vond dat in het eerste jaar na het onderploegen van een 3 jaar oude graszode, 150 kg N ter beschikking kwam van het eerste volggewas kuilmaïs. Een werkelijk gevaar voor nitraatuitspoeling stelt zich dus na het inwerken van de oude zode, maar dit is in wezen niet anders voor gemaaide meerjarige vlinderbloemigen dan bij grasland. Kayser et al. (2010) geven aan dat 3 jaar oud grasland met respectievelijk 0, 30 en 50% aandeel witte klaver leidt tot een nitraatverlies van respectievelijk 122, 115 en 126 kg NO₃⁻-N/ha in de winter na het telen van een zomergraan als volgteelt na onderploegen van de zode. In dezelfde studie werd wel een verschil in N aanlevering aan het zomergraan gevonden, namelijk 57, 68 en 70 kg N/ha voor respectievelijk grasland met 0, 30 en 50% klaveraandeel. De vrijstelling van opgebouwde N kan efficiënt worden ingezet als N-bron voor de volgteelten, maar een geschikt tijdstip van vernietiging van de oude zode kiezen en vermindering van de bemesting van de volgteelten zijn noodzakelijk om nitraatverliezen te vermijden. Een afwisseling van tijdelijk grasland en akkerland kan helpen om de vruchtwisseling te verbeteren en om organische stof in akkerland op te bouwen en zo de bodemkwaliteit te verbeteren. Dit betekent ook dat de N-cyclus over meerdere jaren heen bekeken moet worden om de N-bemesting goed uit te voeren. Dit zal verder bekeken worden bij de innovatie ‘bodemkwaliteit’.



Figuur 94 Overzicht van de vrijstelling van N uit ondergeploegd grasland in de eerste 5 jaren na omploegen in verschillende veldproeven (Bron: getoond zonder referentie in van Dijk et al., 2020).

Graanleguminosen

In tegenstelling tot de N-nalevering van ondergeploegd meerjarige gras of gras/klaver, is het effect van graanleguminosen op de volgteelten eerder beperkt en zelfs nihil indien de vrijstelling van N uit de gewasresten niet wordt opgenomen in het najaar door een vanggewas (Kayser et al., 2010). Plaza-Bonilla et al. (2015) vonden in 3-jarige akkerbouwrotaties (met sorghum, zonnebloem en durum tarwe) in ZW-Frankrijk, dat het toevoegen van 1 of 2 graanleguminosen (soja en wintererwt) leidde tot een hoger nitraatverlies. Het toevoegen van een vanggewas aan de rotatie kon echter al het extra nitraat ondervangen en in het systeem behouden (Tabel 52). Het toevoegen van 1 of 2 leguminosen had geen significant effect op de N-opname van de durum-tarwe in rotaties, het toevoegen van een vanggewas had wel een positief effect en de interactie tussen toevoegen van een graanleguminose en vanggewas was eveneens significant (Plaza-Bonilla et al., 2015). Dit is een bevestiging dat een graanleguminose op zich weinig N bijbrengt voor de volggewassen als er geen vanggewas wordt geteeld. Ook Nemecek et al. (2008) geeft aan dat met het toevoegen van erwten aan een akkerbouwrotatie slechts een beperkte 20 kg N/ha in het systeem kunnen brengen voor het volggewas indien deze extra N niet wordt verloren via emissie en/of uitspoeling. De combinatie van een vanggewas + zomergewas na een graanleguminose leidt tot minder nitraatverlies dan de teelt van een wintergewas (Nemecek et al., 2005).

Tabel 52 Overzicht van de drainagehoeveelheden, nitraatuitspoeling en gemiddelde nitraatconcentratie in drainagewater van verschillende gewasrotaties waarbij geen (GL0), één (GL1) of twee (GL2) vlinderbloemigen werden opgenomen in de rotatie. BF zijn rotaties waarbij geen vanggewas werd geteeld, CC zijn rotaties waar maximaal vanggewassen werden geteeld (bron: Bonilla et al., 2015).

Table 6
Results of the analysis of the variance of the simulated cumulative water drainage and N leaching over the experimental period and the mean nitrate concentration in drainage water in each rotation sequence of the different rotations studied (GL0, GL1 and GL2, 3-yr rotation with 0, 1 and 2 grain legumes, respectively; BF and CC, bare fallow and cover crops, respectively).

Rotation	Rotation sequence	Water drainage (mm)		N leaching (kg N ha ⁻¹)		Mean nitrate concentration in drainage water (mg NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	
		BF	CC	BF	CC	BF	CC
GL0	Sorghum-Sunflower-Durum wheat	678	669	17.9	11.0	11.7	7.3
	Durum wheat-Sorghum-Sunflower	561	515	12.1	12.7	9.6	16.5
	Sunflower-Durum wheat-Sorghum	547	601	36.9	23.5	29.9	17.3
	Mean GL0	596 (72) ab ¹	594 (77) ab	22.3 (13.0) c	15.7 (6.8) c	17.0 (11.2)	11.8 (5.1)
GL1	Sunflower-Winter pea-Durum wheat	657	545	32.4	17.3	21.8	14.1
	Durum wheat-Sunflower-Winter pea	435	405	24.7	14.1	25.1	15.4
	Winter pea-Durum wheat-Sunflower	539	504	38.9	30.0	32.0	26.4
	Mean GL1	544 (111) b	485 (72) b	32.0 (7.1) b	20.5 (8.4) bc	26.3 (5.2)	18.6 (6.7)
GL2	Soybean-Spring pea-Durum wheat	658	509	37.9	19.2	25.5	16.7
	Durum wheat-Soybean-Spring pea	685	400	49.0	7.4	31.7	8.2
	Spring pea- Durum wheat-Soybean	863	684	69.8	27.3	35.8	17.7
	Mean GL2	735 (111) a	531 (143) b	52.2 (16.2) a	18.0 (10.0) c	31.0 (5.2)	14.2 (5.2)
ANOVA							
Grain legumes in the rotation (GL)		0.306		0.004		0.020	
Cover crop treatment		0.004		0.001		0.003	
GL*Cover crop treatment		0.012		0.020		0.120	

Values correspond to the 2004–2010 period. Values between brackets correspond to the standard deviation.

¹ For a given variable, different lower-case letters indicate significant differences between cropping systems (i.e. combination of GL rotations and cover crop treatments) at $P < 0.05$.

De belangrijkste graanleguminosen zijn veldbonen en erwten, in minder mate bruine bonen en sojabonen. Erwten en veldbonen lenen zich goed tot het telen van een mengteelt graan-leguminosen. Door het mengen van gerst en erwten in één teelt, kan de nitraatuitspoeling na de teelt ook worden verlaagd ten opzichte van de zuivere erwteenteelt (Figuur 95) (Hauggaard-Nielsen, 2001). Door het combineren met graan, wordt de vlinderbloemige component meer gestimuleerd om N te gaan fixeren, omdat het graan heel efficiënt alle N opneemt. Bovendien gaat het graan ook dieper wortelen om N uit de diepere lagen op te nemen (Hauggaard-Nielsen et al., 2003). Dit is niet zo voor alle leguminosen. Meerjarige luzerne kan nitraat tot drie meter opnemen en dus voorkomen dat het uitspoelt (Entz et al., 2001). Er is 30 tot 40% toename in de N-efficiëntie ten opzichte van de teelten in reïncultuur (Hauggaard-Nielsen et al. 2009). Mogelijk bieden mengteelten ook meer opbrengststabiliteit ten opzichte van de reïnteelt graanleguminosen (zie eerder).

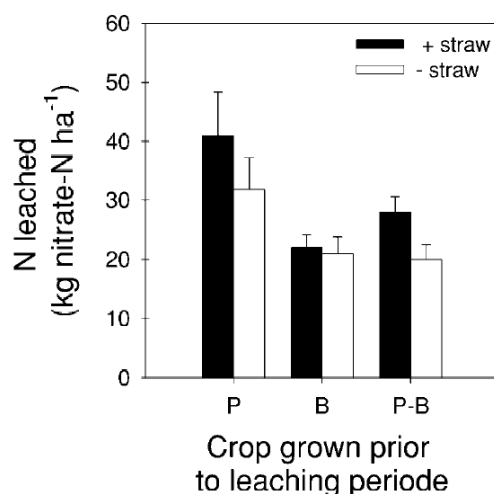


Figure 4. Nitrate leaching in lysimeters after peas (P), barley (B) and a 50–50% pea–barley intercrop (P–B) on a sandy loam soil in Denmark. Source: Hauggaard-Nielsen (2001).

Figuur 95 Nitraatstikstofuitspoeling in lysimeters na erwt, gerst en 50/50 mengteelt erwt/gerst in een zandleembodem in Denemarken (Bron: Hauggaard-Nielsen, 2001).



Er dient opgemerkt te worden dat in bovenstaande studies een vlinderbloemige wordt ingevoegd in een akkerbouwrotatie met veel granen. Door een vlinderbloemig gewas toe te voegen, komen meer N-rijke gewasresten in de rotatie aan het einde van het seizoen in vergelijking met granen. Indien vlinderbloemige gewassen geen graangewas in de rotatie zouden vervangen, maar een intensief bemest groentegewas, komt men in de situatie dat de gewasresten net minder N bevatten en dat het gewas zonder N-bemesting werd geteeld. Deze vergelijking werd niet in de literatuur teruggevonden maar het zal dus in Vlaamse context zeer belangrijk zijn welk gewas de graanleguminose vervangt. Er kan voorzichtig gesteld worden dat een graanleguminose + vanggewas niet verschillend zal zijn in nitraatuitspoeling dan een klassiek graangewas, en dat een graanleguminose in de plaats van een groentegewas positiever uitdraait naar nitraatverliezen toe. Al kan dit laatste niet bevestigd worden uit de literatuur. Welk gewas de graanleguminose zal vervangen zal afhangen van de financiële situatie.

P-uitspoeling

Sommige leguminosen zoals lupinen die aangepast zijn aan arme bodemomstandigheden, zijn in staat om efficiënt P op te nemen uit de bodem (Braun en Helmke, 1995). Na oogst van de teelt is P in organische vorm aanwezig en komt het gemakkelijker ter beschikking van een volggewas dat minder efficiënt P opneemt (Pypers et al., 2007). De techniek waarbij een leguminose als afwisselgewas op deze manier wordt ingezet wordt toegepast in arme of P-fixerende bodems. De landbouwbodems in Vlaanderen hebben echter hoge tot zeer hoge P-gehalten. Bovengesteld mechanisme is dus niet nodig. Het blijft echter de vraag of de mineralisatie van gewasresten van leguminosen een andere invloed hebben op de P-uitspoeling. Uit een incubatie-experiment met percolatiekolommen, bleek dat P-uitspoeling na inwerken van verschillende groenbedekkers een significant effect had op de P-uitspoeling (Vanden Nest et al., 2012). Het inwerken van Italiaans raaigras, gele mosterd en gras/klaver gezaaid in het vroege najaar had een verlagend effect op de P-uitspoeling (30%). Het inwerken van Japanse haver had geen effect op de P-uitspoeling kort na inwerken in vergelijking met de bodem zonder groenbedekker. Japanse haver had het hoogste aandeel oplosbare P in het plantenmateriaal. Riddle en Bergström (2013) vonden dat het inwerken van groenbedekkers net tot meer P-uitspoeling zorgde en dit was ook de conclusie van langetermijn-onderzoek van Aronsson et al. (2007), die dubbel zoveel P-uitspoeling op jaarbasis terugvond in drainagebuizen van een biosysteem met maximale inzet van groenbedekkers ten opzichte van een conventioneel systeem met minerale meststoffen. Uit een percolatie experiment van Vanden Nest et al. (2015) bleek verder ook dat het toevoegen van witte klaver, rogge en Italiaans raaigras aan de bodem initieel de P-uitspoeling sterk wordt verlaagd ten opzichte van de controle. Na enkele weken wordt de P-uitspoeling uiteindelijk groter bij de bodems waar plantenmateriaal werd ingewerkt ten opzichte van de controle. Witte klaver kon de uitspoeling van P sterker en langer onderdrukken dan rogge en Italiaans raaigras. Er was geen afdoende verklaring, maar de samenstelling en mineralisatie/immobilisatie van P lijken aan de basis te liggen. Dit geeft aan dat de gewasresten ook in P-rijke omstandigheden een invloed kunnen hebben op de P-uitspoeling. Het is echter niet geweten in welke mate en wat de achterliggende reden is, noch of dit voor leguminosen verschillend is dan voor andere gewassen.

17.1.2.2 NH₃-emissies

De NH₃-emissie door het inpassen van vlinderbloemigen kan beïnvloed worden op het teeltniveau en via het rantsoen niveau van dieren.

De invloed op teeltniveau kan verder opgedeeld worden in emissies door een gewijzigd kunstmestgebruik en emissies door het gewas of gewasresidu's zelf. Landbouwsystemen of teelten die gebaseerd zijn op N₂-fixatie hebben een duidelijk lagere NH₃-emissie en denitrificatie dan in systemen met N-kunstmest en dierlijke mest (Jensen en Hauggaard-Nielsen, 2003). Door de vlinderbloemigen in te zetten, kan het verbruik van N-kunstmest en tevens gebruik van dierlijke mest verlaagd worden. Dit zorgt ervoor dat de bron van NH₃-emissie gedeeltelijk wordt weggelaten. Doch enkel de kunstmest



kan in rekening gebracht worden, de dierlijke mest zal op andere gewassen ingezet kunnen worden. Hoeveel winst te boeken valt door verminderd kunstmestgebruik zal afhangen van het gewas vlinderbloemige en van het gewas dat vervangen wordt. Het totaal verbruik, wijze van toedienen en tijdstip van toedienen in het te vervangen gewas zal bepalen hoe groot de geboekte winst is. Een logische redenering kan zijn dat gemaaid grasland kan vervangen worden door gras/klaver of gras/luzerne en dat graanleguminosen klassieke graanteelten vervangen. NH₃-emissie kan vanuit het gewas zelf ontstaan. Bertelsen en Jensen (1992) gaven bv. aan dat tot wel 50 kg N/ha via deze weg kan verloren gaan. Dit werd echter ook reeds vastgesteld bij niet leguminosen (Schjoerring et al., 1989). Gemiddeld gezien wordt vanuit het gewas een gemiddeld verlies van 5 kg N/ha per jaar verwacht via NH₃-emissie in gematigde klimaten, voor zowel erwten, wintertarwe, koolzaad als zomergerst (Schjoerring en Mattsson, 2001). Legard (2001) gaf aan dat in intensieve graassystemen van gras/klaver in Nieuw-Zeeland, NH₃-emissie toeneemt van 15 tot 68 kg N/ha per jaar door het bemesten met 400 kg N/ha uit kunstmest in vergelijking met een nulbemesting. Dit geeft aan dat de bemesting op zich belangrijker lijkt te zijn dan al dan niet de keuze voor een vlinderbloemig gewas. Doordat de gewasresten van vlinderbloemigen een lagere C:N verhouding hebben, leidt de afbraak van gewasresten van vlinderbloemigen mogelijk tot een verhoogde NH₃-emissie in vergelijking met niet-vlinderbloemigen, maar hier werd geen literatuur over gevonden.

Voeders kunnen sterk verschillen in samenstelling en voederwaarde. Het inpassen van vlinderbloemigen in het rantsoen en het vervangen van andere voedergewassen, heeft echter geen direct effect op de rantsoensamenstelling. Het rantsoen zal moeten herbekeken worden en opnieuw uitgebalanceerd worden op basis van de nieuw toegevoegde component. Het gaat dus niet om een 1 op 1 vervanging van een andere component en daarom wordt weinig effect op de NH₃-emissie verwacht door het toevoegen van een vlinderbloemig gewas (Dorien Van Wesemael, pers. Communicatie). Er kan wel aan het rantsoen gesleuteld worden om emissies te verlagen, maar dit staat los van de vlinderbloemigen en wordt behandeld in 'Innovaties: Rantsoenen'. Gras/klaver is momenteel de grootste voederteelt die een vlinderbloemige component bevat in Vlaanderen. Opvolging van de voederwaarde van oordeelkundig bemeste en gemaaide gras/klavers in praktijksituatie 2014-2018 gaf aan dat er weinig verschil te merken was in de VEM (voeder eenheid melk) en DVE (darmverteerbaar eiwit) van gras/klaver (200 kg N werkzaam/ha) in vergelijking met gras (300 kg N werkzaam/ha). De OEB-waarde van gras/klaver is echter dikwijls hoger dan deze van gras (De Vlieghe et al., 2019). Indien men 1 op 1 gras als ruwvoer in het rantsoen zou vervangen door gras/klaver kan dit aanleiding geven tot verhoogde NH₃-emissies. Toch is het verwachte effect beperkt. Verschillen in OEB tussen gras en gras/klaver zijn beperkt in vergelijking tot verschillen tussen snedes, percelen en jaren. Bovendien is gras/klaver slechts een beperkt onderdeel van het rantsoen dat tevens ook dient uitgebalanceerd te worden voor deze licht andere OEB.

17.1.2.3 Andere nutriëntenverliezen (erosie en run-off)

Door een veranderend klimaat zal de incidentie van korte en hevige regen toenemen. Dit kan leiden tot meer nutriëntenverliezen via run-off en erosie. Bijkomende maatregelen zullen nodig zijn om nutriëntenverliezen te beperken, maar deze kunnen in meerdere gewassen en over de gewassen heen genomen worden en zijn niet gerelateerd aan de teelt van vlinderbloemigen op zich. Dit wordt hier niet verder besproken.

17.1.3 Vlinderbloemigen en het klimaat

17.1.3.1 CO₂ emissies en energieverbruik door kunstmestproductie versus biologische N₂-fixatie

De klimaatwinst die kan geboekt worden met vlinderbloemigen is in essentie deze die voorkomt door het inzetten van biologische N₂-fixatie in plaats van N-kunstmestproductie. N kunstmest wordt

////////////////////////////////////

geproduceerd op basis van het extreem energieverslindende Haber-Bosch-proces. Al zijn er op termijn wel mogelijk minder energieverslindende chemische technieken mogelijk zoals op basis van organoboor-complexen (Dijkgraaf, 2020). Al is dit momenteel nog in onderzoeksfase. De huidige N-kunstmestproductie –dus via het klassiek Haber-Bosch-proces- vertegenwoordigt maar liefst 1 tot 2% van het totale energieverbruik op onze planeet (Jenkinson 2001). Hoewel de CO₂-respiratie van vlinderbloemigen gelijk of zelfs hoger is (er wordt zo een 10 g CO₂ meer gerespireerd door het wortelsysteem van vlinderbloemigen per vastgelegde gram N uit de fixatie dan bij gewassen die N uit bemesting en bodem opnemen) dan deze van andere gewassen, is deze CO₂ van niet-fossiele oorsprong (Jensen et al., 2012).

In Tabel 53 en Tabel 54 werden gegevens uit een aantal onderzoeken door Jensen et al. (2012) samen gebracht om een vergelijking in energieverbruik tussen gewassen op te stellen. Maar liefst 51% en 81% van het energieverbruik van fossiele oorsprong is te wijten aan N-kunstmestproductie bij respectievelijk gerst en grasland (zie Tabel 53). Ook in Tabel 54 zie je een groter verbruik aan fossiele energie voor de niet-vlinderbloemige gewassen die sterk te verklaren is door het verschil in N-kunstmestverbruik. Per hectare is er duidelijk een energiebesparing (en dus netto vermindering in CO₂-uitstoot) mogelijk door vlinderbloemigen te telen. Wanneer we echter vergelijken in energieverbruik per kilogram geoogst product worden de verschillen erg klein. Uiteraard is een kilogram bonen niet gelijk aan een kilogram gerst. Op basis van de ruwe eiwitproductie zijn de vlinderbloemigen opnieuw veel voordeliger dan de andere gewassen (Köpke en Nemecek, 2010). Een vergelijking dient met de juiste referentie te gebeuren.

Tabel 53 Verbruik aan fossiele energie voor erwt, gerst, gras/klaver en grasland in Denemarken en de totale DS-productie (bron: naar Peoples et al., 2009b).

Table 6 Fossil energy consumed in pea, barley, and forage crops in Denmark and the amount of product dry matter (DM) harvested (Peoples et al. 2009b)

Parameter ^a	Pea	Barley	Grass-clover	Grass
Direct energy in diesel use (MJ ha ⁻¹)	3,320	3,400	3,940	4,880
N fertilizer (kg N ha ⁻¹)	0	130	125	400
N fertilizer (MJ ha ⁻¹)	0	6,500	6,250	20,000
Seeds and non-N fertilizers (MJ ha ⁻¹)	2,770	1,860	Manure ^b	Manure ^b
Pesticides (MJ ha ⁻¹)	900	900	50	50
Total fossil energy use (MJ ha ⁻¹)	6,990 (55%)	12,660	10,240 (41%)	24,930
Harvested product (kg DM ha ⁻¹)	6,000	8,000	7,700	11,700
Energy input (MJ kg DM ⁻¹)	1.16 (73%)	1.58	1.32 (62%)	2.13

Values in parentheses represent energy use in legume systems expressed as a percentage of the energy used by the non-legume comparison

^a Basis of calculations: diesel=41 MJ L⁻¹; N fertilizer=50 MJ kg N⁻¹; pesticides=300 MJ kg⁻¹ active ingredient

^b Energy costs associated the collection and spreading of manures to forage crops are not included in the calculations, but were assumed to be similar for both the grass and the grass-clover mixture



Tabel 54 Vergelijking van de hoeveelheid N-kunstmestverbruik en energieconsumptie voor een aantal vlinderbloemige en niet-vlinderbloemige gewassen en de DS-opbrengsten in Zwitserland (bron: naar Köpke en Nemecek, 2010) en Noord-Amerika (Zentner et al., 2004; Rathke et al., 2007).

Table 7 Comparisons of the amounts of N fertilizer used and energy consumed in the production of a range of legume and non-legume grain crops, and the amount of product dry matter (DM) harvested in the cropping systems of Switzerland (Köpke and Nemecek 2010) and North America (Zentner et al. 2004; Rathke et al. 2007)

Parameter	Crop					
Switzerland	Pea	Faba bean	Wheat	Barley	Canola	Maize
N fertilizer applied (kg N ha ⁻¹)	5	5	136	100	105	110
Total energy use (MJ ha ⁻¹)	14,100	13,500	22,900	20,100	18,400	34,100
Harvested product (kg DM ha ⁻¹)	3,340	3,290	5,461	5,803	2,926	7,980
Energy input (MJ kg DM ⁻¹)	4.22	4.10	4.19	3.46	6.29	4.27
North America	Pea	Soybean	Spring wheat	Winter wheat	Flax	Maize
N fertilizer applied (kg N ha ⁻¹)	19	0	76	106	59	113
Total energy use (MJ ha ⁻¹)	4,584	5,938	8,400	8,730	7,040	9,713
Harvested product (kg DM ha ⁻¹)	2,504	2,350	2,446	2,519	1,800	6,470
Energy use efficiency (MJ kg DM ⁻¹)	1.83	2.53	3.43	3.46	3.91	1.50

Data have been averaged across different tillage treatments

Naast rechtstreekse energiewinst door N-kunstmest te besparen, kan er ook winst zijn door extra N nalevering uit gewasresten van vlinderbloemigen aan een volggewas, en door minder noodzaak aan gewasbeschermingsmiddelen door het doorbreken van een ziekte/plaagcyclus door het toevoegen van een extra gewas dat al dan niet geen familie is van de huidige gewassen (Jensen et al., 2012).

17.1.3.2 N₂O emissies

N₂O-emissies zijn voor 60 tot 70% afkomstig van veeteelt en plantaardige productie (Mosier 2001, IPCC 2007). Een grove inschatting geeft aan dat per 100 kg N toegediend als meststof, er 1.0kg N kan verloren gaan als N₂O (IPCC, 2006). Het onderzoek geeft echter aan dat er zeer grote ranges zijn van emissie binnen gewassen of gewasgroepen (zie Tabel 55, Jensen et al., 2012). N₂O wordt in de bodem gevormd door nitrificatie en denitrificatieprocessen, die op zich gestuurd worden door het vochtgehalte van de bodem, de temperatuur, de pH, het bodemorganische stofgehalte en de hoeveelheid NO₃⁻ en NH₄⁺ in de bodem (Hopkins en Del Prado, 2007). N₂O wordt gevormd wanneer het microbiële leven een O₂ tekort heeft en wanneer organische C en NO₃⁻ beschikbaar is (Peoples et al., 2004; Stehfest en Bouwman, 2006). Conceptueel kan gesteld worden dat N₂O verloren gaat als gas indien de N-omzettingen in de bodem 'lekkages' vertonen. Dit wordt het hole-in-pipe model genoemd (Firestone en Davidson, 1989). Het verhogen van de efficiëntie van de minerale N-opname door het gewas kan voorkomen dat er veel N₂O emissie is. Dit kan door te bemesten op het geschikte tijdstip en via geschikte toepassingstechnieken (Dosch en Gutser, 1996), het gebruik van ammoniummeststoffen i.p.v. nitraatmeststoffen (Dobbie en Smith, 2003) en het gebruik van nitrificatieremmers (Macadam et al., 2003). Ook aeratie en verbeterde drainage (Monteny et al., 2006) en het voorkomen van verdichting (Pinto et al., 2004) door machines en vee zorgt voor minder N₂O uitstoot. Natuurlijk zorgt een verbeterde drainage dan ook wel weer voor een gemakkelijke afvoer van nutriënten naar het grondwater. Het gebruik van drijfmest i.p.v. stalmest zou tot minder N₂O-emissie zorgen, maar stalmest is dan weer beter voor de opbouw van organische stof, wat uitermate belangrijk zal worden in een veranderend klimaat. Ook het opstallen en uniform spreiden van drijfmest leidt tot minder N₂O-emissie (Groenestein en Van Faassen, 1996). Indien natuurlijk een deel of alle kunstmest kan vervangen worden door het telen van een vlinderbloemige of een mengteelt met vlinderbloemige component, is de bron van waaruit de N₂O-emissie kan ontstaan geheel of gedeeltelijk weggenomen. N₂O-emissie van intensief bemeste graslanden kan tot 4 keer zo hoog zijn dan van onbemeste gras/klavers (Ruz-Jerez et al., 1994). Toch geeft Tabel 55 aan dat de ranges van emissie tussen vlinderbloemige gewassen en andere gewassen vrij gelijklopend zijn. Dit kan te wijten zijn aan het landbouwsysteem (lage bemesting), omgevingsfactoren en moment van meten (Jensen et al., 2012). Vooral kort na het toepassen van de bemesting kunnen er hoge N₂O-emissies zijn (Soussana et al.,



2010). Tabel 56 (Jensen et al., 2012) geeft een beeld van enkele rotaties in de VS en Brazilië met grote verschillen in bemesting, die ook sterk de N₂O-emissies bepalen.

Tabel 55 Voorbeelden van N₂O-emissies gemeten in N-bemest grasland, akkerbouwgewassen en onbemeste bodems in Zuid-Amerika, Europa, Zuid-Azië, Oost-Azië, Australië en Nieuw-Zeeland (Bron: Jensen et al., 2012).

Table 2 Examples of total N₂O emissions from field-grown legumes, N fertilized grass pastures and crops, or un-fertilized soils in North and South America, Europe, South Asia, East Asia, Australia, and New Zealand

Category and species	Number of site-years	Total N ₂ O emission per growing season or year (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	
		Range	Mean
Pure legume stands^a			
Alfalfa	14	0.67–4.57	1.99
White clover	3	0.50–0.90	0.79
Mixed pasture sward^a			
Grass–clover	8	0.10–1.30	0.54
Legume crops^a			
Faba bean	1	–	0.41
Lupin	1	–	0.05
Chickpea	5	0.03–0.16	0.06
Field pea	6	0.38–1.73	0.65
Soybean	33	0.29–7.09	1.58
<i>Mean of all legumes</i>	<i>71</i>		<i>1.29</i>
N-fertilized pasture^b			
Grass	19	0.3–18.16	4.49
N-fertilized crops^b			
Wheat	18	0.09–8.57	2.73
Maize	22	0.16–12.67	2.72
Canola	8	0.13–8.60	2.65
<i>Mean of fertilized systems</i>	<i>67</i>		<i>3.22</i>
Soil^c			
No N fertilizer or legume	33	0.03–4.80	1.20

Collated from the data presented by Ruz-Jerez et al. (1994); Bouwman (1996); Wagner-Riddle et al. (1997); Hénault et al. (1998); Kamp et al. (1998); Mahmood et al. (1998); Teira-Esmatges et al. (1998); Goossens et al. (2001); Aulakh et al. (2001); Rochette and Janzen (2005); Parkin and Kaspar (2006); Jones et al. (2007); Barton et al. (2008); Ciampitti et al. (2008); Chen et al. (2008); Barton et al. (2010); Schwenke et al. (2010); Barton et al. (2011), and includes unpublished data of Morrison et al. (unpublished data)

^a Data come from systems where either no N fertilizer was used, or legumes were supplied with just 5 kg fertilizer-N ha⁻¹ as “starter N” at sowing, except for two experiments with grass–clover pastures and three soybean studies where 35–44 kg fertilizer-N ha⁻¹ had been applied

^b Data have been restricted to trials where only N fertilizer was used. Treatments that included applications of animal manures have been excluded. Emissions from grasslands include both grazed and mown systems

^c Includes data from either unplanted soils or non-legume species where no N fertilizer was applied

Tabel 56 N₂O-emissies voor rotaties in twee opeenvolgende jaren in Brazilië (Jantalia et al., 2008) en de Verenigde Staten (Parkin en Kaspar, 2006), samengevoegd naar Jensen et al. (2012).

Table 3 Measurements of N₂O emissions for different cropping sequences over two consecutive years in Brazil (Jantalia et al. 2008) and the USA (Parkin and Kaspar 2006)

Crop(s) in 2003	N fertilizer applied (kg N ha ⁻¹)	N ₂ O emissions (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	Crop(s) in 2004	N fertilizer applied (kg N ha ⁻¹)	N ₂ O emissions (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)
Brazil					
Soybean–wheat	0 (soybean) 45 (wheat)	0.81a	Soybean–wheat	0 (soybean) 45 (wheat)	0.64a
Soybean–vetch	0	0.73a	Sorghum–wheat	60 (sorghum) 45 (wheat)	0.66a
Maize–wheat	0 (maize) 45 (wheat)	0.83a	Soybean–vetch	0	0.68a
USA					
Soybean	44	2.4b	Maize	215	12.7a
Maize	215	8.6a	Soybean	44	7.1b

Data have been averaged over several tillage systems. For each experiment and year, values followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)



grasmengsel, kan helpen om de droogtetolerantie van het maaigewas te verhogen, bv. door een verschillende worteldiepte van de componenten (Hofer et al., 2016). Bij droogte gaan grassen sneller doorschieten en daalt de verteerbaarheid snel, door het toevoegen van een vlinderbloemige component wordt dit effect vertraagd (Bélanger et al., 2001; Bloor et al., 2010). Momenteel wordt witte klaver het meest ingezet en is dit gewas ook het meeste veredeld (Komainda et al., 2018), maar ook witte klaver wortelt oppervlakkig en is slechts weinig toleranter tegen droogte dan de meeste grassen. Daarom wordt ook richting andere vlinderbloemigen gekeken die dieper wortelen of die toleranter zijn zoals rode klaver, esparcette en rolklaver. Zowel esparcette als rolklaver zijn toleranter en herstellen beter na een periode van droogte dan witte klaver, deze vlinderbloemigen zijn echter nog maar beperkt veredeld en het blijft de vraag of deze concurrentieel krachtig genoeg zijn om te overleven in een mengsel. Zeker als het gras intens beheerd wordt (Komainda et al., 2018). Dit geeft het pijnpunt aan bij gras/vlinderbloemige mengsels. Het potentieel is groot, maar de veredeling voorlopig beperkt. Ondanks dat vlinderbloemige maaigewassen kunnen toegevoegd worden aan grasland om de droogtetolerantie te verhogen, is de variabiliteit in opbrengst van graanleguminosomen door droogte hoger dan deze van granen. Dit is vooral te wijten aan meer en intenser onderzoek in de granen dan in de leguminosomen en tevens ook omwille van de diepere en intensievere beworteling. De grote variatie in droogtetolerantie binnen en buiten genera van de vlinderbloemigen, geeft opnieuw aan dat er nog wel veel potentieel is om tolerantie via veredeling of via teelttechniek te verhogen (Daryanto et al., 2017).

17.1.4 Conclusie

Vlinderbloemigen worden als teelt voor een groot stuk verdrongen uit de moderne landbouw, maar bieden in het kader van nutriëntenverliezen en klimaatmitigatie opportuniteiten. Vlinderbloemige gewassen zijn in zekere zin geen innovatie, maar het terug oppikken van gewassen die sterk werden verdrongen. De innovatie ligt niet in het introduceren van de vlinderbloemigen, maar in het sluiten van de kenniskloof tussen deze groep van gewassen en gewassen met grotere arealen die ook typisch meer werden onderzocht in de laatste eeuw. We maken geen onderscheid tussen vlinderbloemige gewassen in onderstaande inschatting, omdat ze in zekere zin op dezelfde manier kunnen benaderd worden. Ze bieden immers dezelfde voor- en nadelen en dezelfde knelpunten doen zich voor. De mate waarin ze nutriëntenverliezen beperken, bruikbaar zijn voor klimaatmitigatie en haalbaar zijn voor de praktijklandbouw kan gewas per gewas wel anders zijn.

1. Bijdrage tot de beperking van nutriëntenverliezen

De beperking op nutriëntenverliezen indien men N-dosissen verlaagt en rekening houdt met de N-cyclus (bv. mineralisatie na onderploegen zode of gewasresten) is bewezen.

2. Bijdrage tot klimaatmitigatie

Beperking van de N-bemesting door het inpassen van vlinderbloemigen verlaagt het gebruik van fossiele brandstoffen voor de productie van N-meststoffen en is dus een vorm van klimaatmitigatie.

3. Technology Readiness Level-score

Level 9: Actual system proven in operational environment

Zowel het fundamenteel als het praktijkonderzoek wijst er op dat het inpassen van vlinderbloemigen in de rotatie landbouwkundig kan, mits gepaste fyto-technie. Machines en uitrusting zijn meestal aanwezig om het te kunnen uitrollen. Toch is de uitrol heel gelimiteerd omwille van de knelpunten.



4. Knelpunten?

Gewasopbrengst, opbrengststabiliteit, rendabiliteit en onvoldoende praktijkkennis.

Omdat vlinderbloemige gewassen minder belangrijk zijn in areaal dan granen, en dikwijls minder belangrijk in financiële opbrengst dan industrie of groentegewassen, werd en wordt er ook proportioneel minder onderzoek naar vlinderbloemigen gedaan dan bv. granen. Hierdoor moeten volgende zaken zeker nog aangepakt worden:

- **Gewasopbrengst:** voor veel van de graanleguminosen zou de potentiële opbrengst best hoger liggen om het gewas als landbouwer interessant te maken. Dit kan via meer veredelingsactiviteit en betere gewasbescherming.
- **Opbrengststabiliteit:** Gewasopbrengsten durven over de jaren heen sterk te schommelen. Dit maakt gewassen met een lagere maar meer verzekerde (financiële) opbrengst aantrekkelijker dan leguminosen.
- **Rendabiliteit te laag t.o.v. klassieke akkerbouwteelten**
- **Onvoldoende praktijkkennis** bij de landbouwer om de teelt tot een goed einde te brengen.
- **Gemak en kostprijs van N-kunstmest en beschikbaarheid van N uit organische mest:** Vlinderbloemigen zijn geen noodzaak om voldoende N-input te hebben in het (conventioneel) landbouwsysteem

5. Kennishiaten en onderzoeksopportunities?

- Rassenveredeling
- Gewasbescherming
- Interactie rhizobium-plant
- Langetermijn voordelen van het opnemen van een vlinderbloemige in de rotatie
- Mengteelten van grasachtigen en vlinderbloemigen op grote (conventionele) schaal
- Peulvruchten als eiwitbron voor menselijke voeding
- Keuze en voordelen van andere vlinderbloemige planten die momenteel quasi niet geteeld worden

17.2 Innovatie 2 — Bodemkwaliteit

Het blijft een modelmatige inschatting van hoe de klimaatverandering precies zal uitdraaien voor Vlaanderen, maar het staat vast dat weersomstandigheden extremer zullen worden. Hoewel verhoogde temperaturen en CO₂-concentraties mogelijk wel het opbrengstpotentieel verhogen, kunnen periodes van onvoorspelbare weerextremen de gewasopbrengst en kwaliteit sterk inperken. Storm, hevige neerslag, droogte en hittegolven kunnen gewassen sterk inperken in opbrengst op korte tijd door legering, erosie, ontoegankelijkheid van percelen in periode van zaai en oogst, vervoegd afrijpen, steriele pollen, afsterven van bladeren enz. Klimaatverandering kan ook verschuiving in ziekten en plagen teweegbrengen.

Dit alles betekent dat we in de toekomst sterker zullen moeten inzetten op factoren die we wel in de hand hebben. Factoren die het gewas een zo goed mogelijke startsituatie bieden en plantenstress minimaliseren, zodat het gewas veerkrachtiger is bij veranderde weersomstandigheden. Een van de belangrijkste van deze factoren is de bodemkwaliteit. De bodem zal voldoende veerkracht moeten bieden aan het gewas om gewasopbrengsten te blijven garanderen. Landbouwers hebben op heden niet meer de mogelijkheden om gewasopbrengsten in slechtere bodems te garanderen door overmatige N-bemesting. Ook het palet van chemische gewasbeschermingsmiddelen is sterk afgenomen. Dit maakt dat bodemkwaliteit alleen maar belangrijker zal worden. 'Bodemkwaliteit' is



echter een moeilijk tastbaar begrip, dat bovendien moeilijk in cijfers is om te zetten. Het huidige beleid van de verschillende overheden reflecteert dit. Men erkent namelijk meer en meer het belang van de bodem en onderneemt acties om deze te beschermen en/of de kwaliteit te verbeteren. De Verenigde naties riep 2015 bv. uit tot het internationaal jaar van de bodem, met vele lokale initiatieven tot gevolg. Het blijft echter moeilijk een referentiekader in kwantitatieve parameters te omschrijven van wat een 'goede' (landbouw)bodem is.

17.2.1 Definitie bodemkwaliteit

Bodemkwaliteit wordt beschouwd als het geïntegreerde geheel van biologische, chemische en fysische eigenschappen en processen in een bodem en zijn omgeving (Reubens et al., 2010). Hoewel de biologische, chemische en fysische bodemeigenschappen opgemeten kunnen worden, blijft een geheel van parameters noodzakelijk om een inschatting van de bodemkwaliteit te geven. We kiezen hier voor het woord 'inschatting' omdat, op de chemische bodemparameters na, weinig of geen waarden zijn gedefinieerd voor biologische en fysische parameters die kunnen beschouwd worden als streefwaarden van een 'goede' (landbouw)bodem. Van Eekeren et al. (2010) gaf een meer praktische benadering voor bodemkwaliteit, namelijk: "Agronomic soil quality is the sustained ability of a soil to (i) provide enough water and nutrients to crops, (ii) maximize the use efficiency of external inputs, (iii) minimize negative influences on the environment and (iv) sustain soil biodiversity". Om nutriënten en water zo efficiënt mogelijk ter beschikking te stellen van het gewas, zijn twee parameters volgens de experts in de workshop (Nawara et al., 2020) zeer belangrijk, namelijk organische stof in de bodem en bodemzuurtegraad. Ook de doctoraatsstudie van D'Hose (2015) geeft via een PCA-analyse van een grote groep bodemchemische, -biologische en -fysische parameters, gemeten op meerdere langetermijnproeven aan dat enkel de bodemorganische stof tot uiting komt als een erg bepalende factor voor de gewasopbrengst. Over de bodemzuurtegraad als opbrengstbepalende factor kon in deze studie moeilijker geoordeeld worden, aangezien de range in pH klein en bijna steeds optimaal was. Beide bodemparameters zullen hieronder besproken worden. Tijdens de workshop kwam tevens naar voor dat werken aan organische stof in de bodem via het aanbrengen van meer stabiele organische meststoffen of bodemverbeteraars slechts moeizaam gaat, gezien de beperkingen van de mestwetgeving en de overmatige beschikbaarheid van dierlijke drijfmest. Een mogelijke uitweg zit echter in de vruchtafwisseling en het gebruik van vanggewassen/groenbedekkers. De keuze van de gewassen en het hanteren van wisselbouw (gras-akker afwisselen) kunnen ook gehanteerd worden om aan organische stof in de bodem te werken. Bovendien verhoogt de vruchtafwisseling an sich ook de veerkracht van de bodem bij een gewas onder stress (zie verder). We bespreken dan ook vruchtafwisseling in het kader van bodemkwaliteit en gewasopbrengst. Ten slotte bespreken we ook bodemverdichting als bedreiging voor de bodemkwaliteit.

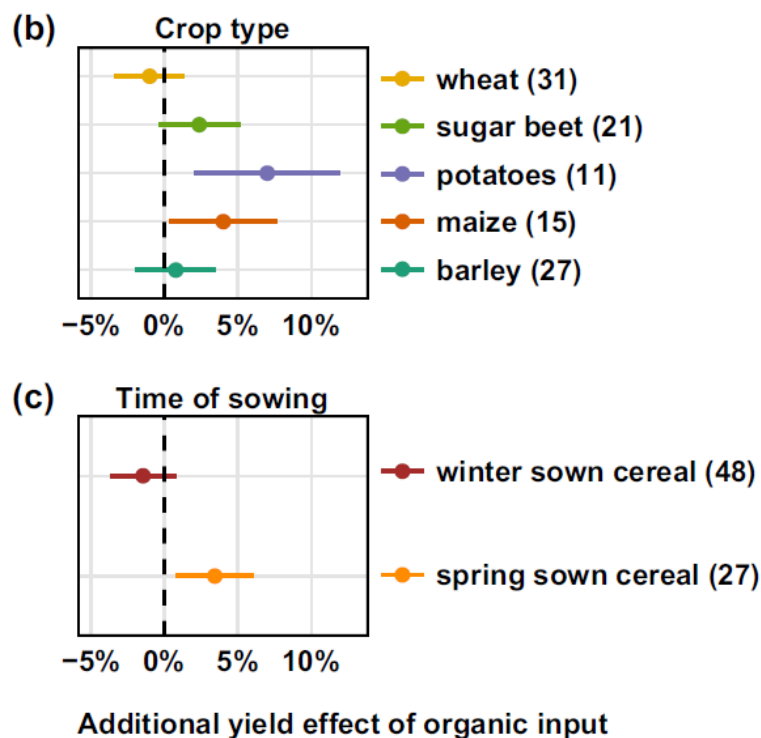
17.2.2 Organische stof in de bodem

Strikt genomen is er geen organische stof nodig om planten te voeden en te laten overleven. Het beste voorbeeld zijn hydroculturen. In de bodem is organische stof echter een onontbeerlijk iets. Organische stof beïnvloedt bodemstructuur, bodemdichtheid, verdichting, erosie, bodemleven, nutriëntenbeschikbaarheid, bodemchemie, temperatuur en waterhuishouding (Reubens et al., 2010). In Figuur 96 wordt getracht de verbanden tussen al deze processen in kaart te brengen. Er zijn volgens Mulier et al. (2005) 6 sleutelprocessen voor gewasproductie, namelijk mogelijkheid tot wortelgroei, goede zuurstofvoorziening, voldoende watervoorziening, adequate nutriëntenvoorziening, immobilisatie en detoxificatie van stoffen die gewasgroei negatief beïnvloeden en onderdrukking van ziektes. Organische stof in de bodem heeft een invloed op alle 6 de processen, maar drie processen springen er in landbouwcontext het meest uit:

1. Wortelgroei;
2. Nutriëntenvoorziening;



Hijbeek et al. (2017) onderzocht eveneens het verband tussen organische stof in de bodem en de gewasopbrengst. Hiertoe werd een meta-data-analyse uitgevoerd van 20 Europese langetermijnproeven waarbij het additionele opbrengsteffect van het toevoegen van organische bemesting werd bekeken op akkerbouwgewassen. De analyse werd zo uitgevoerd dat dit additioneel effect kon worden onderscheiden van een nutriënteneffect, enerzijds door enkel rekening te houden met metingen in bodems die voldoende voorraad hebben aan P en K en anderzijds door het opstellen van een N-responscurve met en zonder het gebruik van organische stof, zodat het additionele effect van organische stof het verschil is van het optimum van de 2 responscurves. Dit is een vrij unieke benadering, aangezien in veel onderzoek de opzet van de behandelingen niet toelaat om een effect van het gebruik van organisch materiaal te onderscheiden van een toediening van nutriënten via dat organisch materiaal (Oelofse et al., 2015). Uit het onderzoek van Hijbeek et al. (2017) kwam naar voor dat, over alle data van de studie heen, organische stof in de bodem onverwacht geen significant effect had op de opbrengst. Het ontrafelen van de resultaten biedt echter wel enkele belangrijke waarnemingen. Aardappelen en maïs hadden respectievelijk 7,0 en 4,0% meeropbrengst door de input aan organisch materiaal (Figuur 98). Een mogelijke verklaring kan hierbij in het wortelsysteem gezocht worden. Aardappelen en in mindere mate maïs hebben, in vergelijking met graan en suikerbieten, een beperkter wortelgestel (Hijbeek et al., 2017). Een betere bodemstructuur dankzij de organische stof kan leiden tot een betere wortelgroei. Bij zomergranen wordt 3,4% meeropbrengst gerealiseerd dankzij de input aan organisch materiaal, bij wintergranen niet (Figuur 3). Ook hier kan wortelgroei door een betere bodemstructuur aan de basis liggen. Zomergranen hebben immers minder tijd ter beschikking om de ontwikkeling van het wortelgestel te laten plaatsvinden (Johnston et al., 2009).



Figuur 98 Het additioneel gewasopbrengst effect van het langetermijn gebruik van organische mest voor een aantal akkerbouwgewassen (boven) en het verschil tussen winter- en zomergranen (onder). De gekleurde lijnt geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Het cijfer tussen haakjes geeft het aantal datapunten aan (bron: Hijbeek et al., 2017).

17.2.2.2 Organische stof — bodemstructuur

Johnston en Dawson (2005) gaven op basis van eerder onderzoek van Johnston van de (zeer) langetermijnproeven te Rothamsted aan dat de bodemstructuur hier een primordiaal gegeven is. In tabel 1 worden voor zomergerst, aardappelen en suikerbieten bij twee niveaus van organische stof in

de bodem de maximale opbrengst en het Olsen P-gehalte (een analyse ter bepaling van de voorraad aan P) om deze opbrengst te halen, weergegeven. Hieruit blijkt dat de Olsen-P-waarde een pak lager mag liggen als het organische-stofgehalte op een hoger niveau ligt. Onderaan Tabel 57 wordt het resultaat van een potproef weergegeven, waarbij van dezelfde bodems een staal werd genomen, gezeefd op 2 mm en vervolgens gebruikt om gras te telen. Hieruit blijkt dat het verschil in gewenst Olsen-P-gehalte voor het bereiken van de maximale opbrengst volledig verdwenen is. Johnston en Dawson (2005) concluderen hieruit dat door het wegnemen van het verschil in bodemstructuur (zeven op 2 mm vernietigt de structuur) het voordeel van organische stof in de bodem verdwijnt. Al wordt er tevens op gewezen dat niet alleen de bodemstructuur speelt. In Tabel 58 wordt van enkele langetermijnproeven uit Rothamsted weergegeven wat het verschil is in organische C, totale P, Olsen-P en CaCl₂-P (maat voor direct beschikbaar P in het bodemwater) voor behandelingen met stalmest en minerale P (Johnston en Poulton, 1992). Hier valt onmiddellijk op dat de toename in direct beschikbare P disproportioneel groter is dan de toename in totale P en Olsen-P bij de stalmest behandelingen in vergelijking met de behandeling met de minerale P. Een verklaring ligt mogelijk in het effect dat organische stof heeft op de beschikbaarheid van P. Organische stof interageert immers met de adsorptieplaatsen van P op Al, Fe en Ca in de bodem. Het is dus duidelijk dat de organische stof op meerdere processen tegelijk kan spelen.

Crop	Soil organic matter	Yield at 95% of the asymptote	Olsen P associated with the 95% yield	Percentage variance accounted for
<i>Field experiments</i>				
	%	t/ha	mg/kg	
Spring barley, grain	2.4	5.00	16	83
	1.5	4.45	45	46
Potatoes, tubers	2.4	44.7	17	89
	1.5	44.1	61	72
Sugar beet, sugar	2.4	6.58	18	87
	1.5	6.56	32	61
<i>Pot experiments in the glasshouse</i>				
	%	g/pot	mg/kg	
Grass, dry matter	2.4	6.46*	23	96
	1.5	6.51	25	82

* the response curves at the two levels of soil organic matter were not visually different.

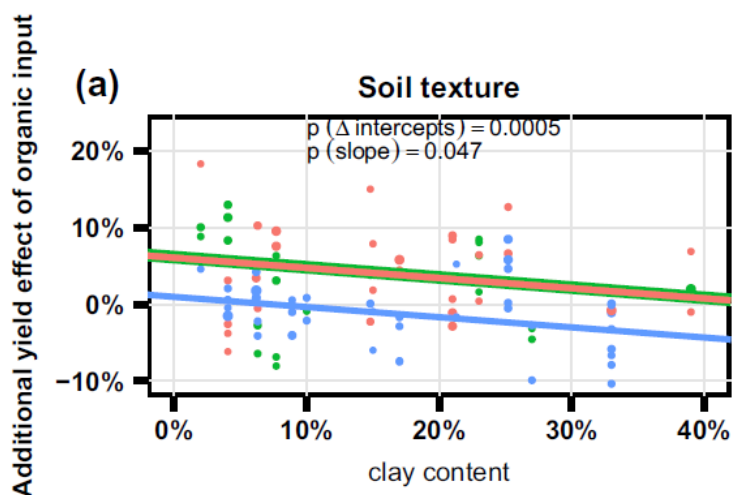
Tabel 57 het effect van bodemorganische stof op de relatie tussen gewasopbrengst van zomergerst, aardappelen en suikerbiet en Olsen-P in Rothamsted (VK) (bron: Johnston en Dawson, 2005).

Experiment and year started and sampled	Treatment	Soil C %	Total P mg/kg	Olsen P mg/kg	CaCl ₂ P µg/L
Barnfield 1843 - start 1958 - sample	Control	0.80	670	18	15
	P*	1.00	1215 (545)	69 (51)	95 (80)
	FYM*	2.40	1265 (595)	86 (68)	400 (385)
	P + FYM	2.40	1875 (1205)	145 (127)	690 (675)
Broadbalk 1843 - start 1966 - sample	Control	0.84	580	8	5
	P	1.04	1080 (500)	81 (73)	205 (200)
	FYM	2.59	1215 (635)	97 (89)	605 (600)
Hoosfield 1852 - start 1966 - sample	Control	0.93	630	6	10
	P	1.16	1175 (545)	103 (97)	445 (435)
	FYM	3.06	1340 (710)	102 (96)	790 (780)
Exhaustion Land** 1901 - start 1974 - sample	Control	0.88	480	2	3
	P residue	0.88	595 (115)	10 (8)	5 (2)
	FYM res	1.10	630 (150)	12 (10)	10 (7)
Woburn M G 1942 - start 1960 - sample	Control	1.02	1120	94	710
	FYM	2.12	1780 (660)	176 (82)	3040 (2330)
	SS*	2.87	3000 (1880)	151 (57)	1330 (620)

* P = superphosphate; FYM = farmyard manure; SS = sewage sludge.
 ** P from 1856 and FYM from 1876; neither applied after 1901.

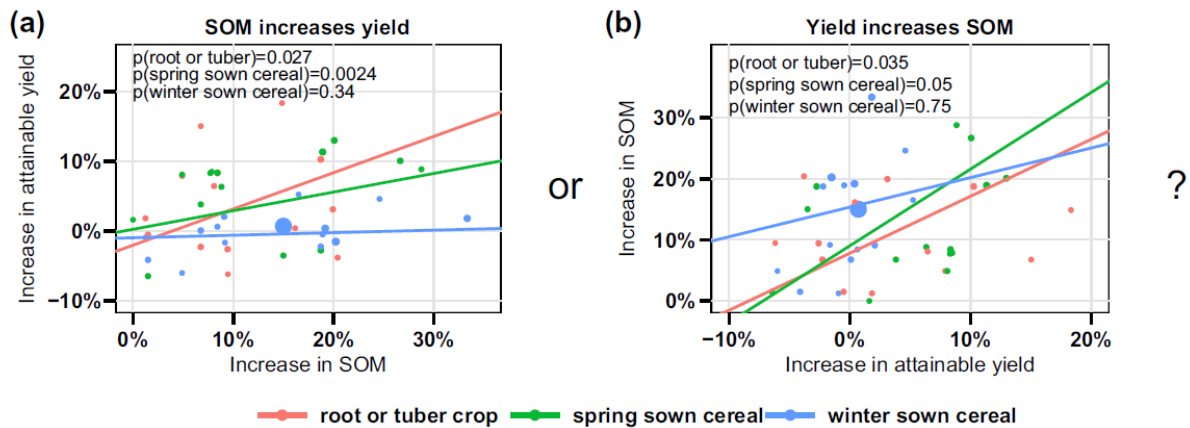
Tabel 58 Totale P, Olsen-P en CaCl₂-P in niet bemeste controlebodems, mineraal P bemeste bodems en stalmest bemeste bodems in verscheidene langetermijnexperimenten te Rothamsted en Woburn (VK) (Bron: Johnston en Dawson, 2005).

De meta-analyse van Hijbeek et al. (2017) bracht ook naar voor dat gewasopbrengsten in zandige bodems (dus lager kleigehalte) meer profiteren van de aanbreng van organische stof in de bodem dan in zwaardere bodems (Figuur 99). Dit is zoals verwacht aangezien zandbodems minder structuur bevatten.



Figuur 99 Het additioneel gewasopbrengst effect in functie van het kleigehalte van de bodem (<2 µm) (bron: Hijbeek et al., 2017).

Net als D'Hose (2015), stellen Hijbeek et al. (2017) een figuur op voor additionele gewasopbrengst in functie van een toename van de organische stof in de bodem (Figuur 100, links). Ze maken echter de kanttekening dat extra opbrengst ook gelijk staat met meer gewasresten die terugkeren naar de bodem. Ze werpen finaal de vraag op of de redenering niet moet omgedraaid worden, namelijk dat de verhoging van de gewasopbrengsten zorgt voor een hoger organische-stofgehalte in de bodem (Figuur 100, rechts).



Figuur 100 Relatie tussen de stijging in bodemorganische stof en de stijging in gewasopbrengst. A (links): stijging in opbrengst gerelateerd aan stijging in organische stof. X-as: stijging in organische stof tussen behandeling met enkel minerale meststoffen en de behandeling met organische bemesting. Y-as: verschil in maximum opbrengst tussen de behandeling met minerale bemesting en de behandeling met organische mest. B (rechts): assen vice versa van links. Hoe groter de punten, hoe kleiner de variatie en dus een hoger gewicht in het model (Bron: Hijbeek et al., 2017).

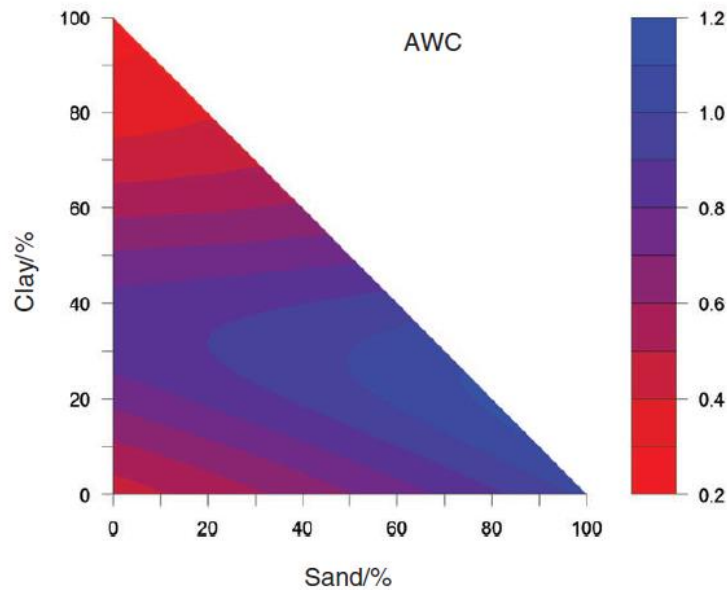
Het onderzoek van Johnston en van Hijbeek hierboven geeft aan op welke wijze de organische stof in de bodem op de processen van wortelgroei en nutriëntenvoorziening kan inspelen.

17.2.2.3 Organische stof — waterbeschikbaarheid

Zoals eerder aangehaald is ook de waterbeschikbaarheid een belangrijke parameter. Ondanks dat het wijdverspreid geaccepteerd is dat organische stof in de bodem de hoeveelheid beschikbaar water voor gewassen kan verhogen, geeft de studie van Minasny en McBratney (2018) aan dat deze verhoging wel eens zou kunnen overschat worden. In een meta-analyse van 60 gepubliceerde studies wereldwijd met in totaal toegang tot >50 000 metingen, trachtten Minasny en McBratney (2018) een verband te zoeken tussen organische stof in de bodem en bodemwatergehalte. Over de studie heen kwamen ze uit dat een toename van 10 g C/kg bodem gemiddeld resulteerde in een watertoename van 2,95 mm H₂O bij waterverzadiging, 1,61 mm H₂O bij veldcapaciteit, 0,17 mm H₂O bij het verwelkingspunt per laag van 100 mm bodem. In 75% van de geraadpleegde studies leidde een stijging van 10 g C/kg bodem tot 0,7 tot 2 mm meer beschikbaar water per laag van 100 mm. Dit is eigenlijk bijzonder weinig. We illustreren dit met een rekenvoorbeeld.

Als in een bodem de bouwvoor 30 cm dik is en het organische-koolstofgehalte stijgt van 5 naar 15 g C/kg bodem (0,5% naar 1,5% C), dan zal het beschikbaar water voor het gewas toenemen met gemiddeld 3,48 mm water (=1,16 mm x 3). Met andere woorden kan de bouwvoor slechts 3,5 liter neerslag meer ter beschikking stellen van het gewas dankzij de (grote) toename in organische koolstof. Of nog, per hectare is er 35 000 liter water meer ter beschikking van het gewas.

In Figuur 101 wordt op basis van een modelmatige berekening weergegeven wat de toename is in plantbeschikbaar water in functie van het klei- en zandgehalte van de bodem, bij een toename van 5 naar 15 g C/kg bodem.

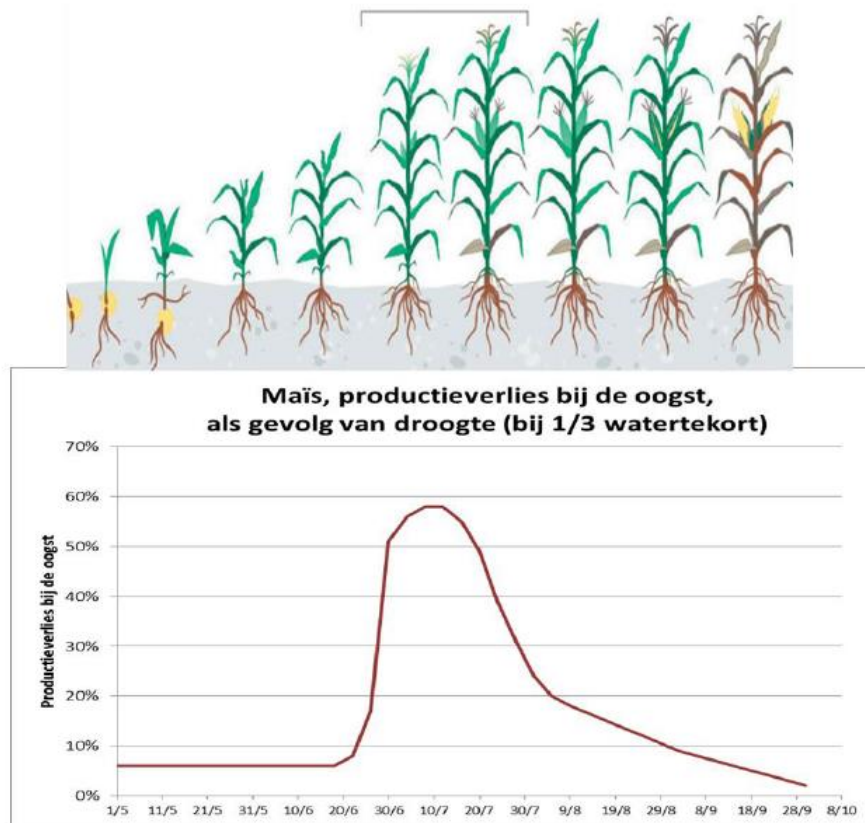


Figuur 101 Modelmatige respons in toename van plantbeschikbaar water in mm per bodemlaag van 100 mm voor een toename in organisch koolstofgehalte van 5 naar 15 g C/kg bodem (0,5% naar 1,5%C) in functie van het klei en zandgehalte (50-2000 μm) van de bodem (AWC: available water capacity)(bron: Minasny en McBratney, 2018).

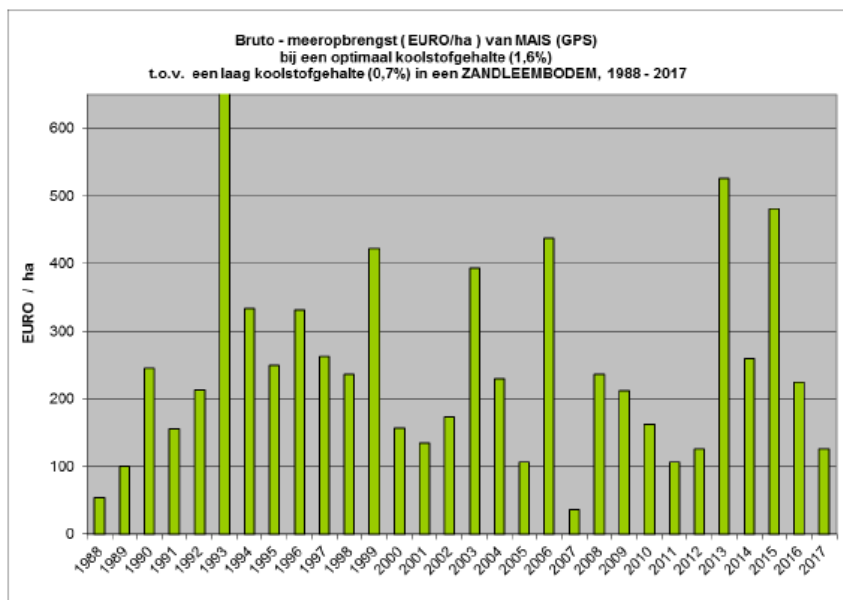
Zoals de studie van Minasny en McBratney (2018) aangeeft is de stijging in waterbeschikbaarheid bijzonder weinig voor een stevige toename van het organische-C-gehalte met 1%. Er moet echter rekening gehouden worden met volgende vier zaken:

- Als door de klimaatverandering neerslag op kortere periodes valt tussen periodes van droogte, zal de kleine winst in waterbeschikbaarheid meerdere keren per groeizoen kunnen spelen. Met andere woorden, in bodems met meer organische koolstof zal, na iedere regenbui binnen een periode van droogte, het gewas telkens iets langer kunnen genieten van water.
- Organische stof verhoogt ook onrechtstreeks de waterbeschikbaarheid voor gewassen. De bodemstructuur vaart wel bij meer organische stof, waardoor de wortelgroei beter is. Dit betekent dat wortels beter tot aan het water geraken dat in de bodem is opgeslagen.
- Meer organische stof betekent dat er minder run-off plaatsvindt en meer infiltratie. Het water wordt ook naar de diepere lagen van het bodemprofiel getransporteerd, waar het eveneens beschikbaar kan zijn voor het gewas als er in deze laag wortels aanwezig zijn en/of als de capillariteit van de bodem het water terug naar boven transporteert op een later tijdstip.
- Het moment waarop de beperkte hoeveelheid extra water ter beschikking is van het gewas via een hoger organische-stofgehalte is sterk tijdsafhankelijk in functie van het gewas. Het productieverlies door watertekort is immers groeifase-afhankelijk. Als net in een cruciale fase de droogte toeslaat, kan enkele mm extra beschikbaar vocht van zeer groot belang zijn. Figuur 102 geeft een beeld van het productieverlies bij maïs naargelang het moment dat de droogte toeslaat en voor een situatie met 1/3 watertekort. Uiteraard, of en wanneer de droogte toeslaat bepaalt dan mede wat het uiteindelijk productieverlies is. De Bodemkundige Dienst trachtte hiervan een financiële inschatting te geven voor een zandleembodem voor de periode 1998-2017, waarbij de situatie met 0,7% bodemorganische koolstof wordt vergeleken met 1,6% bodemorganische koolstof (Figuur 103).





Figuur 102 Productieverlies bij maïs als gevolg van droogte naargelang de groeifase (bron: in de studie van Van de Ven et al.(2018), werd gerefereerd naar: Robelin (1983) en Doorenbos en Kassam (1997)).

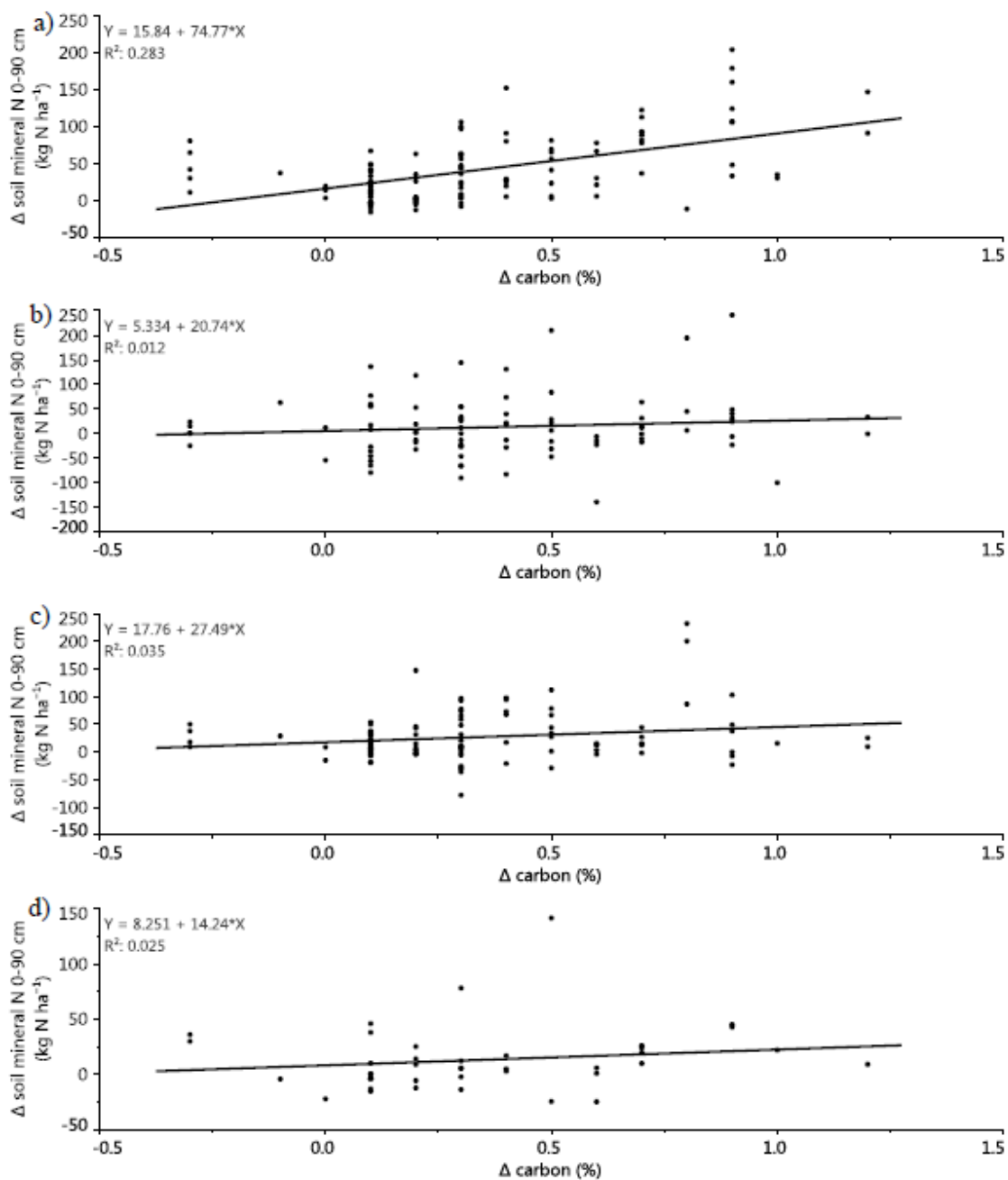


Figuur 103 Meeropbrengsten kuilmaïs in €/ha berekend onder voorwaarde dat het koolstofgehalte toeneemt van 0,7% naar 1,6% in een zandleembodem (bron: Van de Ven et al., 2018).

17.2.2.4 Organische stof – variabiliteit opbrengst

Organische stof in de bodem hoeft niet noodzakelijk tot een stijging van de gewasopbrengst te leiden. Het gebruik van organisch materiaal kan ook als buffer functioneren in jaren met minder goede





Figuur 104 Het verschil in mineraal N-gehalte in het bodemprofiel (0-90cm) tussen de 9 compostbehandelingen en de mineraal bemeste controlebehandeling in functie van het verschil bodemorganisch koolstofgehalte tussen dezelfde compostbehandelingen en de mineraal bemeste controlebehandeling voor de compostproef te Boutersem in de periode 2003-2015. A) Januari-maart, b) april-juni, c) juli-september en d) oktober-december (bron: Declercq, 2017).

17.2.2.6 Relatie organische stof en N₂O-emissies

Denitrificerende bacteriën in de bodem hebben -naast zuurstofarme omstandigheden en een snel mineraliseerbare N-bron- ook een C-bron nodig om N₂O te produceren. De verhoogde aanwezigheid van organische stof in de bodem kan dus voor meer broeikasgasemissies zorgen. Uit meerdere studies blijkt dit ook het geval te zijn. De metadata-analyse van 896 metingen uit 139 studies van Bouwman et al. (2002) gaf hogere mediaanwaarden bij een hoger organische-stofgehalte. De medianen waren 0,8, 0,7, 1,1 en 1,7 kg N₂O-N/ha respectievelijk bij een organische-stofgehalte <1%, 1-3%, 3-6% en >6%. Shscherbak et al. (2014) vonden dat de achtergrondwaarde van percelen met een organische-stofgehalte > 1,5% dubbel zo hoog was dan een perceel met een organische-stofgehalte < 1,5%. De N₂O-verliezen vanuit de bemesting waren ook hoger bij een hoger organische stofgehalte. Omdat na



een droogteperiode meer labiele koolstof ter beschikking komt (droogte leidt tot afsterven van bepaald microbiëel leven) van de denitrificerende bacteriën, zou ook droogte tot hogere N₂O-verliezen kunnen leiden (Bouwman et al., 2002). Wat het totaaleffect is van meer organische stof in de bodem op de emissie van het broeikasgas N₂O is dus niet geheel duidelijk. Enerzijds betekent het opbouwen van organische stof in de bodem C-sequestratie in de bodem en waarschijnlijk ook minder noodzaak aan N-kunstmest, waardoor minder fossiele brandstoffen moeten aangesproken worden. Een betere bodemkwaliteit betekent ook een efficiëntere productie en minder productieverliezen per eenheid input. Anderzijds betekent meer organische stof in de bodem meer N₂O-emissies. Een balansberekening in CO₂-equivalenten zou heel informatief kunnen zijn op dit gebied.

17.2.2.7 Technieken om het bodemorganische stofgehalte te behouden of op te krikken

Er zijn verschillende technieken die kunnen gehanteerd worden om het bodemorganische koolstofgehalte op peil te houden of het op te krikken. Deze technieken zijn van oudsher gekend en op zich niet zo innovatief, al kan de uitvoering zelf wel innovatiever zijn dan vroeger. Volgende technieken kunnen uitgevoerd worden:

- Stabiele organische koolstof aanvoeren

De landbouwer kan bodemorganische stof opbouwen door organische mest aan te wenden. Het is hierbij best te kiezen voor deze producten die de meeste stabiele organische koolstof bevatten. Dit kan gaan om bv. stalmest, groen- en GFT-compost, dikke fractie uit vergisting of mestverwerking. De toediening hiervan is echter via de mestwetgeving gelimiteerd door de P- en N-inhoud van deze producten. Dit geeft aan dat de producten die verhoudingsgewijs weinig P en weinig N bevatten, maar veel stabiele organische koolstof, het meest interessant zijn. Onder andere boomschors en houtsnippers kwamen daardoor onder de aandacht om in te zetten. In het project 'koester de Kempense koolstof' werd bekeken in welke mate eventueel houtsnippers van het onderhoud van houtkanten kan ingezet worden om de bodemorganische stof op te krikken. Berekeningen en simulaties geven aan dat deze snippers inderdaad een interessant product zijn, maar dat het knelpunt ligt bij de beschikbaarheid van voldoende houtsnippers en de economische kost om het onderhoud van de houtkanten mogelijk te maken (Vervoort et al., 2020).

Belangrijk nog om mee te geven is dat niet alleen de dosis maar de spreiding van de toediening van belang kan zijn. Uit langetermijnproeven met composttoediening bleek dat met een jaarlijkse gift aan compost de bodemorganische stof op een hoger niveau kon getild worden dan bij het 3-jaarlijks toedienen van een driedubbele dosis (Willekens, 2016; Declercq, 2017).

- Vruchtwisseling en wisselbouw

De keuze van het gewas in de akkerrotatie bepaald mede hoeveel en welke gewasresten na de teelt achterblijven (zie hieronder), de intensiteit van bodembewerkingen (zie hieronder) en de mogelijkheid van het telen van een groenbedekker. De gewaskeuzes in de rotatie bepalen dus mede hoeveel bodemorganische stof kan opgebouwd worden. Door aan wisselbouw te doen, wordt tijdelijk grasland opgenomen in de rotatie, met ook een positief effect op het gehalte aan bodemorganische stof. Meer info over andere positieve effecten verder in de tekst.

- Beheer van gewasresten

De gewaskeuze bepaalt hoeveel gewasresten er na oogst achterblijven op het perceel. De hoeveelheid en samenstelling (humificatiecoëfficiënt) van de gewasresten bepalen hoeveel de gewasresten bijdragen aan de opbouw van de bodemorganische stof. Soms kan de landbouwer ook bepalen of de gewasresten behouden blijven of niet. Graanstro is daar het meest courante voorbeeld van. Stro kan eventueel ingewerkt worden om meer organische stof aan de bodem toe te voegen. Gewasresten afvoeren kan soms ook uit oogpunt gedaan worden om N-rijke plantenresten die snel afbreken af te voeren om zo de bijdrage aan de nitraatuitspoeling te voorkomen. Meestal gaat het in dit geval om groentenresten die weinig stabiele organische



koolstof bevatten. Meer info is beschikbaar in https://www.vlm.be/nl//SiteCollectionDocuments/Mestbank/Studies/Studie%20oogstresten%20groenten/Project_Oogstresten_Hoofdrapport.pdf (Agneessens et al., 2014).

- **Ploegdiepte**

Door de ploegdiepte te laten toenemen, wordt de bouwvoor gemengd met de ondergrond. Dit heeft een verdunnend effect op het bodemorganische koolstofgehalte. Doorheen de laatste decennia nam de ploegdiepte toe. Machines worden groter en zwaarder (zie verder), waardoor soms iets dieper wordt geploegd om de verdichting op te heffen. Dieper ploegen gebeurt soms ook uit 'gemak' of om gewasresten zoals deze van korrelmaïs beter te kunnen onderwerken. Ook al is dit soms niet de goede praktijk.

Zondermeer terug ondieper beginnen ploegen nadat men jaar (te) diep ploegde kan soms werken, maar kan er eventueel ook toe leiden dat de verdichting van de vorige teelt niet wordt weggewerkt. Situatie per situatie moet bekeken worden. Men kan eventueel ook niet-kerend gaan werken. Bij niet-kerend werken zal de totale hoeveelheid bodemorganische stof niet toenemen, maar bovenaan het bodemprofiel worden geconcentreerd. Ook deze techniek kan niet onbezonnen worden uitgevoerd en begeleiding is noodzakelijk.

- **Groenbedekkers**

Groenbedekkers die als voor- of nateelt worden geteeld bv. als vanggewas, aaltjesreducerend gewas, middel om te bodem te beschermen tegen erosie enz. kunnen aanzienlijke hoeveelheden organische stof aanbrengen in de bouwvoor onder de vorm van bovengrondse en ondergrondse gewasresten. Uiteraard zal slechts een fractie van deze gewasresten werkelijk worden ingebouwd in de stabiele bodemorganische stof (afhankelijk van de humificatiecoëfficiënt). Hoeveel dit uiteindelijk is, is afhankelijk van het type gewas, het aantal groeidagen en de periode waarin het gewas groeide. Er zijn vrij goede inschattingen bekend van hoeveel effectieve bodemorganische stof groenbedekkers kunnen nalaten. Meer cijfermateriaal is oa terug te vinden in de brochure 'organische stof in de bodem, sleutel tot bodemvruchtbaarheid' (<https://www.vlaanderen.be/publicaties/organische-stof-in-de-bodem-sleutel-tot-bodemvruchtbaarheid>) en in De Waele et al. (2014a) en De Waele et al. (2014b). Maar ook in de modellen van de koolstofsimulator en Cslim 2.0 wordt heel wat cijfermateriaal opgenomen over de bijdrage van groenbedekkers aan de bodemorganische stof. Groenbedekkers als onderdeel van meer robuuste teeltsystemen worden besproken in hoofdstuk 'innovaties: robuuste teeltsystemen'.

- **Gewijzigde bodembewerking**

Door bodembewerking wordt lucht in de bodem gebracht en wordt de mineralisatie van de bodemorganische stof gestimuleerd. Dit kan heel beperkt zijn, door bv. te schoffelen in een gewas. Echter hoe meer en hoe intenser de bodembewerking, hoe meer de mineralisatie wordt gestimuleerd. Ook andere intense activiteiten (bv. aardappelen rooien) kunnen de mineralisatie verhogen. Kristensen et al. (2003) bootste intense bodembewerking na door zeven van de bodem. Hoe fijner de zeef, hoe meer N-mineralisatie, wat dus aangeeft dat meer bodemorganische stof werd afgebroken. Het minder en het minder intensief bewerken van de bodem kan helpen om bodemorganische stof te behouden.

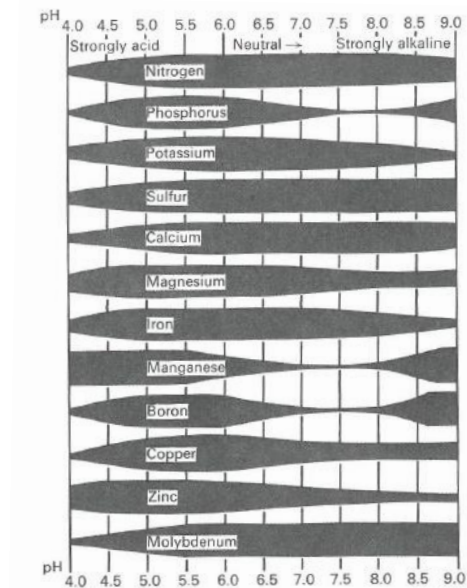
17.2.3 Bodemzuurtegraad

17.2.3.1 pH – nutriëntenbeschikbaarheid — gewasrespons

De bodemzuurtegraad wordt beschouwd als één van de belangrijkste bodemkwaliteitsparameters. De pH van de bodem bepaalt immers de opneembaarheid van alle nutriënten (zie Figuur 105). Ieder gewas heeft een verschillende optimale pH en niet elk gewas is even gevoelig voor een suboptimale pH, maar

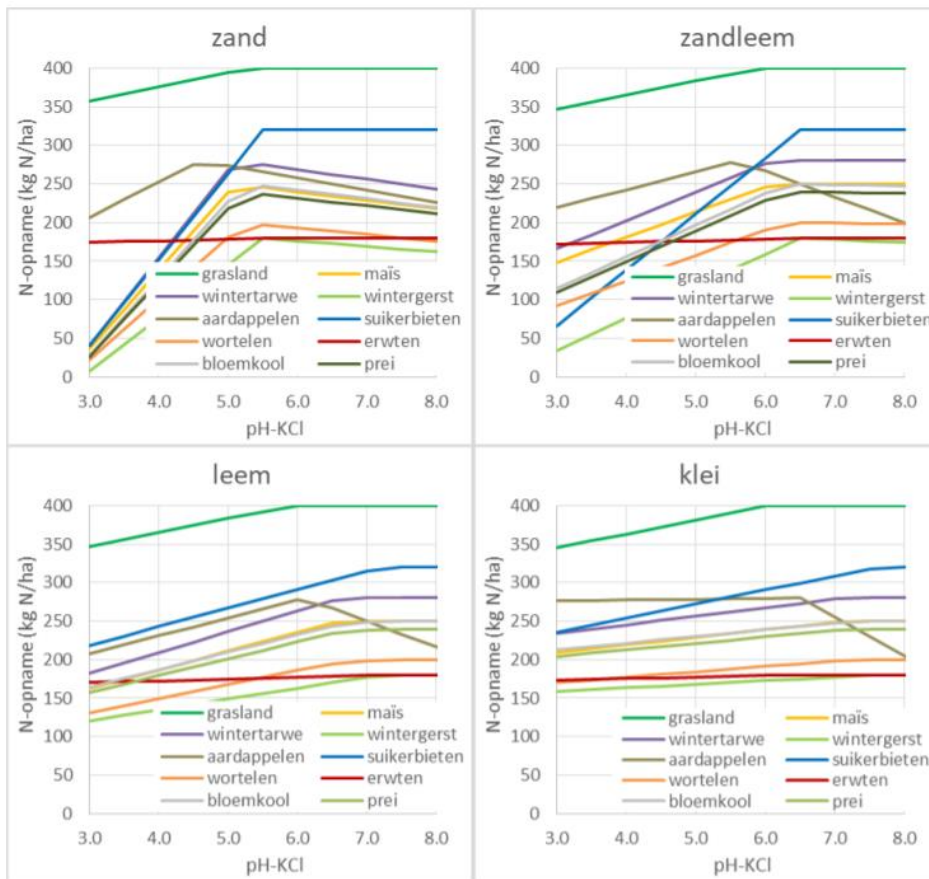


over de verschillende gewassen heen kunnen wel streefzones gedefinieerd worden per bodemtype. Het spreekt voor zich dat het in de streefzone houden van een bodem er voor zorgt dat het gewas beter zal groeien omdat het minder hoeft te investeren in de nutriëntenopname. Dit heeft zowel gevolgen voor de gewasopbrengst als voor de N-opname. In Figuur 106 wordt een simulatie van de respons in N-opname op de pH weergegeven voor een aantal teelten.



Figuur 105 Invloed van de pH-H₂O op de plantbeschikbaarheid van nutriënten in de bodem. Hoe breder de strook, hoe meer beschikbaar het nutriënt (Bron: Mengel en Kirkby, 1982, welke referereerden naar Lucas en Davis, 1961).





Figuur 106 Gemiddelde N-opname i.f.v. de pH-beoordelingsklasse voor de belangrijkste teelt(groep)en in Vlaanderen, per bodemtextuurklasse en bij een optimaal organische-stofgehalte (bron: VLM, 2019).

17.2.3.2 pH – nitraatstikstofresidu – nitraatuitspoeling

Het verhogen van de pH leidt tot meer N-opname en dus potentieel minder nitraatstikstofresidu. Men bereikt deze pH-verhoging via bekalking en het is bekend dat een bekalking voor een tijdelijke stimulans van het bodemleven kan zorgen en daarmee ook voor een (tijdelijk) verhoogde N-mineralisatie. Potentieel zou er in het jaar van bekalken dus ook meer nitraatstikstofresidu en N-uitspoeling kunnen zijn als er geen gewas of vanggewas aanwezig is dat deze extra gemineraliseerde N kan opnemen. In de uitgebreide studie “Invloed van pH en bekalking op stikstofbemesting, -nitraatresidu en -uitspoeling” van de VLM (APLM/2018/5) werd het effect goed onderbouwd vanuit meta-analyse van verschillende databanken. We verwijzen graag naar deze studie voor een uitgebreid overzicht van het verband tussen N-uitspoeling en bodemzuurtegraad. Uit deze studie bleek onder meer dat als alle suboptimale percelen in Vlaanderen een éénmalige herstelbekalking zouden krijgen er 2,8 tot 3,2% meer nitraatuitspoeling zou plaatsvinden na deze bekalking. Anderzijds zou de N-uitspoeling in de daaropvolgende jaren met 1,5 tot 15% afnemen. Op zich is dit niet klimaatgerelateerd, maar wel een ‘quick-win’ voor zowel landbouwer als milieu. Wanneer het gewas in betere bodemcondities kan groeien, zal het ook beter bestand zijn tegen ongunstige weersomstandigheden. Of nog, bij een optimale pH zullen minder nutriënten aangebracht moeten worden om dezelfde opbrengsten te halen bij ongunstige weersomstandigheden, waardoor de kans op nutriëntenverliezen daalt en er tevens minder noodzaak is aan kunstmest.

17.2.3.3 pH – bekalking – bodemstructuur

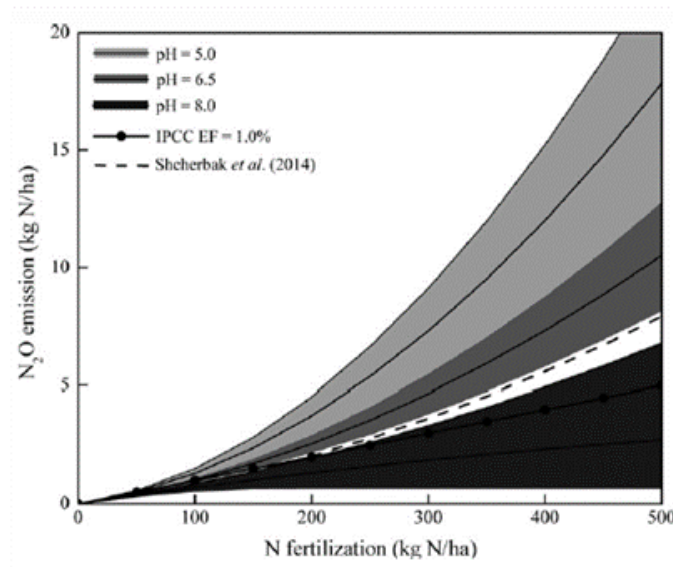
Het verhogen van de pH gebeurt via een bekalking. Hoewel er uiteenlopende bekalkingsproducten ter beschikking zijn, is calcium steeds in grote mate aanwezig in vele producten. Ca^{2+} is, naast een nutriënt voor plantengroei, ook erg belangrijk voor de bodemstructuur. $CaCO_3$ heeft een flocculerend effect op



de kleideeltjes en maakt bodemaggregaten (klei-humus) stabiel. Meer, en meer stabiele aggregaten, betekenen een betere bodemstructuur. Hoyt (1981) (gerefereerd in Elsen et al., 2014) toonde op 2 bodems aan dat na een pH-verhoging tot 5,5 à 6,5 (pH-H₂O) door CaCO₃-toediening, de diameter van de aggregaten fors verhoogde en dat de bodemweerstand voor compactie toenam. Flocculatie en vorming van waterstabele aggregaten verhogen de draagkracht van de bodem. Men kan ervan uitgaan dat een verhoging van het aantal waterstabele aggregaten in de bouwlaag de draagkracht van de bodem verhoogt en in die zin de effecten van verdichting in de diepere ondergrond door berijden in enige mate kan mitigeren (Elsen et al., 2014). Betere bodemstructuur betekent ook een betere en snellere groei van het gewas, waardoor ongunstige weersomstandigheden minder nadelige effecten hebben op het gewas. Met de klimaatverandering zullen ook meer natte en droge periodes samenvallen met periodes van bodembewerking. Meer structuur betekent dat de bodem zich ook beter laat bewerken. Mogelijks zullen de bodems met meer structuur ook eerder en/of langer toegankelijk zijn voor machines.

17.2.3.4 pH – N₂O-emissies

De bodemzuurtegraad heeft ook nog een belangrijk effect op de N₂O-emissies vanuit de bodem. Bij een lagere pH zal de denitrificatie verminderen omdat vooral de N₂O-reductase activiteit daalt, waardoor net meer N₂O zal geëmitteerd worden. Met andere woorden, het denitrificatieproces blijft steken in de N₂O-tussenstap. In zure bodems zijn de N₂O-verliezen hoger bij eenzelfde N-bemestingshoeveelheid dan bij niet-zure bodems (Wang et al., 2018). Dit wordt geïllustreerd in Figuur 107.



Figuur 107 Verband tussen de bemesting en de N₂O-emissie vanuit de bodem bij verschillende pH-niveaus (bron: Wang et al., 2018).

17.2.4 Vruchtafwisseling

Vruchtafwisseling kan beschouwd worden als een van de manieren om voedselproductie ecologischer te maken en meer veerkracht te bieden tegen klimaatverandering (Degani et al., 2019; Gaudin et al., 2015; Lin, 2011). Nochtans beschouwen slechts een klein deel van de landbouwers vruchtafwisseling als een mogelijke strategie om de impact van de klimaatverandering op te vangen (White et al., 2011). Dit is echter een algemene stelling waarvan we niet weten of deze geheel klopt voor Vlaamse landbouwers. In biologische landbouwsystemen is de aanbreng van N via bemesting beperkt (vooral de snelwerkende N) en zijn rotaties vooral gebaseerd op het maximaal behoud van N in de rotatie. Bij de conventionele landbouw spelen de omgevingsfactoren economie en beleid een veel grotere rol (Kollas et al., 2015). Zo zullen bv. meer aardappelen in een akkerbouwrotatie worden opgenomen



omwille van de grotere rendabiliteit, maar zullen ook een aantal voedervlinderbloemige gewassen eerder opgenomen worden in de rotatie omwille van de financiële stimulans door de overheid.

Van vruchtafwisseling is bekend dat het een positief effect heeft op o.a. diversiteit in bodemleven, organische stof in de bodem, water- en nutriëntenbeschikbaarheid (Altieri, 1999). Deze parameters spelen allen een belangrijke rol in de veerkracht van bodem en gewas tegen externe stressfactoren zoals bv. hitte en droogte (Dagani et al., 2019). Het blijft echter de vraag hoe vruchtwisseling hierin een rol kan spelen en in welke mate de vruchtwisseling de impact van de stress kan beperken. De positieve invloed van vruchtwisseling op het gewas is echter een moeilijk te onderzoeken onderdeel van landbouw, gezien de jaareffecten en de interacties tussen gewas en jaar.

17.2.4.1 Vruchtafwisseling – bodemkwaliteit/organische-stofgehalte

In heel wat studies wordt daarom in de eerste plaats gekeken naar het effect van een rotatie op het organische stof gehalte in de bodem en daarmee op de bodemkwaliteit. In de studies van Bremer et al., (2007), Aziz et al. (2014), Van Eerd et al. (2014), Nash et al. (2017), Zuber et al. (2018) en veel andere niet geraadpleegde literatuurbronnen wordt het effect op het organische-stofgehalte in de bodem van de conventioneel enge rotatie of monocultuur vergeleken met een ruimere rotatie. Het is bekend dat de gewaskeuze een sterke invloed heeft op de opbouw van organische stof: hoe meer en hoe meer stabiele gewasresten een gewas nalaat, hoe meer organische stof in de bodem wordt opgebouwd en hoe hoger de intensiviteit van bodembewerking die noodzakelijk is voor het gewas, hoe hoger de mineralisatie van de organische stof in de bodem. In Vlaanderen werd al heel wat werk verzet om dit in richtcijfers en rekenmodellen te gieten. De koolstofsimulator en het nieuwere Cslim 2.0 (Bodemkundige dienst van België, 2020) model bieden mogelijkheden om voor rotaties het theoretisch langetermijneffect te berekenen. Het effect van organische stof in de bodem op nutriëntenverliezen bij een veranderend klimaat bespreken we reeds eerder.

17.2.4.2 Vruchtafwisseling – gewasopbrengst, N-nalevering en N-residu

Vruchtwisseling heeft positieve effecten op heel wat meer aspecten dan alleen op de organische stof in de bodem, met als ultieme doel hogere gewasopbrengsten of de stabiliteit in gewasopbrengst te garanderen. Het voorkomen van opbrengstderving kan nutriëntenoverschotten uit de bemesting, die berekend wordt op basis van hogere potentiële opbrengsten, voorkomen. Vruchtwisseling voorkomt ook de noodzaak aan extra nutriënten om dezelfde gewasopbrengsten te garanderen bij een slechtere uitgangssituatie van het gewas. Op beide wijzen draagt vruchtwisseling bij aan het voorkomen van nutriëntenverliezen. Het rechtsreeks verband tussen de gewasopbrengst en vruchtafwisseling is dus van groot belang. Het is tevens van belang om daarbij trachten in te schatten welke impact de klimaatverandering heeft op dit verband. Modellen zoals dat van Kollas et al. (2019) kunnen daartoe gehanteerd worden. Kollas et al. (2019) namen 301 seizoenen van 5 Europese locaties op in hun model. Informatie van o.a. irrigatie, bemesting, CO₂-concentratie, bodemtype en bodembewerking werd opgenomen om meerjarige effecten van de vruchtafwisseling in kaart te brengen. De studie geeft aan dat dankzij de multi-site en multi-jaar benadering meer variatie kunnen verklaren dan modellen die 1 jaar of 1 gewas kunnen modelleren en simuleren. Hoewel er noodzaak is aan zulke modellen om de langetermijneffecten van vruchtwisseling in kaart te brengen bij een veranderend klimaat, kunnen ze onmogelijk alle aspecten in kaart brengen. Onderzoek in Vlaanderen, gebaseerd op enkele langetermijnproeven aangaande vruchtwisseling, biedt wel een goed onderbouwd beeld aan van wat de vruchtwisseling betekent voor de gewasopbrengst onder het huidige klimaat in Vlaanderen. Deze proeven gingen uit van de referentie dat vooral een oplossing moet gezocht worden voor het doorbreken van de maïs monocultuur. In Vlaanderen is maïs het gewas dat het meest in monocultuur wordt verbouwd, met ook grote regionale verschillen (Tabel 59). Voornamelijk op rundveebedrijven komt deze monocultuur voor. Om de monocultuur te doorbreken, kan geopteerd worden om



wisselbouw uit te voeren, waarbij akkerteelten worden afgewisseld met tijdelijk grasland of een ruimere rotatie van akkerteelten.

Rotatie	% stalen			
	Kempen	Vlaamse Zandstreek	Zandleemstreek	Leemstreek
monocultuur maïs	74,1%	49,5%	25,9%	16,0%
gras-maïs	10,3%	4,3%	2,0%	1,1%
maïs-akkerbouw	14,3%	43,5%	69,4%	80,5%
gras-maïs-akkerbouw	1,4%	2,7%	2,7%	2,4%

Tabel 59 Overzicht van het percentage bodemstalen genomen door de Bodemkundige dienst van België op maïspcelen in verschillende types rotaties, per landbouwstreek in 2018. (Bron: Bodemkundige dienst van België).

Op de proefhoeve te Bottelare van de Universiteit Gent werd in 1987 een wisselbouw experiment opgestart, waarin permanent grasland, monocultuur maïs en een wisselbouwsysteem van 3 jaar tijdelijk grasland en 3 jaar tijdelijk akkerland werden vergeleken. In het wisselbouwsysteem werd zowel 3 jaar gras-3 jaar maïs als behandeling opgenomen als 3 jaar gras-3 jaar akkerrotatie (o.a. voederbiet, maïs en veldboon). Een overzicht van de proef wordt gegeven in tabel 4. Deze proef werd beschreven in Nevens en Reheul (2002). De proef werd zodanig opgebouwd dat de wisselbouwrotatie dubbel aanlag zodat ieder jaar zowel het tijdelijk grasland als akkerland aanwezig was. Bovenop de proef werd een minerale N-trap gelegd van 0, 75 en 180 kg N/ha. De proefopzet werd zo opgebouwd om te achterhalen wat de N-nalevering kan zijn van het toepassen van wisselbouw. In Tabel 60 wordt een overzicht gegeven van de N-nalevering door het omploegen van het tijdelijke grasland in het eerste, tweede en derde jaar akkerland. Er werden 2 methodes gehanteerd om de N-nalevering te berekenen. De N-fertilizer replacement value (NFRV) en de mineral N credit. Voor de bepaling van de NFRV wordt de opbrengst van het gewas uitgezet in functie van de N-trap voor zowel het wisselbouw- als het permanent-akkerlandsysteem. De NFRV komt overeen met de N-bemesting die aan het permanent-akkerlandsysteem moet worden gegeven om dezelfde opbrengst te halen als de akkerteelt na grasland die niet werd bemest. Bij de methode van de mineral N credit wordt het verschil berekend tussen de N-bemesting die nodig is om een optimale gewasopbrengst te bereiken bij de permanente akkerteelt enerzijds en bij de akkerteelt in wisselbouw anderzijds. Deze berekening wordt in Tabel 61 weergegeven. Hieruit blijkt dat de N-nalevering in het eerste, tweede en derde jaar na ploegen respectievelijk 124-150, 52-81 en 29-52 kg N/ha bedraagt, naargelang de berekeningswijze. Deze studie gaat er echter van uit dat het voordeel in gewasopbrengst te wijten is aan N-nalevering. Andere voordelen van de wisselbouw als vorm van vruchtafwisseling worden eigenlijk niet in kaart gebracht. Het valt in de studie van Nevens en Reheul (2002) verder op dat de bemesting (250 of 350 kg N/ha.jaar) van het tijdelijke grasland weinig weerslag heeft op de NFRV in het eerste, tweede en derde jaar na omploegen van het tijdelijke grasland. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 108.

Tabel 60 Overzicht van de opbouw van de wisselbouwproef van de Universiteit Gent (proefhoeve Gontrode) 1987-2000 (bron: Nevens en Reheul, 2001)



Main treatment ¹	Sub-treatment ²	Year													
		'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00
LA1	MR	G ³	G	G	Bv	M	Vf	G	G	G	Bv	M	M	G	G
	MM	G	G	G	M	M	M	G	G	G	M	M	M	G	G
LA2	MR	Bv	M	Vf	G	G	G	M	M	Vf	G	G	G	Bv	M
	MM	M	M	M	G	G	G	M	M	M	G	G	G	M	M
PA	MR	Bv	M	Vf	Bv	M	Vf	M	Bv	Vf	Bv	M	M	Bv	M
	MM	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
PG		G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G

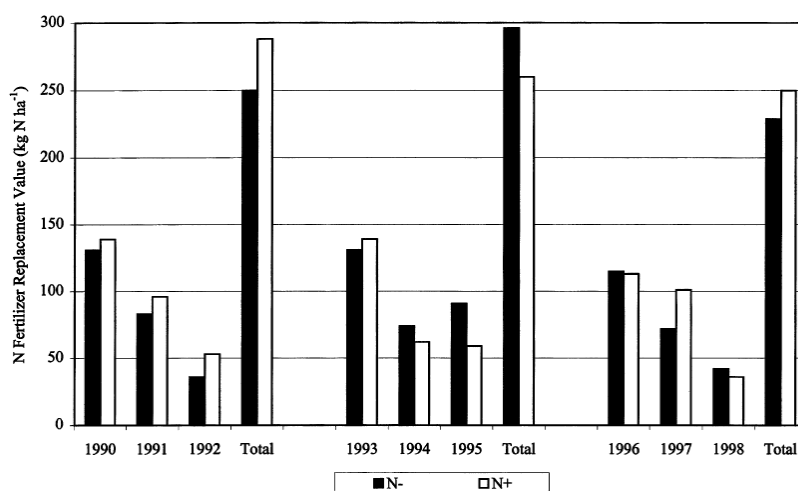
¹ LA = ley-arable crop rotation; PA = permanently cropped; PG = permanent grassland.

² MR = crop rotation; MM = silage maize in monoculture.

³ G = grass ley; M = silage maize; Bv = fodder beet; Vf = field bean.

Tabel 61 N naleverend vermogen van 3 jaar oud tijdelijk grasland in de 3 jaren tijdelijk akkerland, na omploegen van het grasland. Zowel de methode van NFRV als de mineral N credit methode werden gebruikt voor de berekening (bron: Nevens en Reheul, 2002).

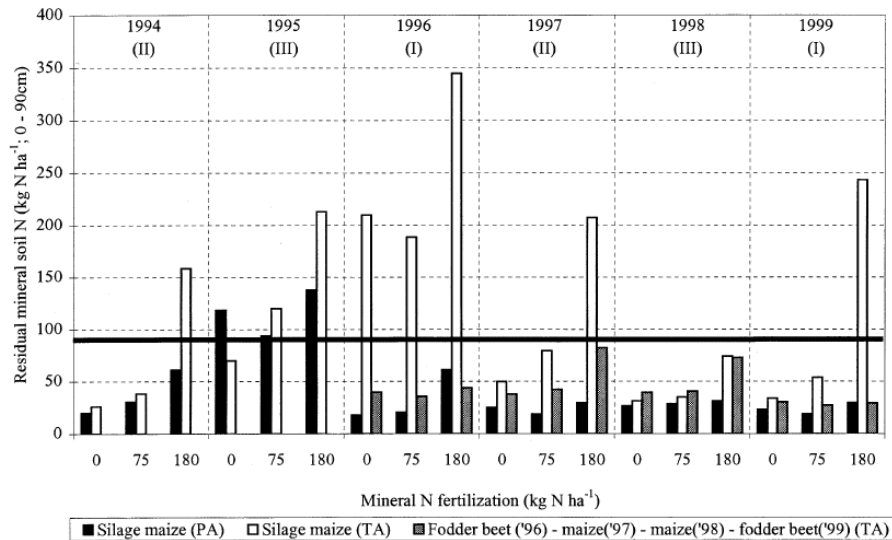
	Period 1	Period 2	Period 3	Avg.			
<i>NFRV</i>							
First year after ploughing	1990	130	1993	133	1996	110	124
Second year after ploughing	1991	89	1994	68	1997	85	81
Third year after ploughing	1992	44	1995	72	1998	39	52
Total of 3 years		263		273		234	257
<i>Mineral N credit</i>							
First year after ploughing	1990	112	1993	193	1996	144	150
Second year after ploughing	1991	52	1994	43	1997	61	52
Third year after ploughing	1992	44	1995	10	1998	35	29
Total of 3 years		208		246		240	231



Figuur 108 N naleverend van 3 jaar oud tijdelijk grasland (250 kg N/ha.jaar (N-) en 350 kg/ha.jaar (N+)) bemest in de 3 jaren na omploegen, berekend volgens de NFRV methode.

Dat deze enorme N-nalevering ook een sterk effect kan hebben op het minerale-N-residu na de oogst in de laag 0-90 cm, blijkt uit Figuur 109. Deze figuur toont dat kuilmajs na tijdelijk grasland regelmatig

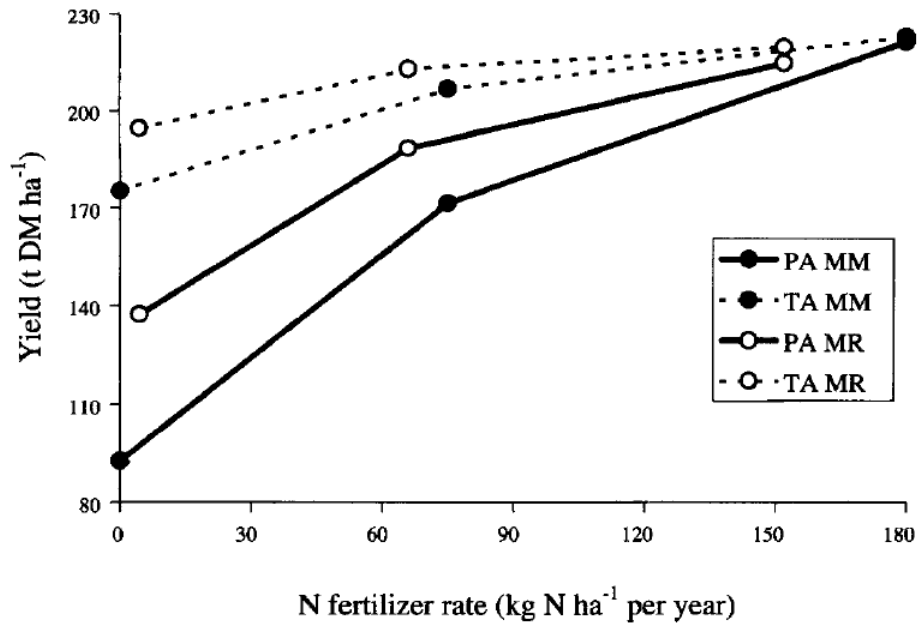
heel hoge residu's nalaat, vooral in het eerste jaar na het onderploegen van tijdelijk grasland en/of in combinatie met 75 en 180 kg N/ha bemesting voor de maïs. Dit wijst op het belang van aanpassing van de bemesting na onderploegen van grasland. Voederbiet, dat ook in sommige rotaties in de proef werd opgenomen, leidde voor alle jaren na het omploegen van het tijdelijk grasland en bij alle N-niveaus tot een lager N-residu dan 90 kg N/ha. In navolging van dit uitgebreide experiment werden later nog proeven op praktijkschaal aangelegd door het Landbouwcentrum voedergewassen en ILVO (Alex De Vlieghe), die deze resultaten bevestigden.



Figuur 109 Minerale-N-residu na de oogst (0-90 cm) voor kuilmaïs in permanente-akkerlandrotatie (PA) en wisselbouwrotatie (TA) en voederbieten in wisselbouwrotatie (TA) voor het eerste (I), tweede (II) en derde (III) jaar na omploegen van tijdelijk grasland in TA (bron: Nevens en Reheul, 2002).

De proef met wisselbouw is zodanig opgebouwd dat de monocultuur maïs en een voedergewasrotatie (zie Tabel 62) zowel in een systeem van wisselbouw als in een systeem van permanente akkerbouw kunnen bekeken worden. Figuur 110 geeft het verband tussen de cumulatieve (!) gewasopbrengst van kuilmaïs (MM) in monocultuur en de cumulatieve gewasopbrengst van de voedergewassen van de rotatiesituatie (MR) in functie van de N-bemesting voor de periode 1990-2000. Hier blijken een aantal zaken uit:

- Kuilmaïs brengt bij alle N-bemestingsniveaus meer op in een systeem van wisselbouw 3 jaar gras — 3 jaar maïs (TA-MM), dan in een systeem van permanent akkerland (PA-MM).
- Vruchtafwisseling in akkervoedergewassen (voederbiet-veldboon-maïs) (PA-MR) levert meer gewasopbrengst op dan monocultuur maïs (PA-MM).
- Het positief effect van wisselbouw op de gewasopbrengst van de akkervoedergewassen is groter dan het effect van vruchtwisseling. Binnen een systeem van wisselbouw heeft het diversifiëren in akkergewassen slechts een heel beperkte meerwaarde naar gewasopbrengst toe, maar de hoogste cumulatieve gewasopbrengsten worden wel gehaald bij wisselbouw in combinatie met de ruimste vruchtwisseling.
- Alle verschillen in gewasopbrengst verkleinen naarmate de N-bemesting opgedreven wordt.



Figuur 110 Cumulatieve drogestofopbrengsten van de voedergewassen (MR) en de kuilmaïs in monocultuur (MM) in functie van de N-bemesting. PA: Cumulatieve opbrengsten op permanent akkerland (1990-2000). TA: Cumulatieve opbrengsten op tijdelijk akkerland voor de periodes 1990-1992 + 1993-1995 + 1996-1998 + 1999-2000 samen (bron: Nevens en Reheul, 2001).

Aan de Hogeschool Gent — proefhoeve Bottelare (zandleem) werd in 2006 een uitgebreide vruchtwisselingsproef gestart die momenteel nog steeds loopt en die zeer enge rotaties van maïs vergelijkt met wisselbouw maïs — tijdelijk grasland en uitgebreidere akkerrotaties. In tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de verschillende rotaties. Elke rotatie werd ook beproefd bij 4 stikstofbemestingsniveau's (0, 100, 150, 200 kg N/ha).



Tabel 62 Overzicht van de gewasrotaties in de vruchtafwisselingsproef van de Hogeschool Gent (proefhoeve Bottelare) 2006-2019 (bron: Van de Ven et al., 2018).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	KM	KM	KM	KM	KM	KM	A
2	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	A
3	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	A
4	GK	GK	GK	GK	GK	GK	A
5	M	M	GK	GK	M	M	A
6	M	GK	GK	M	M	GK	A
7	GK	GK	M-	M	GK	GK	A
8	ZT+gb	Vb	A	M	WT+gb	Vb	A
9	Vb	M	A	M	Vb	M	A
10	E+gb	WT	A	M	E+gb	WT	A
11	M ⁻	V	A	M	M	E	A

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	KM	KM	KM	KM	KM	KM	A
2	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	M+Lm↓	A
3	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	M+Lm↑	A
4	GK	GK	GK	GK	GK	GK	A
5	M-	M-	GK	GK	M-	M-	A
6	M-	GK	GK	M-	M-	GK	A
7	GK	GK	M+Lm-	M+Lm-	GK	GK	A
8	ZT+gb	Vb	A	M	WT+gb	Vb	A
9	Vb	M	A	M	Vb	M	A
10	E+gb	ZT	A	M	E+gb	WT	A
11	M	E	A	M	M	E	A

A: aardappel, KM: Korrelmaïs, M: kuilmaïs, Lm: Italiaans raaigras, GK: gras-klaver, ZT: zomertarwe, WT: wintertarwe, Vb: voederbiet (bladeren afgevoerd), E: erwten, Gb: groenbemester: aaltjesresistente gele mosterd, ↓ ingewerkt (niet oogsten), ↑: éénmaal oogsten, stoppel ingewerkt

Op basis van de gewasopbrengsten werd voor maïs bekeken wat het effect van wisselbouw en van een ruime akkerrotatie is. Dit gebeurde binnen het demoproject '2015-2: Richtsnoeren voor een betere bodemvruchtbaarheid door het doorbreken van de monocultuur maïs', uitgevoerd door LCV, Hogeschool Gent en de Bodemkundige Dienst van België (Van de Ven et al., 2018). De informatie hieronder werd uit deze publicatie gehaald. De proefopzet laat toe dat er, op de jaren 2012 en 2019 na, telkens maïs in monocultuur vergeleken kan worden met maïs in wisselbouw met gras/klaver en maïs in een ruimere rotatie. Het relatieve effect op de gewasopbrengst wordt weergegeven in Figuur 111. Uit deze figuur komen een aantal zaken naar voor:

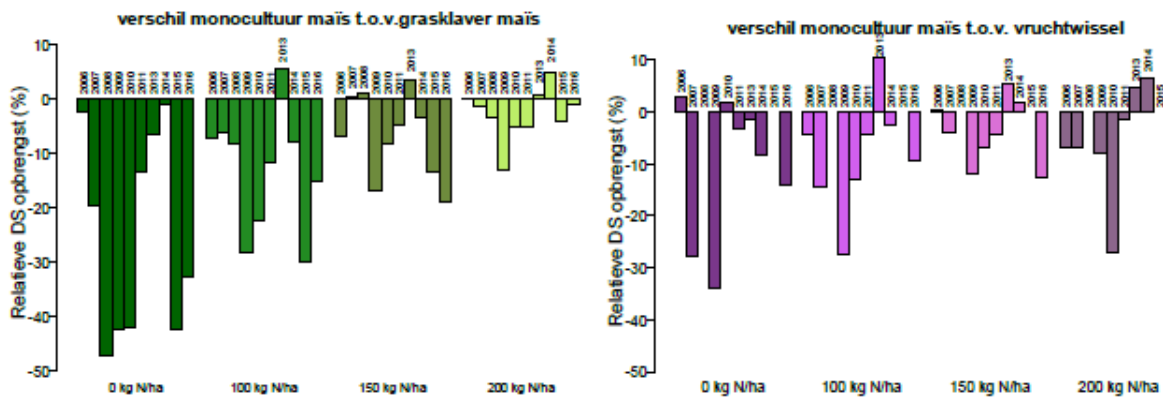
- Naarmate de N-bemesting toeneemt, wordt het effect van wisselbouw maïs-gras/klaver kleiner. Of nog, hoe beperkter de bemesting, hoe sterker het positieve effect van wisselbouw. Vruchtwisseling kan dus van grote betekenis zijn voor die percelen waar de bemesting het sterkst (wetmatig) wordt beperkt.

Het effect van wisselbouw blijkt dus in de eerste plaats een N-effect te zijn. Dit is in overeenkomst met de Nevens en Reheul (2002). Toch wijst een hogere gewasopbrengst bij vruchtwisseling bij een bemestingsniveau van 200 kg N/ha er wel op dat er meer aan de hand is dan enkel een N-effect.

- Er is een duidelijk positief effect van de ruime akkerrotatie op de maïsopbrengst ten opzichte van monocultuur maïs, maar het effect lijkt over het algemeen kleiner en niet echt gerelateerd aan de N-trap.
- Opvallend is dat de monocultuur maïs in 2013 beter scoort dan de maïs in wisselbouw en ruime akkerrotatie. Dit wijst er niet zozeer op dat monocultuur het beter doet, maar dat er een effect



wordt waargenomen van de aardappelen die in 2012 in alle rotaties werden geteeld. Het doorbreken van een monocultuur met een ander gewas (hier aardappelen) heeft dus onmiddellijk een gunstig effect. Dit effect ebt vrijwel onmiddellijk terug weg vanaf het moment dat opnieuw voor maïs wordt gekozen in het tweede jaar na aardappelen.



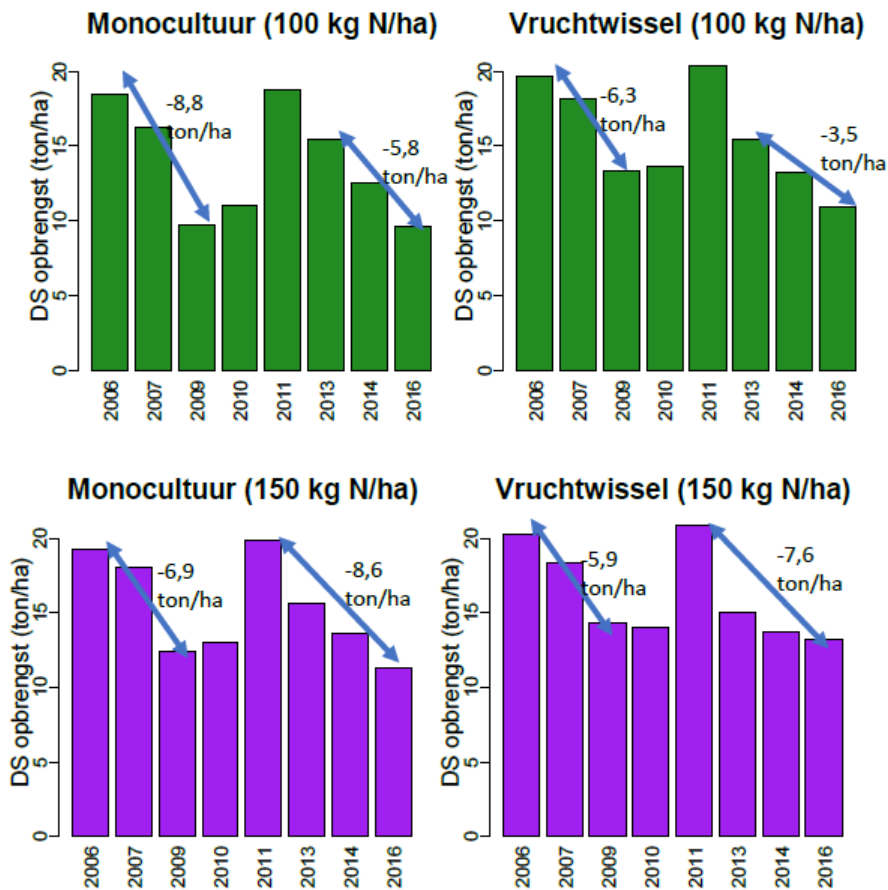
Figuur 111 Maïsoopbrengst van kuilmaïs geteeld in monocultuur t.o.v. kuilmaïs geteeld in rotatie met grasklaver (groen) of kuilmaïs geteeld in ruime vruchtwisseling (paars). Negatieve waarden duiden op een minopbrengst van maïs geteeld in monocultuur (bron: Van de Ven et al., 2018).

Er werd een N-bemestend effect berekend van de wisselbouw en de ruime akkerrotatie. Tabel 63 geeft een berekening van de N-bemesting die noodzakelijk is om dezelfde opbrengst te halen in maïs in wisselbouw en maïs in een ruime rotatie ten opzichte van maïs in monocultuur bij 150 kg N/ha bemesting. Enerzijds zijn de benodigde N-bemestingen soms erg laag, anderzijds zijn de schommelingen vrij groot en dus mogelijk te seizoensafhankelijk om er uitgebreid rekening mee te kunnen houden in het bemestingsadvies. Ondanks de schommelingen in N-winst door wisselbouw en een ruime akkerrotatie toe te passen, moet er sterk op gewezen worden dat de opbrengstschommelingen over de jaren heen groter waren voor monocultuur dan voor de rotaties met vruchtafwisseling (Figuur 112). Dit verklaart niet alleen een stukje de schommelingen in N-bemesting die men achterwege kan laten dankzij de vruchtwisseling, het geeft ook aan dat externe weersomstandigheden die jaar na jaar verschillend zijn, gemakkelijker worden opgevangen door maïs die in vruchtwisseling wordt verbouwd dan maïs die in monocultuur wordt verbouwd.

Tabel 63 Vereiste N-bemesting (kg N/ha) om evenveel opbrengst te hebben als maïs monocultuur met 150 kg N/ha (bron: Van de ven et al., 2018).

	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016
Maïs-Grasklaver	140	39	1	89	150	114	32	102
Ruime VW		55	112	116	150	150		126



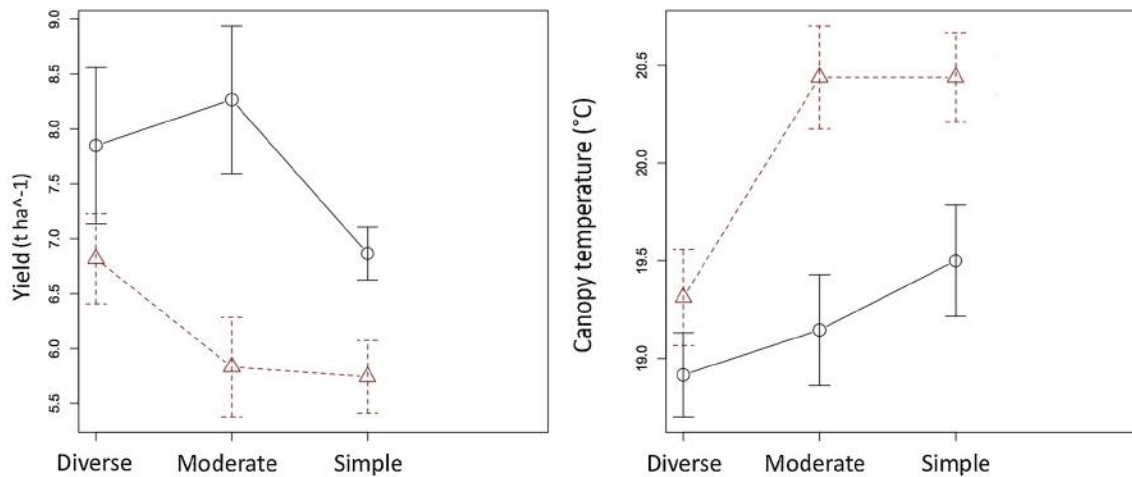


Figuur 112 Evolutie van de maïsoopbrengst bij maïs geteeld in monocultuur (links) of in rotatie (rechts) bij een bemesting van 100 kg N/ha (groen) of 150 kg N/ha (paars). De blauwe dubbele pijlen geven het opbrengstverschil aan tussen de beste en slechtste opbrengstjaren (bron: Van de Ven et al., 2018).

17.2.4.3 Vruchtafwisseling – invloed droogtestress

Bovenstaande veldproeven zijn uitermate nuttig om een beeld te vormen van het effect van vruchtwisseling, maar ze houden natuurlijk enkel rekening met de stressfactoren die op de locatie van de proeven voorkwamen in de proefjaren en zijn dus mogelijk niet helemaal representatief voor toekomstige stresssituaties. Degani et al. (2019) trachtten het effect van vruchtafwisseling voor wintertarwe bij droogte in kaart te brengen. Er werden 3 rotaties aangehouden: (i) 'simple': wintertarwe-wintertarwe-wintertarwe, (ii) 'moderate': wintertarwe-koolzaad-wintertarwe en (iii) 'diverse': wintertarwe+ onderzaai vlinderbloemige + vanggewasmengsel – zomererwten – wintertarwe. De gewassen kregen 50% van de gangbare bemesting en een verminderde bescherming door fungiciden. Droogtestress werd artificeel veroorzaakt via rainout shelters tijdens het doorschieten en de bloei van de wintertarwe. Het effect op het gewas wordt weergegeven in Figuur 113. Uit deze figuur blijkt dat het doorbreken van de monocultuur zonder stresssituatie tot een hogere gewasopbrengst leidt. De vruchtwisseling diverser maken had geen extra positief effect. Bij droogte was het doorbreken van de monocultuur tarwe onvoldoende en was een uitgebreidere vruchtafwisseling nodig. Hoewel Degani et al. De verklaring van de opbrengstverschillen wijten aan verschillen in bladtemperatuur, wat gerelateerd is aan de waterbeschikbaarheid (hoe minder opneembaar water, hoe minder koeling van het blad), vonden ze geen verschillen in wortelgroei tussen de rotaties en geen verschillen in bodemvocht die gerelateerd waren aan de rotatie.





Figuur 113 Gemiddelde effect van 3 verschillende gewasrotaties (simple: wintertarwe-wintertarwe-wintertarwe, moderate: wintertarwe-koolzaad-wintertarwe, diverse: wintertarwe+ onderzaai vlinderbloemige + vanggewasmengsel – zomererwt – wintertarwe) op gewasopbrengst (links) en temperatuur (rechts) in wintertarwe in het 3^e jaar van beproeving. De volle lijn komt overeen met de situatie zonder stress; de stippellijn met de situatie wanneer er droogtestress is (Bron: Degani et al., 2019).

Verder onderzoek zal moeten uitwijzen in welke mate vruchtwisseling ook in situaties van stress door een veranderend klimaat kan bijdragen aan de gewasgroei en –opbrengst.

17.2.5 Bodemverdichting

17.2.5.1 Bodemverdichting — wortelgroei

Gewasgroei wordt tweemaal benadeeld door bodemverdichting. Enerzijds doet de verdichting de opslagcapaciteit voor water dalen door een verminderde bodemporositeit. Anderzijds zorgt bodemverdichting voor verminderde wortelgroei, waardoor de plant ook minder van de bodemwatervoorraad bereikt (Withmore et al., 2010). Door verdichte lagen in het bodemprofiel, zullen de wortels minder diep gaan wortelen en de toplaag meer doorwortelen (Colombi et al., 2018; Nosalewicz en Lipiec, 2014). Dit maakt dat de gewassen ook gevoeliger zijn voor droogteperiodes, omdat ze niet aan de diepere waterlagen geraken. Door de verhoogde beworteling van de toplaag, wordt deze meer uitgedroogd, waardoor ze meer weerstand biedt aan de wortelgroei (Colombi et al., 2018). Door de verhinderde wortelgroei bereikt het gewas ook minder de bodemvoorraad aan nutriënten. Wolkowski (1990) vond bv. in een bodem met verdichting en een bulkdensiteit van 1,7 kg/dm³ dat slechts 62% van de fosfaatbemesting werd opgenomen in vergelijking met de niet verdichte controle (bulkdensiteit 1,4 kg/dm³). Nevens en Reheul (2003) vonden in een maïsproef met artificiële verdichting van de bouwvoor dat 23% (46 kg N/ha) minder N werd opgenomen dan in de niet verdichte controle.

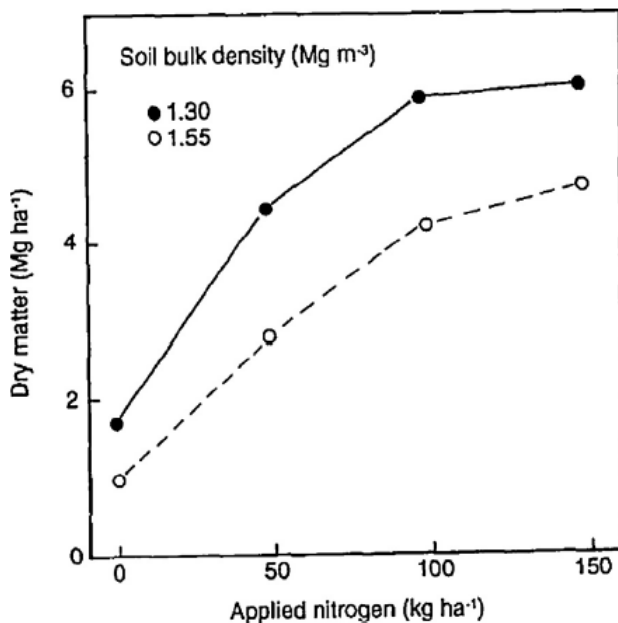
17.2.5.2 Bodemverdichting — bodemprocessen

De beschikbare hoeveelheid N wordt niet alleen gereduceerd door verminderde wortelgroei, ook bodemprocessen worden beïnvloed. Een verminderde aeratie van de bodem kan leiden tot denitrificatie en dus N-verliezen onder de vorm van lachgas (Chamen et al., 2015). Bodemverdichting zou ook de N-mineralisatie verlagen (De Neve, 2000) door een verlaagde microbiële biomassa en verlaagde enzymactiviteit (Kaiser et al., 1991; Dick et al., 1988, gerefereerd door Nevens en Reheul, 2003). Haunz et al. (1992) vond dat in een nat jaar bodemverdichting van lemig zand kan leiden tot een aanzienlijke reductie van de mineralisatie met 33% en een toename van de denitrificatie met 20%.



17.2.5.3 Bodemverdichting — gewasopbrengst

De verlaagde beschikbaarheid van water en nutriënten werkt opbrengstdervingen in de hand. Mouraux et al. (1990) vond respectievelijk 19% en 41% productieverlies bij kuilmaïs in droge en natte omstandigheden door verdichting. Nevens en Reheul (2003) observeerde 13% productieverlies bij kuilmaïs. Ook de N-responscurve verloopt dan anders. In Figuur 114 wordt uit de studie van Soane en van Ouwerkerk (1995) de gewasrespons op N-bemesting weergegeven voor een verdichte en een niet-verdichte bodem. De gewasresponscurve ligt duidelijk hoger voor de niet-verdichte bodem. De verschillen tussen beide situaties blijven ongeveer gelijk bij verschillende N-trappen. Echter bij de verdichte bodem maskeert een hogere bemesting (voor een stuk) het effect van verdichting in de gewasopbrengst.



Figuur 114 Het verband tussen de N-bemesting en gewasopbrengst bij 2 niveaus van bodemverdichting (bron: Soane en van Ouwerkerk, 1995).

17.2.5.4 Bodemverdichting – N-uitspoeling

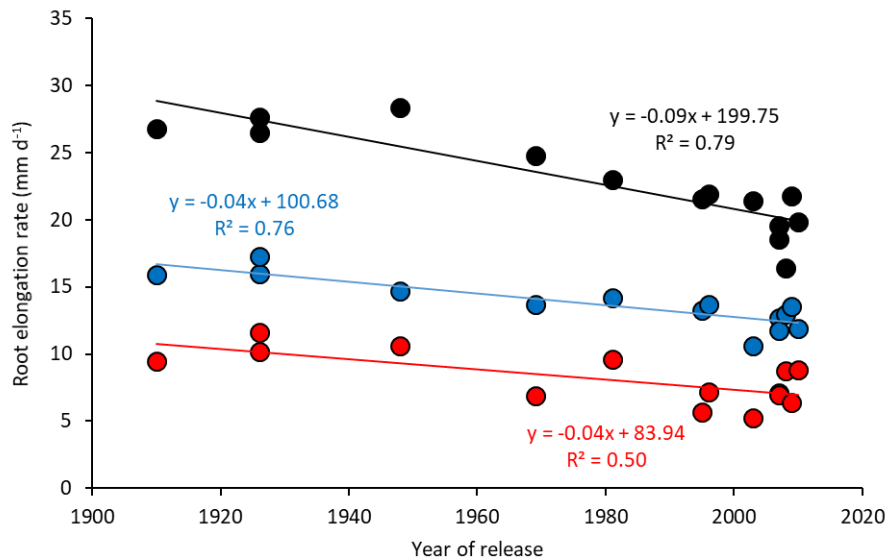
Door de bodemverdichting zal een groter deel van de N-bemesting niet opgenomen worden door het gewas en in de bodem achterblijven, met als gevolg dat de kans op uitspoeling toeneemt. Verdichte bodemlagen kunnen wortelgroei beperken, maar verhinderen niet noodzakelijk de NO₃⁻uitspoeling. Ren (2020) stelde vast dat een verdichte bodemlaag de wortelgroei abrupt kan doen afnemen, maar dat deze verdichte laag geen barrière vormt voor uitspoeling van NO₃⁻.

17.2.5.5 Bodemverdichting – oorzaken en evolutie

Toenemende mechanisatie en zwaardere landbouwmachines worden als belangrijkste oorzaak aangewezen van de huidige bodemverdichting in veel percelen (Keller et al., 2019). Vooral de laatste 20 tot 30 jaar zouden de niveaus van bodemverdichting sterk zijn toegenomen. Keller et al. (2019) geeft zelfs aan dat de stagnerende gewasopbrengsten die in een aantal gewassen en landen worden vastgesteld (zie 17.5 innovatie 'Robuuste teeltsystemen') gelinkt zouden kunnen zijn aan bodemverdichting. En hoewel de gewasveredeling wordt uitgevoerd in de steeds veranderende omgeving waarin ook deze verdichting plaatsvindt, komen nieuwe cultivars niet tegemoet aan dit probleem. Colombi et al. (2017) vond dat wortelalongatie van Zwitserse wintertarwerassen tussen 1910 en 2010 afnam in functie van het jaar waarin ze op de markt gebracht werden (Figuur 115). White



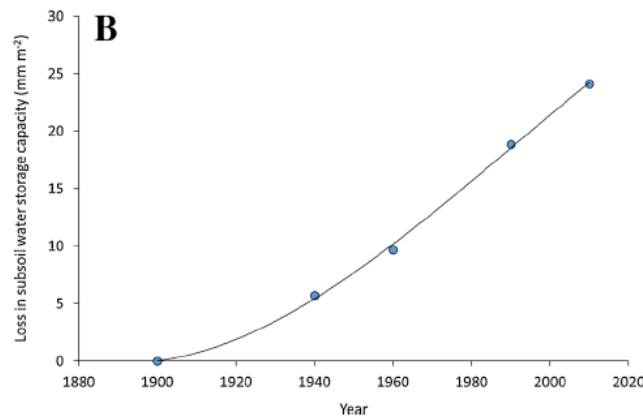
et al. (2015) stelde zelfs dat moderne wintertarwerassen niet adequaat meer zijn om water te capteren beneden de 32 cm. Gelijkaardige vaststellingen zouden er ook zijn bij koolzaad (Keller et al., 2019).



Figuur 115 Lengtegroei wortels vanaf kieming van 14 Zwitserse wintertarwerassen in functie van het jaar dat ze in de verkoop werden gebracht. De lengtegroei werd gemeten in kolomexperimenten met verschillende bodemweerstand (zwart: weinig, blauw: matige en rood: hoge bodemweerstand) (bron: Keller et al., 2019 overgenomen van Colombi et al., 2017).

17.2.5.6 Bodemverdichting – bodemwaterhuishouding

Het vermijden of het remediëren van bodemcompactie kan zowel in natte als droge omstandigheden voordelen voor het gewas bieden. Bij natte omstandigheden wordt onder water staan van het perceel voorkomen (Chamen et al., 2015). Bodemverdichting modificeert de verdeling in poriënvolumes en reduceert de connectiviteit van de bodemporiën. Dit heeft grote gevolgen voor de partitie in hoeveelheid regenwater dat in de bodem infiltreert en de hoeveelheid die oppervlakkig afspoelt (run-off) (Keller et al., 2019). Bij droogte zal de bodem in staat zijn meer water aan het gewas te bieden doordat er meer water kan infiltreren bij regen voorafgaand aan de droogte en omdat er meer plantbeschikbaar water in de bodemporiën kan opgeslagen worden (Chamen et al., 2015). Bodemverdichting heeft ook een weerslag op de bodemwatervoorraad in het bodemprofiel beneden de bouwvoor. Figuur 116 geeft de evolutie sinds 1980 weer van het verlies in opslagcapaciteit van regenwater in de laag 0,25 tot 1,0 m (Keller et al., 2019). Hartge en Horn (2016) (gerefereerd in Keller et al., 2019) gaven eveneens via berekening aan dat in de leemgronden van Niedersachsen 260 mm minder regenwater kan opgeslagen worden in landbouwgrond dan in natuurlijke bosbodems met hetzelfde bodemprofiel. Indien door de klimaatverandering de incidentie van hevige regen op korte termijn en van droogteperiodes toeneemt, zal de negatieve impact van deze weersextremen groter zijn naarmate er meer verdichting in de bodem voorkomt.



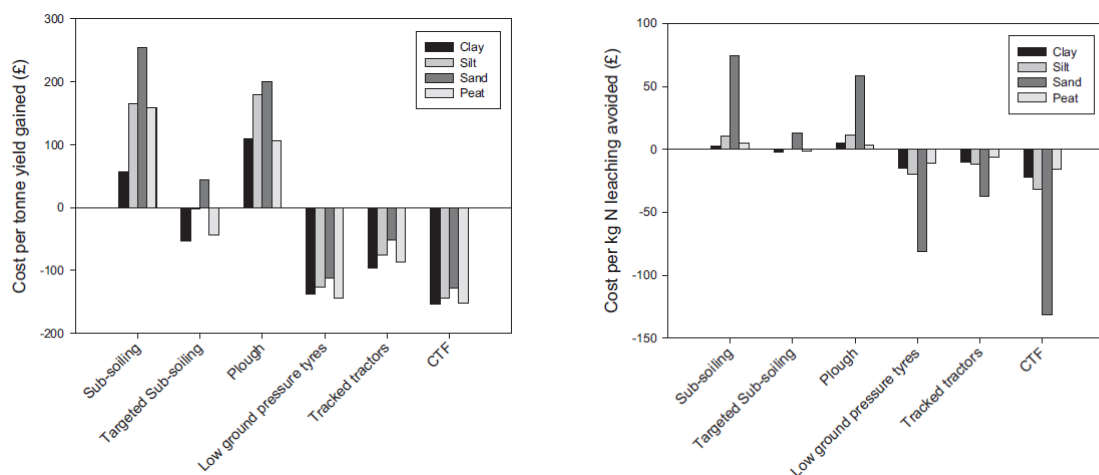
Figuur 116 Evolutie in verlies aan opslagcapaciteit van regenwater in de bodemlaag 0,25-1,0 m, veroorzaakt door gewicht van machines, gebaseerd op simulaties van de bulkdensiteit (bron: Keller et al., 2019)

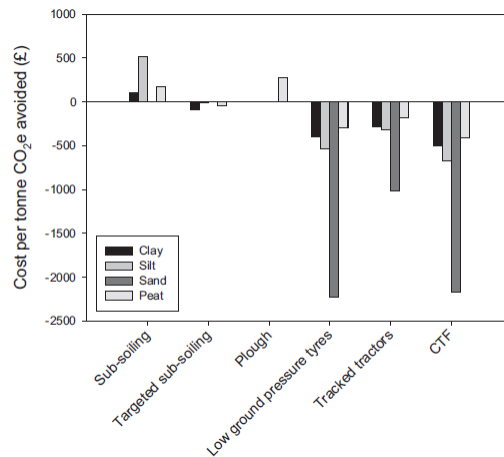
17.2.5.7 Technieken om bodemverdichting te voorkomen en remediëren

Er zijn verschillende maatregelen en technieken mogelijk om bodemverdichting te voorkomen of te remediëren. De belangrijkste zijn:

- Enkel bodembewerkingen in goede omstandigheden uitvoeren;
- Werken aan de bodemkwaliteit;
- Verdichte lagen opheffen indien deze een rem op de gewasgroei vormen;
- Wiellast, banden en bandendruk aanpassen naargelang de omstandigheden;
- Meer gewassen opnemen in de vruchtafwisseling die bodem in rust brengen (gras, granen, enz.) en/of waarvoor de kans op oogst- en bodembewerkingen in te natte omstandigheden klein is.

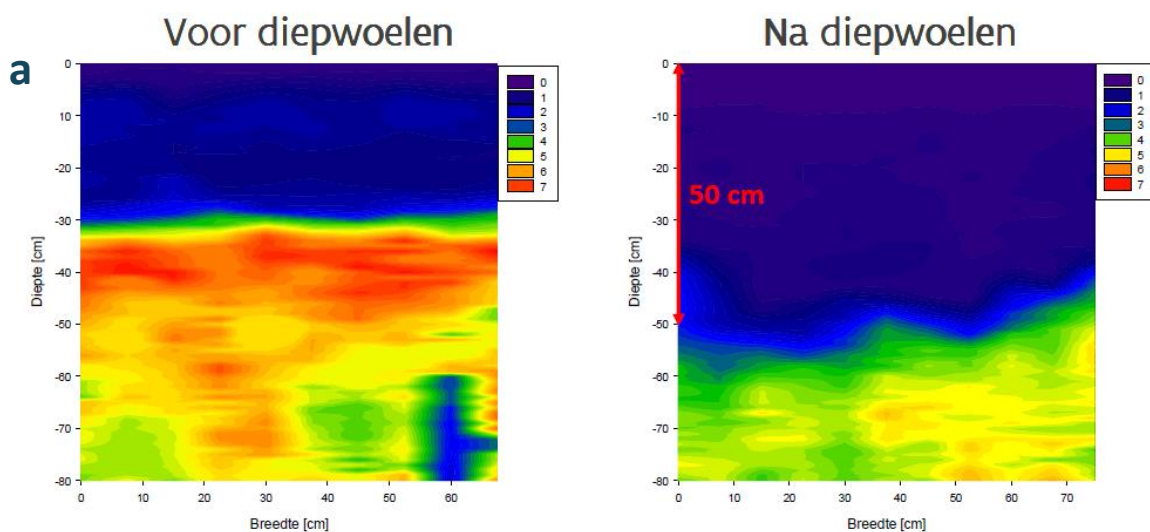
Deze methodes zijn echter niet allen even efficiënt en/of goedkoop. Bovendien zijn veel zaken niet altijd realistisch om uit te voeren op het landbouwbedrijf. Chamen et al. (2015) maakte enkele kostensimulaties voor verschillende technieken in verschillende bodemtypes in Engeland en drukte de kost uit voor het remediëren of voorkomen van bodemverdichting in wintertarwe, per ton opbrengst, per kg N-uitspoeling die werd vermeden en per kg CO₂ equivalenten (dus inclusief N₂O-emissies) die niet werden geëmitteerd (Figuur 117). In sommige situaties werd een negatieve kost gesimuleerd. Dit betekent dat de hogere gewasopbrengst financieel hoger is dan de kost van uitvoeren van de techniek.

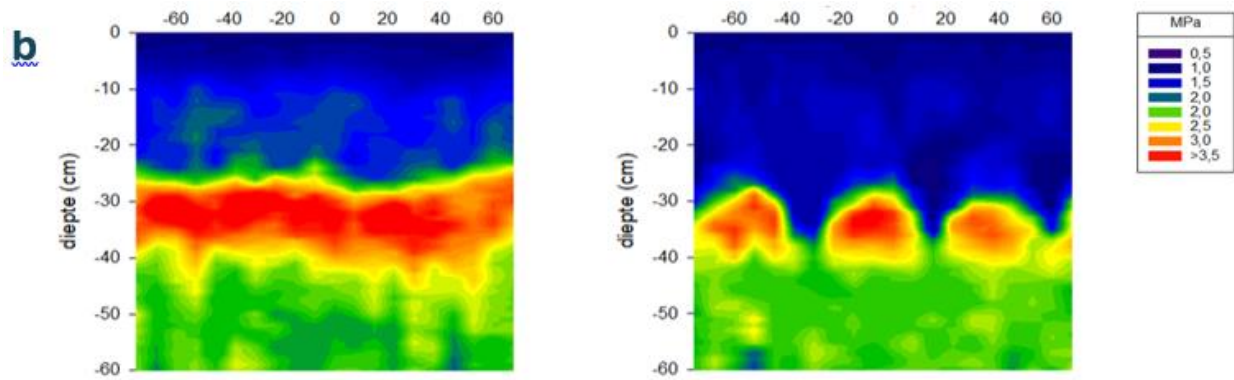




Figuur 117 Economische analyse van verschillende technieken om bodemverdichting te voorkomen en te remediëren in verschillende bodemtypes (CTF staat voor Controlled Traffic Farming, vrij vertaald 'vast rijpadensysteem') (bron: Chamen et al., 2015).

Bij het remediëren door opbreken (diepwoelen) van verdichte lagen is het erg belangrijk om dit oordeelkundig te doen. Een foute aanpak kan het probleem vergroten. Diepwoelen vraagt veel trekkracht. Als de bodem niet voldoende droog is, kan net extra bodemverdichting worden gecreëerd. De tanden van de diepwoeler moeten in de verdichte laag werken. Dieper of ondieper werken kan er net voor zorgen dat er laagjes grond tegen de verdichte laag worden gesmeerd en dat er net een dikkere verdichte laag ontstaat. Bij de keuze van het toestel is het belangrijk om het aantal tanden per meter werkbreedte in functie van het bodemtype te kiezen. Hoe zwaarder de bodem, hoe minder tanden nodig zijn. Wanneer te veel tanden worden gebruikt kan het gevaar ontstaan dat bij een eerstvolgende betreding met een zware machine, de draagkracht weg is en de verdichting nog veel dieper gaat plaatsvinden. In Figuur 118a is te zien dat de verdichte ploegzool volledig werd weggewerkt. Het gevaar bestaat echter dat een zware machine tot ver beneden de bouwvoor verdichting veroorzaakt. In Figuur 118b is een voorbeeld waarbij de verdichting voldoende werd gebroken zodat de wortels naar de diepte kunnen groeien, water beter naar de diepere lagen kan infiltreren of capillair opstijgen, maar dat restanten van de ploegzool nog steeds draagkracht bieden. Het is trouwens ook belangrijk te melden dat een lichte ploegzool geen probleem hoeft te vormen indien deze wortelgroei niet hindert. Net als in Figuur 118b, kan een lichte ploegzool draagkracht bieden aan zware machines en voorkomen dat de verdichting een heel stuk dieper in het profiel zou gebeuren. Na het breken van de verdichte laag kan het telen van sterk wortelend gewas of groenbedekker helpen om de losgebroken kluiten te stabiliseren.





Figuur 118 Enkele penetrogrammen van ILVO-percelen met verdichting die werden opgevolgd in het kader van de VLAIO-LA-trajecten GOMEROS (groenten en maïs op erosiegevoelige percelen) en ‘bodempverdichting voorkomen en remediëren’. De kleur van het penetrogram geeft de gemiddelde bodemweerstand aan van verschillende metingen. Op de Y-as staat de diepte in het profiel. Op de X-as de afstand in de werkbreedte van de machine. (a) Penetrogram van een zandleem perceel voor en na diepwoelen met een machine met 7 tanden met brede beetel op 3 meter. De machine had een sterk woelende werking. Links voor de bewerking en rechts na de bewerking (zomer 2019) (bron: persoonlijke communicatie, Tommy D’Hose). (b) Penetrogram van een zandleem perceel van een strook die niet en die wel werd gediepwoeld met een machine met 6 tanden met smalle beetel op 3 meter. De machine had een minimaal woelende werking en brak de bodem zonder mengen of naar boven brengen van bodemkluiten uit de dieper lagen. Links een strook die niet werd bewerkt en rechts de strook die werd gediepwoeld in de zomer van 2017 na tarwe (penetrometingen in het vroege voorjaar van 2018)(bron: Vanden Nest et al., 2019).

Een techniek die in de nabije toekomst ook aan belang zou kunnen winnen, is het inzetten van robots. In plaats van grote tractoren en zelfrijdende machines die hoge capaciteiten halen ten koste van hoge wiellasten, kunnen ook meerdere kleine robots worden ingezet met een heel beperkte wiellast. Een zware trekker met zaaimachine of schoffelmachine kan bv. vervangen worden door meerdere robots die met 1 zaaielement zaaien of een zelfopererende, cameragestuurde schoffel. De toekomst zal moeten uitwijzen wat kan en wat niet kan.

17.2.6 Conclusies

Een veranderend klimaat zal meer periodes van onvoorspelbare weersextremen in de hand werken, met meer gewasstress tot gevolg. Indien deze stress te hoog wordt daalt het opbrengstpotentieel en kunnen ook de nutriëntenverliezen toenemen. Rechtstreeks omwille van het weerfenomeen of onrechtstreeks omdat opbrengsten lager zijn en er meer nutriëntenoverschotten zijn. Bodemkwaliteit verbeteren is werken aan de veerkracht van het gewas: door te werken aan de waterbeschikbaarheid, de opname van nutriënten, de doorwortelbaarheid van de bodem via het organische stofgehalte van de bodem, de pH van de bodem en de structuur van de bodem. Dankzij een betere bodemkwaliteit wordt het gewas beschermd tegen de extreme weersomstandigheden of beter herstel van negatieve omgevingsomstandigheden. Met een hogere bodemkwaliteit zijn ook minder nutriënten nodig om hetzelfde opbrengstpotentieel te halen. Minder nutriënten aanbrengen betekent dat er minder nutriënten potentieel kunnen verloren worden. In de aangehaalde studies wordt bodemkwaliteit dikwijls als een gegeven op zich bekeken of als een bodemeigenschap die een weerslag heeft op gewasopbrengst en nutriëntenverliezen naar het milieu. De connectie met de weersinvloed, onder een veranderend klimaat, wordt minder gemaakt. De technieken op zichzelf hebben soms geen rechtstreekse connectie met de nutriëntenverliezen, maar zijn er in de eerste plaats om minder opbrengsten te voorkomen en variatie in gewasopbrengsten te reduceren bij een veranderend klimaat en daardoor nutriëntenoverschotten te voorkomen.

1. Bijdrage tot de bodemkwaliteit

Technieken:	Toelichting:
Stabiele organische koolstof aanvoeren	Het aanwenden van producten zoals stalmest, compost, houtsnippers.
Beheer van gewasresten	Het inwerken van gewasresten met hoge C/N verhouding (voornamelijk stro). Makkelijk afbreekbare gewasresten met lage C/N verhouding (bv. groentenresten) kunnen echter een bron zijn van N-verliezen na de teelt
Ploegdiepte	Het reduceren van de ploegdiepte om organische stof op te concentreren.
Groenbedekkers	Het telen van voorteelten, nateelten of tussengewassen om in te werken als bron van organische stof.
Gewijzigde bodembewerking	Bodembewerking in intensiteit en diepte verminderen om minder afbraak van bodemleven en bodemorganische stof te bewerkstelligen.
Bekalking	Het verhogen van de pH tot in de streefzone, om de opneembaarheid van alle nutriënten te maximaliseren voor het gewas.
Vruchtafwisseling en wisselbouw	Het afwisselen van gewassen om stressfactoren te reduceren (doorbreken van ziektecycli, parasitaire nematoden, plagen, concurrerende onkruiden...), gewassen met intense bodembewerking af te wisselen met gewassen die de bodem in rust brengen en om gewassen op te nemen die meer organische stof nalaten. Dit om gewasstress te voorkomen in extremere weersomstandigheden.
Verdichting voorkomen	Het bewerken en betreden van de bodem op zodanige wijze dat verdichting in alle lagen van het bodemprofiel worden voorkomen, bv. door langer te wachten op drogere omstandigheden, aangepaste banden(druk), lagere wiellast, vaste rijpaden. Verdichte lagen hinderen de beworteling waardoor niet alle nutriënten bereikbaar zijn en waardoor het gewas gevoeliger wordt aan waterstress.
Verdichting remediëren	Het doordacht breken van verdichte lagen en eventueel stabiliseren van de bodem via groenbedekkers.
Robotics	Zware machines vervangen door meerdere autonome kleine robots die geen verdichting veroorzaken doordat ze slechts een licht gewicht vormen.



2. Bijdrage tot klimaatmitigatie

<u>Technieken:</u>	<u>Toelichting:</u>
Stabiele organische koolstof aanvoeren	Vorm van C-sequestratie
Beheer van gewasresten	Vorm van C-sequestratie
Ploegdiepte	Minder diep ploegen vraagt minder energieverbruik uit fossiele brandstoffen.
Groenbedekkers	Vorm van C-sequestratie en minder residuele minerale N, waardoor ook minder N ₂ O-emissie plaatsvindt
Gewijzigde bodembewerking	Bij minder en minder intensieve bodembewerking is er ook minder energieverbruik uit fossiele brandstoffen.
Bekalking	Verhoogde beschikbaarheid van nutriënten door bekalking, leidt tot minder noodzaak aan minerale en kunstmeststoffen.
Vruchtafwisseling en wisselbouw	Minder gewasstress, leidt tot hogere opbrengsten en dus meer C-vastlegging in het gewas.
Verdichting voorkomen	Minder gewasstress, leidt tot hogere opbrengsten en dus meer C-vastlegging in het gewas. Minder verdichting = minder N ₂ O-emissie (verdichting leidt tot meer zuurstofarme situaties in de bodem en dus meer N ₂ O-emissie)
Verdichting remediëren	Minder gewasstress, leidt tot hogere opbrengsten en dus meer C-vastlegging in het gewas. Minder verdichting = minder N ₂ O-emissie (verdichting leidt tot meer zuurstofarme situaties in de bodem en dus meer N ₂ O-emissie)
Robotics	Afhankelijk van de technologie is er vermoedelijk kans op energieverbruik uit fossiele brandstoffen.

3. Technology Readiness Level-score

Alle technieken hier vernoemd, behalve de robotics staan op punt en worden op veel bedrijven toegepast in de mate van het mogelijke¹. We zetten ze dan ook op level 9 (productie en product volledig operationeel). Een optimalisering door verdere sensibilisering en opleiding kan wel helpen om landbouwers nog meer bewust te maken van het lange termijn nut van deze technieken. Ook verdere sensibilisatie van die landbouwers die nog onvoldoende actief werken aan bodemkwaliteit is nodig.

¹ Hiermee wordt bedoeld dat veel bedrijfsleiders zich heel bewust zijn van bodemkwaliteit en kennis hebben van technieken om de bodemkwaliteit te verbeteren. In de bedrijfsvoering zijn er echter veel momenten waarop de bodemkwaliteit kan benadeeld worden zonder dat de landbouwer hiervoor echt iets kan aan doen, met als beste voorbeeld opgelegde oogstdata die samenvallen met slechte weersomstandigheden.



Robotics zitten naargelang het type robot op een level 5 (Technologie gevalideerd buiten labo) of level 6 (technologie gedemonstreerd buiten labo). De technologie is reeds sterk in ontwikkeling, maar de uitrol in de praktijk vindt voorlopig enkel beperkt plaats in beschutte teeltomgeving (zoals stekrobots en plukrobots) en nog niet in het open veld.

4. Knelpunten?

<u>Technieken:</u>	<u>Toelichting:</u>
Stabiele organische koolstof aanvoeren	De aanvoer is beperkt door de mestwetgeving. Deze producten bevatten ook nutriënten die bij onoordeelkundig gebruik verloren kunnen gaan. Organische meststoffen met weinig stabiele koolstof zoals drijfmest zijn in deze mate aanwezig dat er maar weinig plaatsingsruimte overblijft voor andere producten.
Beheer van gewasresten	Het meest voor de hand liggende product (graanstro) heeft ook een economische waarde in een laag rendabele teelt. Gemakkelijk afbreekbare gewasresten afvoeren voor bv. compostering, technologie niet beschikbaar of te duur.
Ploegdiepte	
Groenbedekkers	Groenbedekkers zijn vooral mogelijk als nateelt na granen. In rotaties met meer laat geoogste gewassen is er dikwijls niet de mogelijkheid meer om nog tijdig een groenbedekker in te zaaien.
Gewijzigde bodembewerking	Kennis die de landbouwer gaandeweg zal moeten opdoen om het gewas te laten slagen in minder intense bodembewerking of systemen zoals niet-kerende bodembewerking.
Bekalking	Winst op korte termijn te beperkt.
Vruchtafwisseling en wisselbouw	Winst op korte termijn te beperkt en te lage rendabiliteit van de landbouw om veel gewassen op te nemen die vruchtwisseling ten goede komen.
Verdichting voorkomen	Bedrijven worden groter, waardoor meer capaciteit nodig is en dus zwaardere machines. Oogst van heel wat gewassen wordt niet bepaald door de teler, maar door de markt en de afnemer die geen rekening houdt met omstandigheden in het veld. Vaste rijpaden vragen een aangepast machinepark en daarmee dus ook grote investeringen.
Verdichting remediëren	Foutief uitvoeren van het breken van verdichte lagen
Robotics	Nog onvoldoende ver ontwikkeld en/of te duur



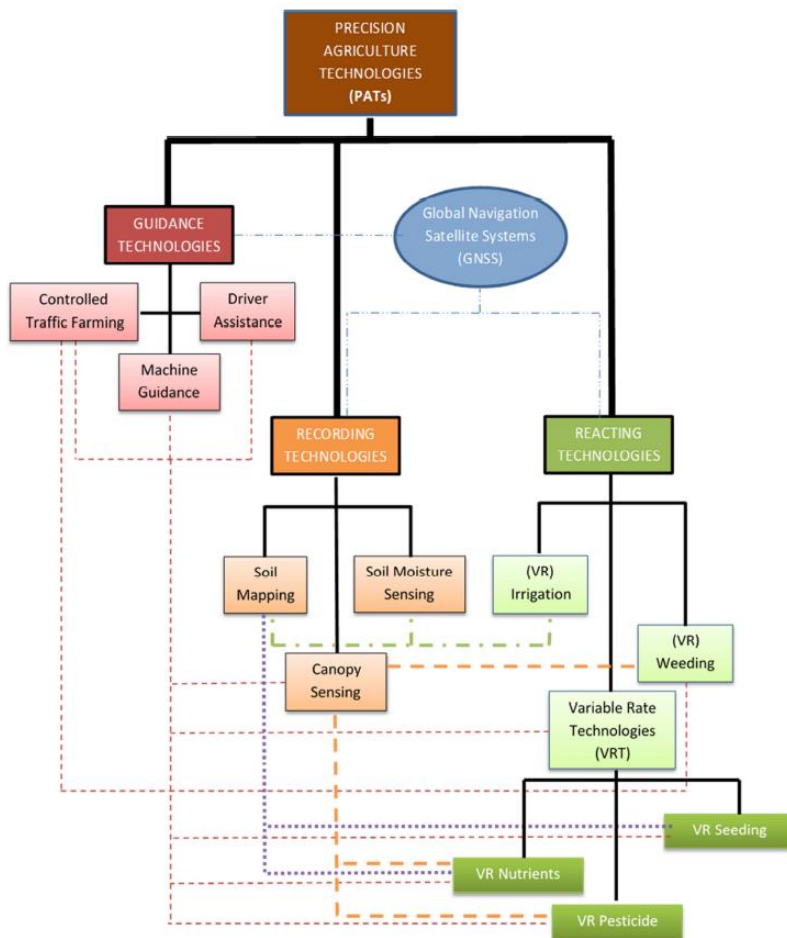
5. Kennishiaten en onderzoeksopportunities?

Technieken:	Toelichting:
Stabiele organische koolstof aanvoeren	-
Beheer van gewasresten	Nood aan oogstmachines die snel afbreekbare gewasresten (zoals bv. groentenresten) opvangen zodat verzameling voor bv. vergisting of compostering mogelijk is om nutriënten te laten 'overwinteren'.
Ploegdiepte	-
Groenbedekkers	Kennis over mengteelten waarbij de groenbedekker reeds in de hoofdteelt wordt gezaaid voor oogst of zelfs gelijk met de hoofdteelt om zo een snelle doorstart te hebben van de groenbedekker (en zijn functie als vanggewas te optimaliseren).
Gewijzigde bodembewerking	-
Bekalking	Het verder optimaliseren van een variabele bekalking, zodat afhankelijk van de veldvariabiliteit, de juiste dosis wordt toegediend.
Vruchtafwisseling en wisselbouw	-
Verdichting voorkomen	Verder onderzoek naar technologie die verdichting kan voorkomen.
Verdichting remediëren	-
Robotics	In welke mate is het realistisch voor de technologie en lage rendabiliteit van de landbouw om een 'leger kleine autonome robots' in te zetten op praktijkpercelen



17.3 Innovatie 3 – Precisielandbouw

In de workshops kwam duidelijk naar voor dat de deelnemers veel verwachten van precisielandbouwtechnieken in de komende decennia. Precisielandbouw zou er moeten toe bijdragen dat de productiviteit verhoogt en tegelijk de broeikasgasuitstoot verlaagt (Soto et al., 2019). Met andere woorden, precisielandbouwtechnieken moeten ertoe bijdragen dat er efficiënter wordt geproduceerd. Dit kan betekenen dat de nutriëntenverliezen al dan niet tegelijk worden verlaagd (zie verder). Het is hierbij belangrijk erop te wijzen dat met de term ‘precisielandbouw’ dikwijls ook ‘smart farming’ wordt bedoeld. Nochtans zijn dit geen synoniemen. Precisielandbouw omvat alle mogelijke landbouwtechnieken die gebruik maken van informatietechnologie die wordt gehanteerd om de inputs specifiek aan te passen aan de gewenste outputs of om de outputs te monitoren (Bongiovanni en Lowenberg-Deboer, 2004). Figuur 119 geeft een schematisch overzicht van mogelijke technieken. Smart farming daarentegen draait niet om precieze metingen van variatie in het veld of tussen dieren, maar gaat over het inzetten van de gecollecteerde informatie op een ‘slimme manier’ (Anoniem, 2020). Plaatsspecifiek (landbouw)management is het idee van het juiste te doen op de juiste plaats en het juiste moment. Op zich is dit idee even oud als de landbouw zelf, maar met de groei van de bedrijven werd dit moeilijker om toe te passen. Bovendien was er in de 20^e eeuw ook sterke economische druk om te evolueren naar grote percelen met uniforme behandeling. Precisielandbouwtechnieken laten nu echter meer en meer toe om ook op grote schaal plaats specifiek management toe te passen.



Figuur 119 Schematisch overzicht van de verschillende precisielandbouwtechnieken (VR: variable rate) (bron: Soto et al., 2019)



Het feit dat precisielandbouw en smart farming geen synoniemen zijn, duidt meteen ook op de valkuil die er kan zijn. Precisielandbouwtechnieken kunnen immers soms ook ‘niet slim’ worden ingezet. We geven twee voorbeelden:

- De techniek moet ingezet worden waarvoor hij bedoeld is.
 bv. een satelliet- of dronebeeld geeft een plek met lagere loofgroei aan in een aardappelveld. Een toepassing van bladbemesting om dit op te vangen zal geen zin hebben indien de oorzaak een uitbraak is van bv. *Phytophthora infestans* of de coloradokever die het loof afdoodt of afvreet.
- Omgaan met informatie over variabiliteit.
 Bv. in een tarweveld geeft een satelliet- of dronebeeld aan dat er groeiachterstand en N-gebrek is in een bepaalde hoek van het perceel. Men kan hier de dosis van de volgende N-fractie blindelings verhogen, maar men kan ook de oorzaak trachten te definiëren en op te lossen. Dit zou bv. het gevolg kunnen zijn van een sterke ploegzool op deze plek, waardoor het breken van de ploegzool op lange termijn een duurzamere strategie is.

Het laatste voorbeeld geeft meteen ook weer dat men twee wegen kan bewandelen om van precisielandbouwtechnieken gebruik te maken in het management. Men kan opteren om het management aan te passen om variatie proberen weg te werken, of men kan het management aanpassen naar de variatie in het veld. Welke weg men bewandelt zal afhangen van de situatie ter plaatse, het gestelde doel en de verwachte productiviteitswinst die men kan boeken. Figuur 120 reikt een schema aan hoe men kan te werk gaan. Ook hier geven we nog een praktisch voorbeeld:

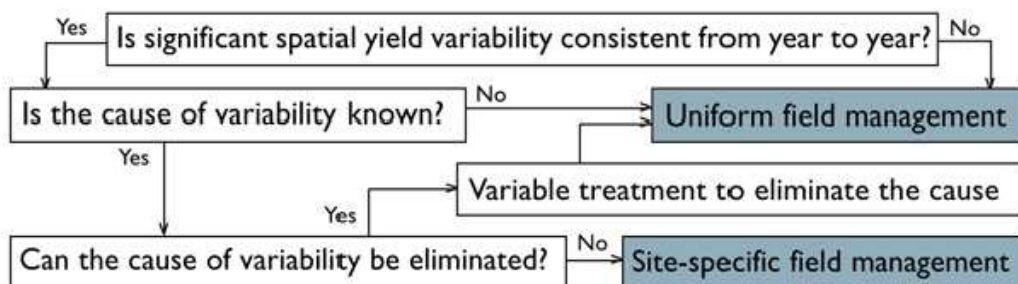
Een opbrengstsensor van een maïshakselaar geeft een bepaalde plek aan in een perceel met een veel lagere opbrengst ten opzichte van het gemiddelde van het perceel. De N-bemesting rendeert hierdoor veel minder op deze plek. Er wordt minder N opgenomen.

Situatie 1: Een bodemsensor geeft aan dat deze plek een erg lage bodemzuurtegraad heeft. Bij een variabele bekalking kan men hier de bekalking hoger instellen. Door een verhoging van de pH komen de nutriënten meer beschikbaar voor het gewas. Het gewas groeit beter en de N rendeert beter.

→ de variatie wordt afgevlakt.

Situatie 2: De bodemkaart (of de landbouwer die zijn perceel goed kent) geeft aan dat deze plek samenvalt met een zandkop. Het gewas heeft hier bijna ieder seizoen watergebrek. De toegediende N rendeert daardoor te weinig. Men kan de N-bemesting op deze plek verminderen, ten voordele van een plek in het perceel waar de N-bemesting beter rendeert.

→ het management past zich aan de veldvariatie aan.



Figuur 120 Flowchart van het besluitvormingsproces hoe te investeren in site-specific management, gebaseerd op ruimtelijke opbrengstspreading (bron: Cropwatch, 2016)

Onderstaande tekst in dit hoofdstuk behandelt de potentiële effecten van precisielandbouw op productiviteit, nutriëntenverliezen en uitstoot van broeikasgassen. Er wordt aangegeven hoe economie speelt in het al dan niet uitrollen van technieken. We geven een beperkte opsomming van technieken die werden gevonden in de literatuur of die werden gevonden op websites en via contact met onderzoekers. Ten slotte wordt ook een korte toelichting gegeven over irrigatie. In de workshops



werd irrigatie niet als thema weerhouden bij de innovaties, maar het kan wel als een onderdeelje van precisielandbouw gezien worden.

17.3.1 Precisielandbouw en nutriënten(verliezen)

De meest gehanteerde precisielandbouwtechniek in Vlaanderen is momenteel deze van machine guidance (MG) oftewel technieken die gebruik maken van een RTK-GPS om de chauffeur ofwel te begeleiden tijdens het rijden ofwel de tractor autonoom te laten rijden. Deze techniek wordt meestal gehanteerd om 'recht te rijden'. Een beperkt aantal landbouwers gebruikt deze ook om bv. variabel te planten of op een perceel met verschillende hoeken de wijze van planten uit te zoeken om zo weinig mogelijk akkerwendes en zoveel mogelijk planten per hectare efficiënt in te passen (persoonlijke communicatie, Cofabel 2016). Een andere precisielandbouwtechniek die wereldwijd beproefd werd maar nog maar weinig gebruikt wordt in Vlaanderen, is het toepassen van variabele bemesting (VRNT: variable rate nutrient technology). Bongiovanni en Lowenberg-Deboer (2004) deden een uitgebreide studie waarbij ze heel wat literatuur van studies van deze techniek samenbrachten. In Tabel 64 en Tabel 65 geven we respectievelijk de bevindingen voor variabel N en P bemesten via precisielandbouwtechnieken, zoals beschreven door Bongiovanni en Lowenberg-Deboer (2004). De tabellen vermelden het gewas, de regio, de methode en de bevindingen van de geciteerde studies. Zonder compleet te willen zijn, bespreken we enkele interessante bevindingen uit deze studies.

Roberts et al. (2001) maakten simulaties op basis van 63 hypothetische percelen in Tennessee voor 3 bodemtypes en 3 weerscenario's voor 20 jaar. Hieruit bleek dat door variabel N te gaan toedienen er meer N in totaal werd bemest, maar net minder N-uitspoeling was door een efficiënter N-gebruik door het gewas. De daling in N-uitspoeling was echter klein, slechts 2,24 tot 4,48 kg N/ha per jaar en in percelen met weinig ruimtelijke variatie was er zelfs geen verlaagde N-uitspoeling. Griepentrog en Kyhn (2000) bestudeerden variabele N-bemesting in tarwe en gerst in Sleeswijk-Holstein. Ze vergeleken de klassieke situatie met uniforme bemesting met (i) een strategie waarbij variabele bemesting werd toegepast op danige wijze dat de totale bemesting hoog en kort tegen het gemiddelde advies lag en (ii) een strategie waarbij men variabele bemesting toepaste met als doel de bemesting zo laag mogelijk te brengen zonder een opbrengstderving in de hand te werken. Hun conclusies waren dat een verhoging van de gewasopbrengst niet haalbaar was, maar dat maar liefst 36% kon bespaard worden op de N-bemesting, zonder een significant negatief effect op de gewasopbrengst. Een kanttekening is wel dat een lager eiwitgehalte van het graan zorgt dat het graan in een lagere kwaliteitsklasse valt. Leiva et al. (1997) wijzen erop dat de uiteindelijke impact van precisielandbouwtechnieken op het milieu ervan afhangt of de technieken zullen worden ingezet om een maximale winst te bekomen, dan wel een minimalisering van het risico op een negatieve milieu-impact (bv. uitspoeling). Thrikawala et al. (1999) geven aan dat er vooral veel negatieve milieu-impact kan voorkomen worden als de bodem een 'gemiddelde' vruchtbaarheid heeft. In bodems met een lage vruchtbaarheid is er immers weinig range om te spelen met de variabiliteit en in erg vruchtbare bodems liggen veel, zo niet alle parameters op danig niveau dat ze al boven het landbouwkundig optimum liggen. Zelfs bij verlaagde bemesting kunnen nutriëntenverliezen blijven voorkomen. Er zijn ook studies die helemaal geen positief effect hebben vastgesteld van precisiebemesting op de milieu-impact. Redulla et al. (1996) vonden in geen van de 3 jaren en in geen van de opgevolgde sites in Kansas verschillen in NO₃-N-residu's na de oogst tussen behandelingen met een variabele bemesting en behandelingen met een vaste uniforme bemesting.



Tabel 64 Overzicht van studies geciteerd in Bongiovanni en Lowenberg-Deboer (2004), waarbij variabele N-bemesting als precisielandbouwtechniek werd toegepast. De tabel vermeldt de regio, methode en resultaat van variabele N-bemesting

Crop	Input/Factor	Region	Methodology	Results of using VRT
<i>Wang et al. (2003)</i> Com	N	Missouri	Used topsoil depth data to develop recommendations with a simulation model.	*VRT was more profitable than uniform rate in 75% of the cases, with a gain in profits up to \$37.14 ha ⁻¹ in one of the fields.
<i>Roberts et al. (2001)</i> Com	N	Tennessee	EPIC simulation model to estimate N leaching.	*More N was applied with VRT, but less N was lost to the environment N leaching reduced by 2.24-4.48 kg ha ⁻¹ .
<i>Delgado et al. (2001)</i> Barley Potato	N	South Central Colorado	Field trials and use of information to estimate N leaching as a difference.	*N management practices can potentially be improved to reduce potential N losses and conserve water quality.
<i>Kholsa et al. (2001)</i> Com	N	Colorado	Field trials and use of information to estimate N leaching as a difference.	*VRT-N has the highest NUE and lowest leaching compared to other treatments.
<i>Whitley et al. (2000)</i> Potato	N	Washington State	Field trials. Measured N leaching with probes.	*Surface soil had high NO ₃ -N flux. *Subsurface soil NO ₃ -N flux stable. *NO ₃ -N leaching was decreased in vulnerable zones due to a lower N rates in these zones.
<i>Griepentrog and Kyhn (2000)</i> Wheat Barley	N	Northern Germany	Field trials. Measured reduced chemical loading.	*VRA reduced N by 36% in low areas while maintaining the high yields.
<i>English et al. (1999)</i> Com	N	West Tennessee	EPIC simulation model to estimate N leaching.	*VRT was more profitable than uniform rate and that it generated less nitrogen loss to the environment in most cases.

Op vlak van P-bemesting hoeft waarschijnlijk geen grote respons van het gewas op een variabele P-bemesting verwacht te worden. Uit het onderzoek van Larson et al. (1997) blijkt echter wel dat de ruimtelijke variatie in P-voorraad in een perceel groot kan zijn. Gebruik maken van variabele P-bemesting kan dus wel helpen met een juiste plaatsing van de P en daardoor minder gevoeligheid voor P-uitspoeling creëren op sommige plekken in het perceel waar de P-voorraad piekt.

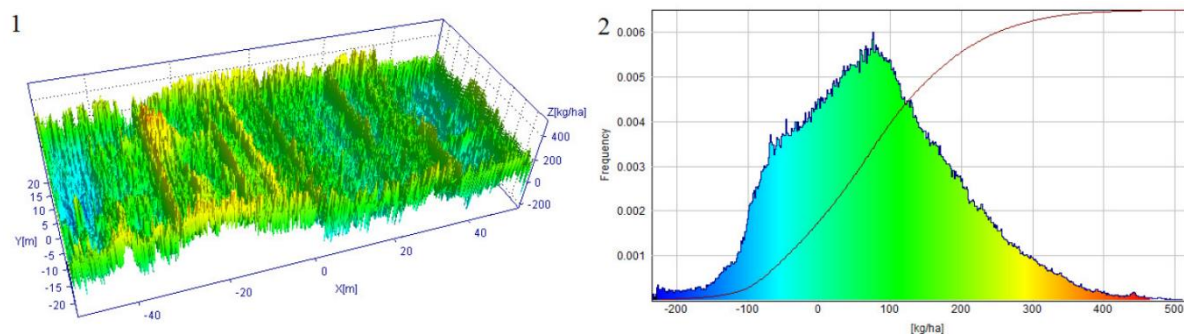
Tabel 65 Overzicht van studies geciteerd in Bongiovanni en Lowenberg-Deboer (2004), waarbij variabele P-bemesting als precisielandbouwtechniek werd toegepast. De tabel vermeldt de regio, methode en resultaat van variabele P-bemesting

Crop	Input/Factor	Region	Methodology	Results of using VRT
<i>Bonham and Bosch (2001)</i> Corn farms (121)	P	Chesapeake Bay watershed Virginia	Used chemical loading information from Virginia Department of Conservation and estimated P leaching with linear programming.	* Use of site-specific information allows for more accurate predictions of P pollution potential.
<i>Larson et al. (1997)</i> Corn Soybeans Wheat Grass	P	U.S.A.	Conceptual framework based upon chemical loading to estimate P leaching as a difference.	* <i>Potential:</i> A number of SSM practices can help to reduce the likelihood of P moving from fields into surface waters.



Ondanks het interessante overzicht van Bongiovanni en Lowenberg-Deboer (2004) moeten we vaststellen dat deze studie reeds 15 jaar oud is. Hieronder bekijken we daarom nog enkele recentere studies.

Marinello et al. (2017) onderzochten hoe met precisielandbouwtechnieken aan de slag kan gegaan worden om nutriëntenverliezen te beperken. Op een perceel van 52 ha in de Po-vallei (Italië) werd in 2 opeenvolgende jaren korrelmaïs geteeld. Op basis van bodemstalen op 30 posities werd de variatie in C%, bulkdensiteit en beschikbaar N-gehalte voor en na de proef in kaart gebracht. Modelmatig werd voor pixels van 10 op 10 m de mineralisatie berekend op basis van de C/N ratio, de bodemtextuur (voor de mineralisatiecoëfficiënt werd verwezen naar Shiratani et al., 1997 en Morari et al., 2015) en hoeveel N uit depositie te verwachten was. Via een opbrengstdetectie werd een opbrengstkaart opgesteld en een kaart van de N-export door een combinatie van N-stalen en de opbrengstkaart. Het verschil in bemesting, mineralisatie en depositie enerzijds en de export via de oogst anderzijds wordt beschouwd als proxy voor het verlies aan N via emissie en uitspoeling. Ook hier kan een kaart van opgesteld worden (Figuur 121), hoe roder, hoe meer N-verlies, hoe blauwer, hoe meer N-tekort (negatieve N-balans)). Op basis van deze kaart wordt 15% van de oppervlakte beschouwd als overbemest. Meer specifiek zijn dit de akkerwendes en een ovale zandige plek. Er werd tegelijk ook 11,5% van de oppervlakte onderbemest. Knelpunten van dit onderzoek zijn dat men de werkelijke mineralisatie niet gemeten heeft en dat voor uitrol in de praktijk N-gehalten in het veld moeten gemeten worden. Anderzijds is het misschien mogelijk dat één intensievere meetcampagne voldoende info kan opleveren om meerdere jaren aan de slag te kunnen. In deze studie, werden 30 stalen op 52 ha genomen. Ieder staal is dus representatief voor 1,7 ha. In Vlaanderen komen zulke grote percelen nauwelijks voor, maar wordt standaard 1 staal per perceel genomen indien het perceel <2 ha en een staal per subdeel van 2 ha, indien de perceelsoppervlakte >2 ha. De resolutie van deze studie – namelijk over hoeveel oppervlakte een bodemstaal een uitslag geeft- is vrij gelijkaardig als deze van staalnames in Vlaanderen. Het is echter wel zo dat in de kleinere oppervlakte van de Vlaamse percelen de randinvloed groter kan zijn en procentueel meer akkerwende voorkomt, waardoor de resolutie van staalname in Vlaanderen groter moet zijn om de variabiliteit ter dege te detecteren.

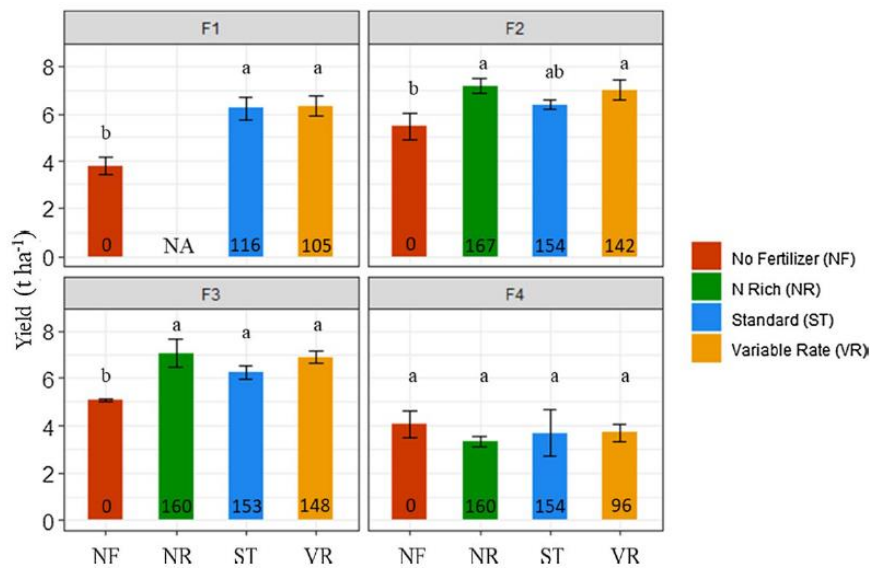


Figuur 121 Geografische variatie in 'ontbrekende' N in een 52ha groot perceel in de Po-vlakte van twee opeenvolgende jaren maïsproductie (links) en frequentie van pixels van 10 op 10m in functie van de hoeveelheid 'ontbrekende' N (bron: Marinello et al., 2017)

Argento et al. (2020) vergeleken variabele N-bemesting van tarwe op basis van dronebeelden van het gewas met constante N-bemesting en een negatieve (geen bemesting) en positieve (hogere N-bemesting) controle in Zwitserland (Figuur 122). Door variabele bemesting kon naargelang het perceel 5 tot 40% op de N-bemesting bespaard worden ten opzichte van de standaard uniforme bemesting, zonder dat dit een effect had op de totale gewasopbrengst. Dit zorgde voor een verhoging van de N use efficiency met ongeveer 10% (berekend als "apparent fertilizer recovery"). De studie gaf ook aan dat dronebeelden noodzakelijk waren om de bemesting juist in te schatten op basis van het gewas. Dit komt omdat men in deze studie ook werkte met kleine plotjes in het veld, die onvoldoende met

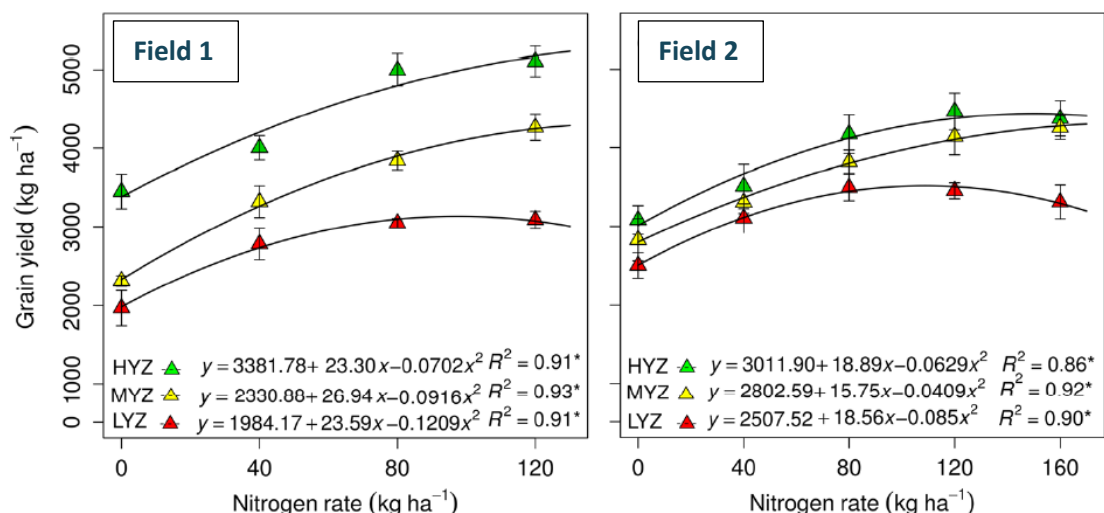


satellietbeelden van sentinel-2 konden onderscheiden worden. De onderzoekers gaven wel aan dat voor volledige percelen in praktijkomstandigheden evengoed satellietbeelden bruikbaar zouden moeten zijn.



Figuur 122 Gemiddelde tarweopbrengst (ton/ha) (\pm standaardfout) op 4 velden verspreid over 2 jaren in 4 verschillende behandelingen. Significante verschillen worden aangeduid met een verschillende letter. Het cijfer in de balk geeft de N-bemesting (kg N/ha) weer (bron: Argento et al., 2020)

Schwalbert et al. (2019) onderzochten in Brazilië op tarwe de meerwaarde van variabele N-bemesting. Men moet zich er van bewust zijn dat de percelen tientallen hectaren tot >100ha groot zijn, waardoor de resultaten met de nodige voorzichtigheid moeten geïnterpreteerd worden bij vertaling naar Vlaanderen. Schwalbert et al. (2019) vergeleken 4 strategieën: (i) uniforme N-bemesting (CR), (ii) variabele N-bemesting gebaseerd op remote sensing (CS), (iii) variabele N-bemesting naargelang het productiepotentieel van de zone in het perceel (er werden 3 zones gedefinieerd) (MZ) en (iv) de combinatie van de laatste twee strategieën (CS+MZ). Op basis van een opbrengstkaart van maïs van het voorbije seizoen, gecombineerd met de topografie en een bodemkaart van het EC-gehalte, werden 3 zones afgebakend in het veld, resp. met lage, gemiddelde en hoge opbrengst. In iedere zone werd een N-trap-experiment uitgevoerd om de opbrengstresponscurves op te stellen (Figuur 123). Uit Figuur 123 blijkt duidelijk dat de respons anders is per zone. Toch is er weinig verschil in optimale bemesting om optimale opbrengsten te halen tussen de zones (Tabel 66) als men de strategie aanhoudt van een bemesting per opbrengstzone (MZ). Wanneer met remote sensing wordt gewerkt (CS) wordt bemest op basis van de stand van het gewas. Het is dan ook te verwachten dat de zone met het laagste opbrengstpotentieel (LYZ) net de hoogste bemesting krijgt (tabel 3). Wanneer men echter de twee technieken combineert kijkt men zowel naar de gewasstand als naar de gewasrespons per zone. Deze laatste strategie (CS+MZ) heeft de hoogste potentiële opbrengst, zowel in graan als economisch (Tabel 66). Het is natuurlijk niet haalbaar dat in veel kleinere percelen zoals in Vlaanderen, N-trappenproeven worden aangelegd om zones te definiëren binnen een perceel. Wat echter niet ondenkbaar is, is dat proeven per regio, bodemtextuur en opbrengstpotentieel worden aangelegd die dan kunnen gehanteerd worden als referentie voor percelen van een hele regio. Dit moet verder onderzocht worden.



Figuur 123 Gewasresponscurve op N-trappen in de 3 opbrengstzones (HYZ, MYZ en LYZ: high, medium en low yield zone) van field 1 en 2 (bron: Schwalbert et al., 2019)

Tabel 66 Voorgescreven optimale N-bemesting, graanopbrengst en economische opbrengst per zone, per veld en per strategie (bron: Schwalbert et al., 2019)

Strategy	Nitrogen rate (kg ha ⁻¹)				Grain yield (kg ha ⁻¹)				Partial economic return (US\$ ha ⁻¹)			
	Average	HYZ	MYZ	LYZ	Average	HYZ	MYZ	LYZ	Average	HYZ	MYZ	LYZ
Field 1												
CR	80	80	80	80	4558	4994	4836	3145	670	738	714	451
MZ	82	88	80	72	4663	5195	4899	3133	686	766	723	453
CS	81	79	79	90	4595	5032	4892	3146	676	744	723	447
CS+MZ	85	112	80	41	4838	5604	4907	3146	712	818	725	469
Field 2												
CR	80	80	80	80	3984	4348	4317	3475	582	638	633	503
MZ	79	88	80	72	4003	4439	4317	3453	585	648	633	503
CS	79	81	82	89	4017	4364	4344	3523	587	640	636	506
CS+MZ	86	111	109	52	4209	4699	4654	3524	614	678	672	523

CR constant rate, MZ management zone, CS crop sensor, CS+MZ integration between crop sensor and MZ, HYZ high yield zone, MYZ medium yield zone, LYZ low yield zone

Precisielandbouwtechnieken kunnen ook ingezet worden voor een juistere P-bemesting. Mollenhorst et al. (2020) waren in staat om, op basis van weersgegevens van 1993 tot 2016 en 657 percelen met opbrengstgegevens, een voorspellingsmodel te bouwen –via machine learning- dat een betere inschatting gaf van de P-export bij gras, maïs en granen dan de P-evenwichtsnorm in Nederland. De techniek biedt dus een mogelijkheid om juistere inschattingen te geven van de noodzaak aan fosfaatbemesting. De onderzoekers halen aan dat vermoedelijk een model per bodem en regio moet gebouwd worden. Gezien de relatieve immobiliteit van het element P en het feit dat de P-voorraad slechts op de lange termijn beïnvloedbaar is, kan men zich de vraag stellen of een model dat per jaar een juistere inschatting maakt ook beter is dan een vaste norm die over de jaren heen gemiddeld wel correct is. Tenzij de weersomstandigheden echt extreem worden en uitzonderlijke weersomstandigheden de regel worden. In dat geval is het mogelijk dat een evenwichtsnorm zelfs over de jaren heen niet meer correct is.



In de hierboven aangehaalde studies worden technieken beproefd, maar deze technieken zijn dikwijls nog niet verkrijgbaar of uitrolbaar in Vlaanderen, bijvoorbeeld omdat ze nog niet gecommmercialiseerd zijn of omdat een tussenschakel nog ontbreekt. Een concreet voorbeeld is dat de variabiliteit van een perceel met een sensor in kaart gebracht kan worden, het bemestingsadvies kan ruimtelijk aangepast worden in een taakkaart, maar dat de strooier de taakkaart niet kan 'lezen'. Bovendien kunnen in de praktijk ook nog wel andere knelpunten naar boven komen dan in het onderzoek. Daarom is de studie van Soto et al. (2019) interessant. De studie baseerde zich o.a. op een survey bij meer dan 500 landbouwers en loonwerkers in België, Nederland, Duitsland, Frankrijk en Griekenland. Er werd vooral gebaseerd op de akkerbouwgewassen tarwe en aardappelen (katoen in Griekenland). Op basis van de survey werd een inschatting gemaakt van de opbrengsttoename, brandstofbesparing en N-besparing in een pessimistisch, gemiddeld en optimistisch scenario voor de twee precisielandbouwtechnieken machine guidance (MG) en variable rate nutrient technology (VRNT) (Tabel 67). Met machine guidance en variable rate nutrient technology kunnen gemiddeld respectievelijk 2,9 en 8,0% van de toegepaste N worden bespaard. Zelfs indien de technieken niet leiden tot hogere gewasopbrengsten, zal de lagere totale N-dosis ertoe leiden dat minder N potentieel kan gaan uitspoelen. Een belangrijke opmerking is hier wel, dat als de incidentie van N-uitspoeling toeneemt onder het veranderende klimaat, het kan zijn dat er netto niet minder uitspoelt. Dit neemt niet weg dat deze precisielandbouwtechnieken groot potentieel hebben om N uit te sparen.

Tabel 67 Inschatting van het effect van de precisielandbouwtechnieken machine guidance (boven) en variable rate nutrient technology (onder) op opbrengst, brandstofverbruik en toegepaste N, volgens de survey van Soto et al. (2019) in België, Nederland, Frankrijk, Duitsland en Griekenland in de gewassen aardappelen en tarwe (in Griekenland katoen i.p.v. aardappelen)

	Pessimistic	Average	Optimistic
Yield	-4.0%	0.0%	4.0%
Fuel use	-2.4%	-5.4%	-8.3%
N applied	0.5%	-2.9%	-6.4%

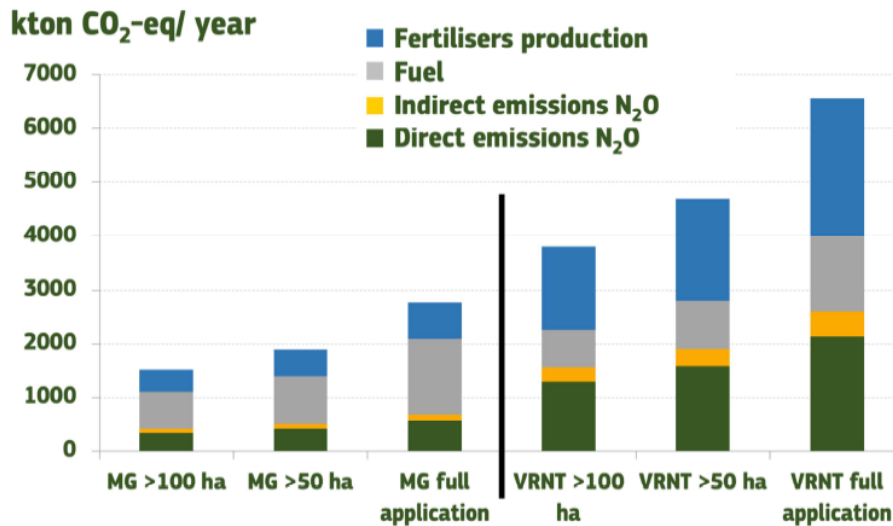
	Pessimistic	Average	Optimistic
Yield	0.8%	4.1%	7.4%
Fuel use	0.6%	-5.4%	-6.3%
N applied	-4.6%	-8.0%	-11.7%

17.3.2 Precisielandbouw en beperking van broeikasgassen

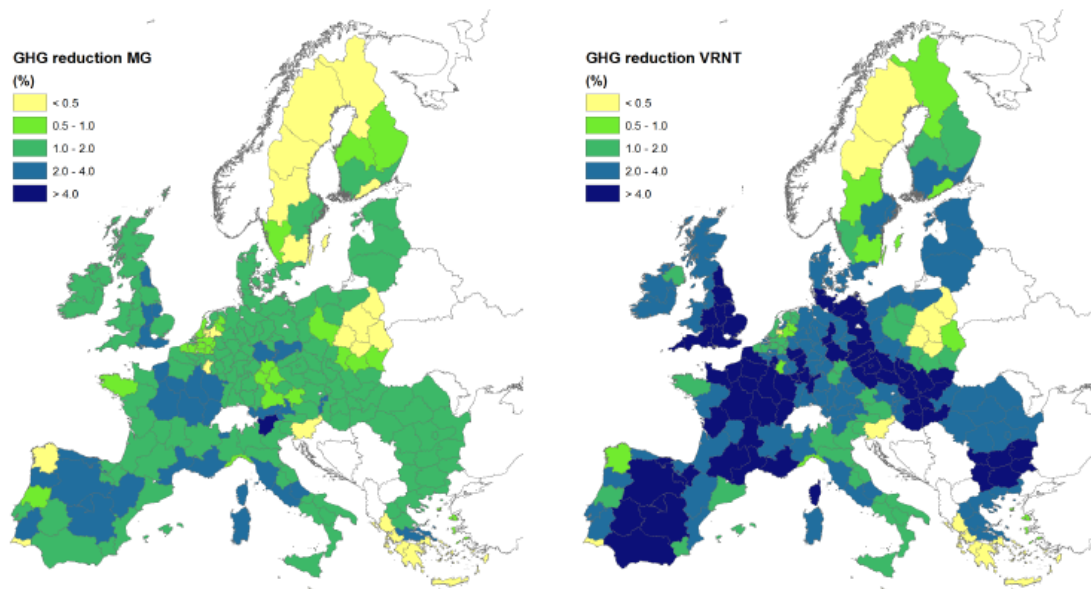
Door Soto et al. (2019) werd in opdracht van de Europese Commissie een uitgebreide studie gedaan naar het mogelijke positieve effect van precisielandbouwtechnieken op broeikasgasemissies. In Figuur 124 wordt een overzicht gegeven van de verwachte besparingen in kton CO₂-equivalenten per jaar in de Europese Unie indien precisielandbouwtechnieken MG (machine guidance) en VRNT (variable rate nutrient technologies) zouden worden toegepast op de bedrijven met >100 ha, met >50 ha of op alle bedrijven. MG staat voor rijhulpsystemen. VRNT staat voor technieken waarbij de bemesting in het veld variabel wordt toegepast volgens de ruimtelijke noodzaak. Er werd onderscheid gemaakt in winst door minder verbruik van meststoffen (en dus minder fossiele brandstof voor productie), directe brandstofbesparing, directe N₂O-emissie tijdens de bedrijfsvoering en verminderde N₂O-emissie door minder denitrificatie uit bv. kunstmest uit de bodem. Op basis van de resultaten van het literatuuronderzoek en de survey werd ook een simulatie gemaakt van de procentuele winst in broeikasgasemissies die kan geboekt worden met beide types technieken (Figuur 125). Het is hierbij



duidelijk dat vooral in de regio's met grote arealen akkerbouw zoals Frankrijk, Duitsland en delen van Oost-Europa de grootste winsten geboekt zouden kunnen worden. In Vlaanderen verwacht men voor zowel machine guidance als variable rate nutrient techniques slechts een verlaging met 0,5 tot 1% van de broeikasgasemissies uit de landbouw. Er is dus wel winst mogelijk voor Vlaanderen, maar deze is vrij beperkt.



Figuur 124 Besparing in broeikasgasemissies door het toepassen van precisielandbouwtechnieken machine guidance (MG) en variable rate nutrient technology (VRNT) (bron: Soto et al., 2019)



Figuur 125 Gesimuleerde procentuele besparing in broeikasgasemissies voor de verschillende regio's van de EU door het toepassen van precisielandbouwtechnieken machine guidance (MG) en variable rate nutrient technology (VRNT) (bron: Soto et al., 2019)

17.3.3 Economische benadering

In de studies van Jin et al. (2019), Schwalbert et al. (2019) en Argento et al. (2020) wordt getracht om een economische berekening te plakken op het toepassen van de precisielandbouwtechniek waarbij variabele bemesting wordt uitgevoerd in respectievelijk de US-Corn-belt (maïs), Brazilië (tarwe) en Zwitserland (tarwe). We geven de cijfers van de studies uit Brazilië en de VS hier niet expliciet mee



omdat ze minder relevant zijn voor Vlaanderen omwille van schaalgrootte en regiogebondenheid. De studie van Argento et al. (2020) is het meest relevant voor Vlaanderen. Zij geven aan dat er met variabele bemesting 31 tot 335 Zwitserse frank (1CHF=0,93€, 2020/10/26) per hectare extra opbrengst geboekt kan worden in vergelijking met de standaard situatie (respectievelijk 1,6 tot 9,3% meeropbrengst). Maar dit is zonder rekening te houden met kosten verbonden aan het opstellen van een taakkaart en de investering in technologie en machines om dit daadwerkelijk te gaan uitvoeren. Men dient er ook rekening mee te houden dat de gemiddelde wintertarwe-opbrengsten in Vlaanderen ruim 1 ton/ha hoger liggen dan de hoogste opbrengsten die in deze studie werden bekomen. Het is niet duidelijk of dit de meerwaarde van variabele bemesting verlaagt, dan wel verhoogt.

Opmerking: Uit de metastudie van Bongiovanni en Lowenberg-Deboer (2004) blijkt dat precisielandbouw ook een meerwaarde kan hebben indien de N-bemesting wordt beperkt tot de helft van de geadviseerde dosis. Met andere woorden, indien de toegediende N-bemesting wordt verlaagd, bv. in een natuurgebied, kunnen precisielandbouwtechnieken nog steeds helpen om de meststoffen op de meest efficiënte manier in te zetten.

Alle bovenstaande studies wijzen er op dat de economische winst die een landbouwer kan maken door het toepassen van deze technieken erg beperkt is en niet opweegt tegen de investeringskost die hij moet maken. Het komt er op neer dat de winst in gewasopbrengst te klein is of de beperking aan inputmiddelen per eenheid opbrengst te onbeduidend is in het totale kostenplaatje. Jin et al. (2019) geeft echter aan dat de economische meerwaarde verhoogt naarmate er meer variabiliteit in de percelen zit vervat en nog belangrijker, dat de economische meerwaarde verdriedubbelt indien de milieuwinst (verlaging van nitraatuitspoeling en N₂O-uitstoot) wordt in rekening gebracht. Uiteraard vertaalt dit zich niet in een meeropbrengst voor de landbouwer. Argento et al. (2020) suggereren dat in landen met percelen met beperkte arealen, de overheid incentives zou kunnen introduceren om deze technieken toch te gaan uitvoeren en eventueel loonwerkers te stimuleren om zulke technologie aan te schaffen. Ook Blackmore et al. (1994) geven aan dat, als precisielandbouwtechnieken gehanteerd worden uit milieuoverwegingen, er moet over nagedacht worden op welke wijze de landbouwer kan tegemoet gekomen worden in de kosten. Binnen de huidige werking van het landbouwbedrijf is de verwachte winstmarge ten opzichte van de extra kost te klein. Uit contact met het ILVO living lab agrofood technology leren we ook dat sommige fabrikanten Europese landbouwbedrijven niet als potentiële groeimarkt zien, waardoor de technologie hier ook gewoon niet wordt aangeboden.

17.3.4 Enkele precisielandbouwtechnieken

In deze paragraaf geven we een niet-limitatief overzicht van enkele technieken van precisielandbouw die reeds nu worden gebruikt of kort tegen praktijk zitten. Let wel, dit wordt bekeken vanuit de technische kant. Of deze technieken financieel als investering haalbaar zijn en of de landbouwer dit kan terugverdienen is bij veel technieken op dit moment niet duidelijk.

17.3.4.1 Optimalisatie van huidige technieken

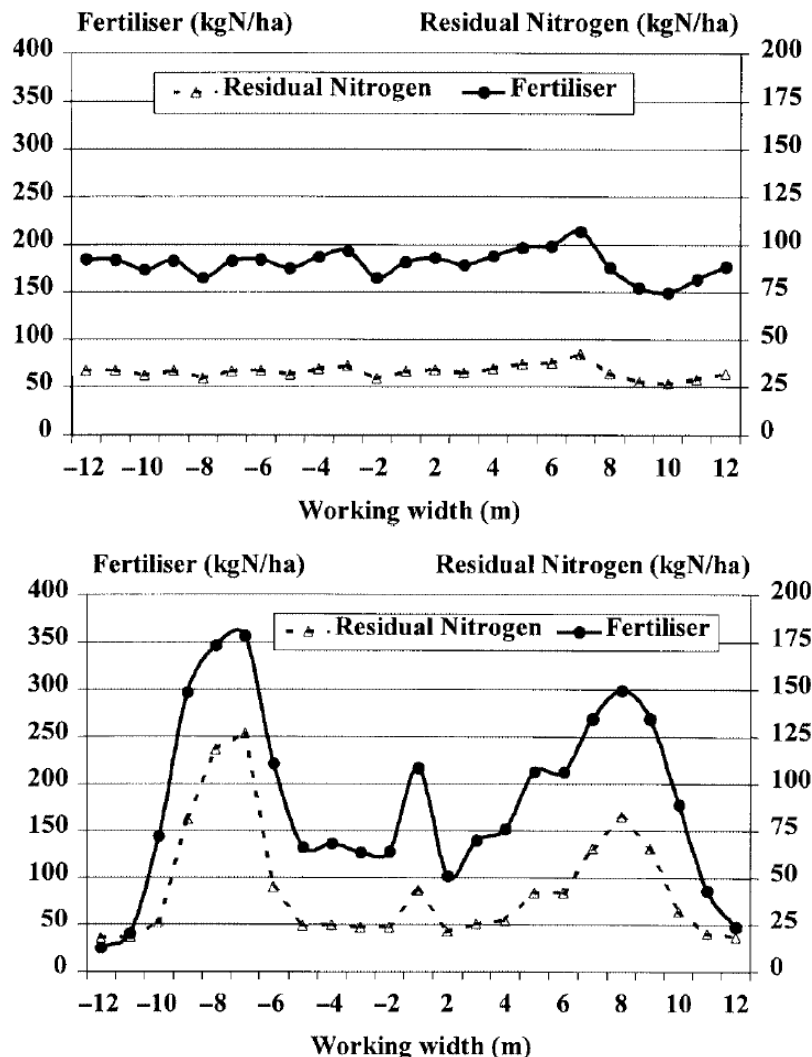
Het is belangrijk erop te wijzen dat, naast het bekijken welke technologische vooruitgang er kan geboekt worden, ook kan bekeken worden wat er kan verbeterd worden aan de huidige gebruikte technologie om preciezer te bemesten en minder lokaal te overbemesten. We geven twee concrete voorbeelden.

Uniformiteit van het strooibeeld

In de studie van Tissot et al. (2002) werd het strooibeeld van meer dan 300 pendel- en centrifugaalstrooiers actief op Belgische landbouwbedrijven (vermoedelijk Waalse) getest. Dit geeft



een idee van hoe heterogeen of homogeen de meststoffen over de werkbreedte van de strooier worden verdeeld. Uit metingen van het nitraatresidu (0-150 cm) in tarweproefpercelen met bemestingstrappen van 0-400 kg N/ha (trappen van 50 kg N/ha) uit kunstmest in de periode 1996-1999 kon het verband worden gehaald tussen de bemesting en het nitraatresidu. Dit verband werd ten slotte gebruikt om simulaties te maken van het nitraatresidu over de werkbreedte van de strooier, volgens het vastgestelde strooibeeld. In Figuur 126 wordt een voorbeeld gegeven van een strooier die goed en een strooier die slecht werd afgesteld. Bij beide strooiers werd 150-200 kg N/ha beoogd als bemestingsdosis. In het geval van de slecht afgestelde strooier zijn er duidelijk plekken aanwezig in het veld waar de dosis zodanig piekt dat grote nitraatresidu's te verwachten zijn. Nochtans gaat de landbouwer uit van een correcte gestrooide hoeveelheid (aantal kilogram op hectareschaal is immers correct) en zijn er zelfs plekken waar er vermoedelijk te weinig N werd gestrooid.



Figuur 126 Gemeten strooibeeld en gesimuleerd nitraatresidu volgens de werkbreedte van een goed (boven) en slecht (onder) afgestelde strooier (bron: Tissot et al., 2002)

Tissot et al. (2002) becijferden dat een variatiecoëfficiënt van 20% als grens kan bekeken worden tussen een goed en een slecht strooibeeld. Het probleem is dat, over alle strooiers die ze getest hebben heen, een spreiding van een variatiecoëfficiënt van 10% of 30% gemiddeld slechts 5 tot 10 kg N/ha uitmaakt. Met andere woorden de landbouwer detecteert dit niet. Volgens Tissot et al. (2002) is de gemiddelde variatiecoëfficiënt 25% met de afstellingen van de landbouwer. Nadat de onderzoekers

het strooibeeld hebben bekeken en de strooier beter hebben afgesteld, kan men de variatie met ruim 10% verlagen. De 4 'slechte' situaties die voorkomen zijn; te breed en te smal aangenomen werkbreedte, een centrale piek in de dosis of twee pieken aan de uitersten van de werkbreedte.

Deze studie is vermoedelijk heel representatief voor Vlaanderen en duidt er op dat er toch nog wel winsten te halen zijn voor zowel landbouwer als milieu door de strooiers beter af te stellen. Dit pleit ervoor om actief landbouwers te helpen bij het vaststellen van het huidige strooibeeld en hen te begeleiden bij de verbetering van de afstelling. Een heel mooi voorbeeld hiervan zijn de instructiefilmpjes die onlangs werden gemaakt door PCLT, ILVO, Inagro om landbouwers basisinfo te geven over afstellen van de strooier (<https://www.youtube.com/watch?v=QyGFhiUlnA&t=92s>), kantstrooien (<https://www.youtube.com/watch?v=kCTT1nHv0UQ>) en kwaliteit van de kunstmest (<https://www.youtube.com/watch?v=mODeSqbpDz4>). Indien de landbouwer een correcter beeld krijgt van de werkelijke strooi breedte zal hij ook correcter het rijpad kunnen vastleggen in een perceel, zeker indien dit wordt gecombineerd met RTK-GPS, wat de jongste jaren toch meer geïmplementeerd wordt op vooral de grotere landbouwbedrijven. Men moet zich er wel van bewust zijn dat, zelfs bij een correcte afstelling van centrifugaal- en pendelstrooiers, er nog steeds veel variatie kan zijn in het strooi beeld door trillingen van de machine, verschil in korrelgrootte en dichtheid van de meststof en reliëf in het veld. Landbouwers kiezen voor dit type strooiers omdat ze eenvoudig en relatief goedkoop zijn. Een alternatief is de pneumatische strooier die gebruik maakt van een boom net zoals een spuittoestel. Dit type strooier werkt veel correcter en kan bovendien in secties worden afgesloten. Dit betekent dat het strooien, gekoppeld aan de GPS-locatie, veel minder overlap kent in percelen met ingewikkelde grenzen dan een centrifugaal- of pendelstrooier. Wanneer men ook wenst over te gaan tot variabel strooien (zie verder), biedt de sectieafsluiting meer mogelijkheden om te variëren in ruimtelijke dosering. De (moderne) pneumatische strooier is echter vele malen duurder in aankoop en weinig haalbaar voor de individuele landbouwer. Momenteel heeft volgens een enquête bij >500 landbouwers (Tits et al., 2019) slechts 0,1% van de landbouwers een pneumatische strooier. Mogelijkheden zijn er misschien wel om het pneumatisch strooien over te laten aan loonwerkers.

Kantbemesting

Momenteel moet langs waterlopen 5 m bufferzone onbemest gelaten worden. Deze bemestingsvrije strook is 10 m in het Vlaams Ecologisch Netwerk en/of wanneer het perceel sterk helt richting de waterloop. Deze bufferzone omvat tevens 1 m die niet mag bewerkt worden. In totaal was er in 2016 24 601 km grenslengte tussen landbouwpercelen en waterlopen (waarvan 63% geklasseerde waterlopen) (Tits et al., 2019). Het doel van deze stroken is het voorkomen dat mest en meststoffen tijdens de toepassing rechtstreeks in de waterlopen terechtkomen. De nutriëntenvrachten door het niet bemesten van de bemestingsvrije strook zijn eerder beperkt in vergelijking met de totale nutriëntenverliezen naar de waterloop toe (Tabel 68), maar het niet bemesten voorkomt piekbelastingen in de waterloop.

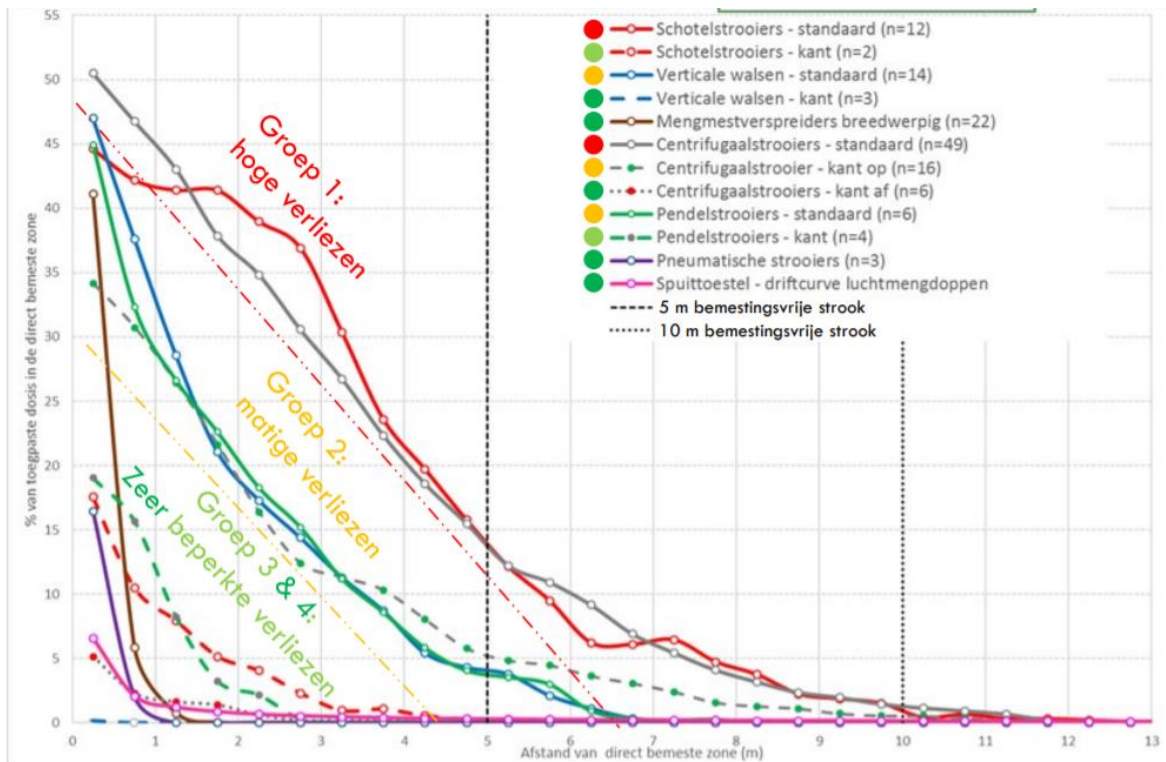


Tabel 68 Nutriëntenvrachten die in waterlopen terechtkomen via run-off, drainage en grondwater berekend volgens het NEMO model en via het meemesten met en zonder BVS (bemestingsvrije strook) (bron: Tits et al., 2019)

		N ton/jaar	P ton/jaar	N % van totaal	P % van totaal
Run-off	(NEMO)	597	163	2,5	20,9
Drainage	(NEMO)	12 608	244	53,5	31,3
Grondwater	(NEMO)	9 444	202	40,1	25,9
Meemesten	zonder BVS	124	8	0,5	1,0
	met BVS	52	3	0,2	0,4

In de studie van Tits et al. (2019) werden de 16 meest courante technieken om organische mest en kunstmest te strooien bekeken op gebied van rechtstreekse verliezen naar de waterlopen toe (Figuur 127). Hierbij blijkt zoals verwacht dat de stalmestspreider van het type schotelstrooier en de klassieke centrifugaalstrooier, maar ook in mindere mate de stalmestspreider met verticale walsen en de pendelstrooier, risico bieden op het direct mee bemesten van de waterloop, zelfs bij een bemestingsvrije strook van 5m. Wanneer echter kantstrooisystemen worden gebruikt voor pendelstrooiers en stalmestspreiders van het type schotelstrooier en verticale walsen of 'kant af' wordt gestrooid met centrifugaalstrooiers, worden de directe verliezen in de waterloop herleid tot een niet-significant minimum. De spreidingspatronen in het veld geven echter wel aan dat zowel zones met onder- als met overdosering kunnen optreden, afhankelijk van de gebruikte techniek. Met technieken zoals pneumatisch strooien, spuittoestel voor vloeibare kunstmest en sleepslangen of injector voor drijfmest, kan zelfs tot op de grens worden gewerkt van de bemestingsvrije zone, zonder kans op meebemesten. Deze bevindingen pleiten er dus voor om landbouwers aan te moedigen deze kantstrooisystemen werkelijk te implementeren of te opteren voor technieken die precies afgelijnd kunnen bemesten.





Figuur 127 Percentage van de direct toegediende dosis in de direct bemeste zone in functie van de afstand tot de direct bemeste zone. De verschillende curves geven verschillende bemestingstechnieken aan. Er kunnen 4 groepen volgens verlies onderscheiden worden. De stippellijnen geven de grens aan tussen de bemestingsvrije strook en de waterloop. Curves >0 rechts voorbij de stippellijn geven aan dat er rechtstreeks mest of meststoffen in de waterloop kunnen terecht komen (bron: Tits et al., 2019)

17.3.4.2 Variabele bekalking

Zoals aangehaald in het hoofdstuk over bodemkwaliteit is de bodemzuurtegraad één van de belangrijkste bodemparameters. Een pH buiten de streefzone zorgt voor een suboptimale gewasgroei en een suboptimale beschikbaarheid van nutriënten. Wanneer één bodemstaal wordt genomen van een heterogeen perceel loopt men het risico dat, met een uitgemiddelde bekalkingsdosis, lokaal te veel of te weinig bekalkt wordt. Beide situaties zijn uiteraard te vermijden. Door het uitvoeren van een bodemscan waarbij de variatie in pH (maar ook EC en organische-koolstofgehalte) wordt gemeten, kan men de variatie in het veld capteren. De scanner wordt door een tractor getrokken en wordt gekalibreerd op basis van de analyse van een aantal klassieke bodemstalen (Verisscan). Op basis van de resultaten wordt een taakkaart opgemaakt, waarbij het perceel in pixels wordt ingedeeld volgens de nood aan kalk. Op basis van deze taakkaart kan de bekalking variabel uitgevoerd worden. Uiteraard dient de kalkstrooier voorzien te zijn van de nodige hard- en software om de taakkaart te kunnen lezen en toe te passen. Hoewel verschillende loonwerkers dit nu reeds kunnen uitvoeren (Anoniem, 2018, Smets en Dillen, 2020) blijft toch de vraag wat de kosten-batenbalans is. Een Verisscan kost bv. 450 euro basisprijs + 85 euro/ha. De loonwerker vraagt per hectare ook een hogere prijs om variabel te bekalken, terwijl uit een opvolging van 4 akkerbouwpercelen na variabele bekalking door Smets en Dillen (2020) bleek dat er geen effecten waren op de gewasopbrengst. Ook nitraatresidu's in de sperperiode werden niet significant beïnvloed. Smets en Dillen besluiten dat een bodemscan vooral moet gezien worden als een investering op langere termijn, maar ze halen ook aan dat de variatie binnen de percelen kleiner was dan verwacht, mogelijk net omdat de percelen relatief klein waren ($\leq 3,5$ ha), maar dit is wel representatief voor Vlaanderen.



17.3.4.3 Variabel organische mest toedienen

In principe kan de werkwijze van de variabele bekalking worden doorgetrokken voor compost en stalmest, al moet de technologie op de gebruikte spreider wel toelaten om de taakkaarten te lezen en toe te passen. Voor compost werd dit ook uitgetest door Smets en Dillen (2020) op 1 praktijkperceel in Haspengouw, waarbij tussen 17 en 44 ton/ha werd gedoseerd, afhankelijk van het gehalte aan organische stof in de bodem. Ook hier stelden Smets en Dillen (2020) geen significant effect vast op een volgteelt. Compost is een relatief fijn en vrij homogeen product dat homogeen kan gespreid worden. Stalmest daarentegen kan erg variabel zijn qua samenstelling naargelang de positie in de mesthoop. Bovendien vertoont stalmest de neiging om in 'pakjes' van verschillende grootte gespreid te worden. De spreiding is dus heel wat heterogener.

Ook drijfmest zou variabel toegediend kunnen worden. Via een analyse van een gemixte drijfmestput en een debietmeter op het vat is men al een stap verder om mest variabel toe te dienen. Men kan zelfs nog een stap verder gaan door de mestsamenstelling 'on-line' te bepalen. Met andere woorden, de dosis wordt al rijdend aangepast naargelang de samenstelling. Een knelpunt kan wel zijn dat mest aan een bepaalde samenstelling en 'vloeibaarheid' zal moeten voldoen om dit te kunnen uitvoeren (pers. Communicatie, Gert van de Ven). In 2020 werd een VLAIO onderzoeksproject 'Precisiemest' gestart, dat zal moeten uitwijzen wat praktisch mogelijk en haalbaar is (VILT, 2019).

De grootste uitdaging en vraagstelling, naast het goed communiceren van de technologie, is het beslissingsmodel van de variabele toediening. De grootste vragen zijn hoeveel men moet variëren in het veld met de bemesting met drijfmest, of men zich daarvoor enkel op de fosfor-, kalium- of organische-stofinhoud baseert of op een combinatie en in welke mate ook het opbrengstpotentieel in dit beslissingsmodel moet worden opgenomen. Deze vragen zijn allerminst beantwoord. Hoewel het onderzoek naar variabele nutriëntentoeiening enkele suggesties geeft hoe dit kan aangepakt worden op onderzoeksniveau, moeten zulke beslissingsmodellen nog naar praktijkniveau worden gebracht. Of nog, de technologie is ver gevorderd genoeg om precies te werken, maar de vraag om juist variabel te gaan doseren blijft nog gedeeltelijk onbeantwoord.

17.3.4.4 Variabel kunstmest strooien

Net als variabele bekalking en organische bemesting zou ook kunstmest variabel kunnen toegepast of bijbemest worden. Maar net als bij de andere technieken zijn er nog heel wat vragen en knelpunten. Vooraleer men de kunstmest variabel kan strooien, moet men eerst een beeld hebben van de variatie van het gewas in het perceel en het eventueel opbrengstpotentieel om de juiste dosis te gaan bepalen. Een eerste stap met satellietbeelden, dronebeelden of andere sensoren is dus nodig. En opnieuw stelt zich de vraag hoe de bemesting moet gevarieerd worden. Er is typisch veel onderzoek in het verleden gebeurd om bemestingsadviezen te baseren op tussentijdse bodemstaalnames. Hoewel veel andere staalname- en beeldanalysemethodes beschikbaar zijn van het gewas, is de totstandkoming van een beslissing niet altijd volledig onderbouwd. Meer informatie en beschrijving hierover is terug te vinden in luik 2 van de literatuurstudie. Er zijn ook onderzoeksprojecten gestart die willen tegemoetkomen aan deze kennishiaat. Zo is er het VLAIO-onderzoeksproject 'WIKILEEKS' waarbij men de bijbemesting van prei bijstuurt op basis van dronebeelden doorheen het seizoen.

Veel strooiers zijn ook niet uitgerust met technologie om taakkaarten te lezen. Bovendien wordt gebruik gemaakt van pendelstrooiers en centrifugaalstrooiers, die niet altijd in staat zullen zijn om variabele bemesting ook daadwerkelijk uit te voeren. Een deel van het strooibeeld wordt immers gebaseerd op een overlap van werkgangen. Figuur 128 geeft hiervan een beeld. Dit probleem stelt zich



uiteraard niet bij pneumatische strooiers die eventueel ook van sectionale afsluiting kunnen voorzien zijn, maar die een veelvoud aan investeringskost vormen.



Figuur 128 Strooibeeld van 2 naast elkaar liggende werkgangen (bron: Coopman et al., 2019)

De eerste horde die zou moeten genomen worden, is zoals aangehaald in paragraaf §4.1.1 een juistere afstelling van de strooiers.

17.3.4.5 Andere precisielandbouwtechnieken

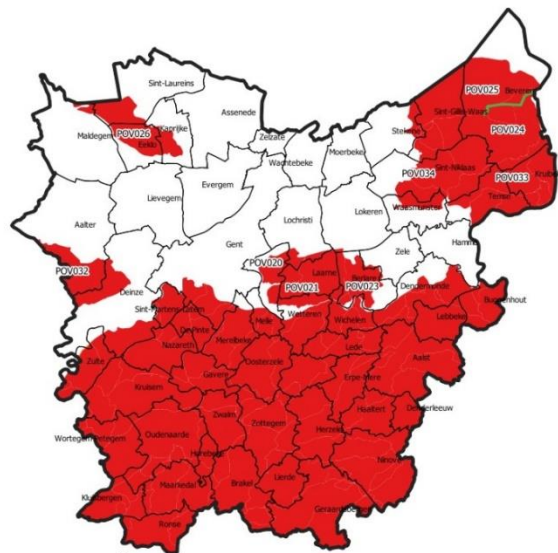
Er zijn nog heel wat andere precisielandbouwtechnieken die niet rechtsreeks gerelateerd zijn aan nutriënten en variabele toediening van nutriënten maar die de landbouwer kunnen assisteren om gewassen efficiënter te laten groeien. We baseren ons hiervoor gedeeltelijk op www.groentenprecies.be en <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl> Op beide sites zijn ook korte omschrijvingen beschikbaar van al deze technieken. In de studie van Soto et al. (2019) wordt ook nog een uitgebreide lijst van precisielandbouwtechnieken meegegeven.

- Variabel (aardappelen) poten: Het aantal poters per hectare wordt gevarieerd om het maximaal potentieel uit een perceel te halen. Er zijn echter nog veel vragen over wat dan de juiste pootdichtheid is. Ook PCA deed hier onderzoek naar en resultaten waren niet altijd eenduidig.
- GPS stuurhulp: Door exacte werkbreedtes toe te passen, wordt minder gereden op het perceel. Dit bespaart brandstof, maar vermindert ook bandensporen en verdichting van de bouwvoor.
- Bodemherbiciden: Op basis van variatie in het organische–stofgehalte in de bodem (bodemscan) wordt de dosering van bodemherbiciden aangepast. Bij lagere gehalten aan organische stof kan de dosering eventueel verlaagd worden.
- Fungiciden en loofdoding: Op basis van een scan van het gewas wordt de dosis van de bespuiting aangepast.
- Inpassing van gewasrijen: Bij rijenteelten op percelen met veel hoeken kan GPS gebruikt worden om de rijen zo aan te leggen dat het aandeel akkerwendes en verloren oppervlakte geminimaliseerd wordt.
- 'Probleem'detectie: Via drone- of satellietbeelden wordt, in plaats van schade door een bepaalde plaag of ziekteorganisme, aangegeven dat er 'iets mis' is. De landbouwer moet ter plaatse controleren wat het probleem is.
- Aangepaste diepe bodembewerking: een tussenstuk tussen de tractor en de machine bepaalt de posities die meer verdicht zijn en past de werking van de machine aan die de verdichting dient op te heffen.
- ...



17.3.5 Irrigatie

In de periode 2017-2020 waren er echter 4 opeenvolgende voorjaren en/of zomers met ernstige droogteperiodes. Plots gingen landbouwers die anders nooit aan irrigatie deden, proberen teelten te redden door noodirrigatie. Vele landbouwers bezaten niet het nodige materiaal en hadden onvoldoende waterreserves, waardoor ze aangewezen waren op het pompen van water uit beken en rivieren en het transporteren van watertanks naar de percelen om vervolgens ook het water uit deze tanks uit te rijden. Ofwel werd gewerkt met een continue aanvoer van watertanks naar de percelen waarna het water werd overgepompt naar een vat om het water te spreiden of in sommige gevallen een beregeningskanon. Deze manier van werken is erg duur en tijdrovend en het is twijfelachtig of het zoden aan de dijk brengt. Het PCA becijferde in 2018 dat een beregening op deze wijze al snel 2500 tot 5000 euro per hectare kost, terwijl de baten weinig voorspelbaar zijn (Reindsen, 2018). Vooral de transportkosten wegen door (Tavernier, 2019). Zowel het aantal kilometers als de uitvoerder (landbouwer of loonwerker) hebben een sterke weerslag op het kostenplaatje. Bovendien was de waterstand in veel beken en rivieren op sommige momenten zodanig laag dat het transport op de waterwegen en het waterleven in het gedrang kwamen. Hierdoor werden heel wat captatieverboden uitgevaardigd die ook regelmatig wijzigden naargelang de situatie. In Figuur 129 wordt een kaartje gegeven met de regio's met captatieverbod voor de provincie Oost-Vlaanderen op 24 september 2020. Er wordt momenteel gewerkt aan een lijst met locaties waar landbouwers in noodsituaties kunnen water ophalen. Dit kan bv. proceswater zijn of een effluent. De waterkwaliteit en de afstand tot het perceel zijn echter bijzonder bepalend of de landbouwer hier mee aan de slag kan of niet. De situatie in de oostelijke helft van Vlaanderen is enigszins anders. Een aanzienlijk aantal percelen wordt er beregend met grondwater. Dit is een veel duurzamere manier van werken, aangezien de grondwatertafel wordt aangevuld met infiltrerend water. Al dient er wel op gewezen te worden dat in de voorbije droge jaren, ook de grondwaterstand regelmatig laag tot erg laag was.

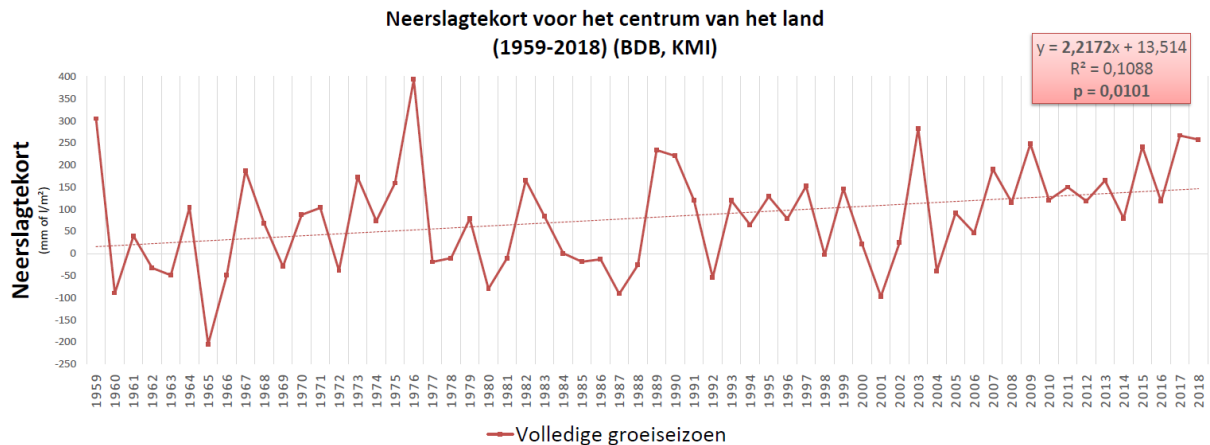


Figuur 129 Regio's met captatieverbod in onbevaarbare waterlopen (rood) voor de provincie Oost-Vlaanderen, volgens het politiebepsluit van 24 september 2020, opgesteld door de gouverneur (Bron: Van Cauter, 2020)

De klimaatmodellen wijzen in de richting van het frequenter voorkomen en langer aanhouden van droogteperiodes. De verwachting is dat situaties zoals in 2017-2020 meer zullen voorkomen. Volgens een nieuw rapport van het KMI kunnen we ons verwachten aan 3 keer zoveel hittegolven die dubbel zo intens zijn tegen 2100 (Torfs, 2020). Bovendien neemt het neerslagtekort stelselmatig toe (Figuur 130). De beschikbaarheid van water op percelen zal daarbij in belang toenemen. Situaties waarbij

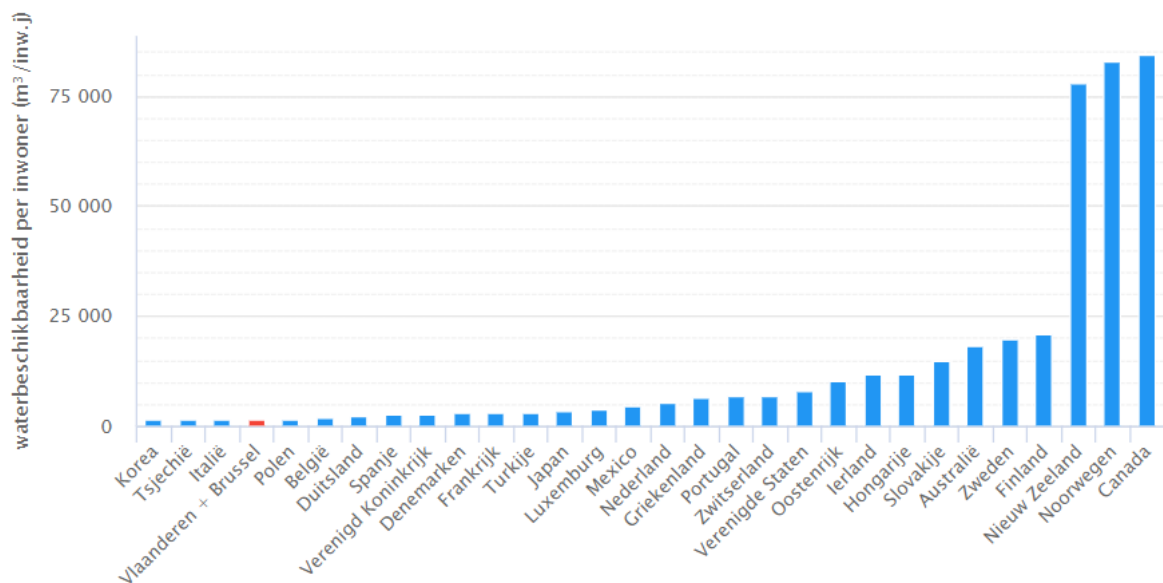


water over de weg moet getransporteerd worden, zullen onhoudbaar zijn en verdwijnen. Percelen zullen in de toekomst moeten aangesloten zijn op een irrigatienetwerk, bv. een bufferbekken, of voorzien zijn van grondwaterputten. Wegens de lage beschikbaarheid van water per persoon in Vlaanderen (Figuur 131) dient met het weinige water omzichtig en efficiënt omgesprongen te worden. Voor de landbouwer is de vraag naar water natuurlijk tijd en teeltafhankelijk, maar Figuur 131 geeft wel een beeld over de schaarsheid van water in Vlaanderen. Indien irrigatie door de klimaatverandering toeneemt, zal het erg belangrijk zijn om het water op het juiste moment en op de juiste plaats in te zetten.



Figuur 130 Neerslagtekort tijdens het groeiseizoen in het centrum van het land, berekend als het verschil tussen de evapotranspiratie en de neerslag 1959-2018 naar gegevens van het KMI en de Bodemkundige Dienst van België (Bron: Vaerten, 2019)

Waterbeschikbaarheid OESO-landen



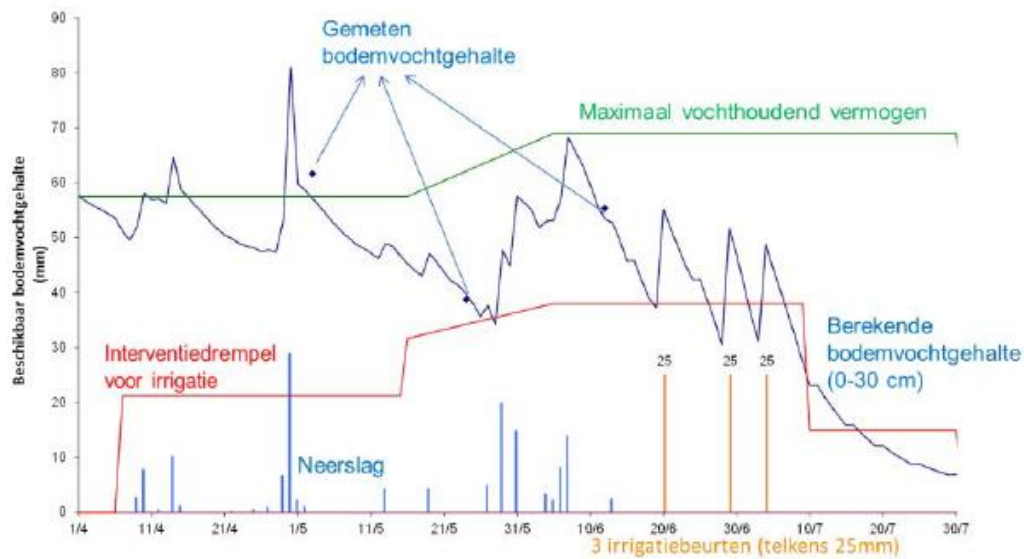
IJsland staat niet op de figuur wegens een extreem hoge waterbeschikbaarheid (564 784 m³/inw.j)

Figuur 131 Beschikbaarheid van water per inwoner van de OESO-landen in 2010 (bron: www.milieuraapport.be)

De Bodemkundige Dienst van België vzw levert sinds 1980 irrigatieadvies voor akkerbouw, openluchtgroenten en fruit. Hierbij wordt een interventiedrempel voor irrigatie gehanteerd die afhankelijk is van het gewas, het groeistadium en de bodem. Op basis van voorspelde regen en het



bodemvochtgehalte ten opzichte van de interventiedrempel wordt een irrigatieadvies opgesteld en wordt geduid aan welke teelten voorrang moet gegeven worden. In Figuur 132 wordt een voorbeeld gegeven voor een perceel aardappelen in 2018.

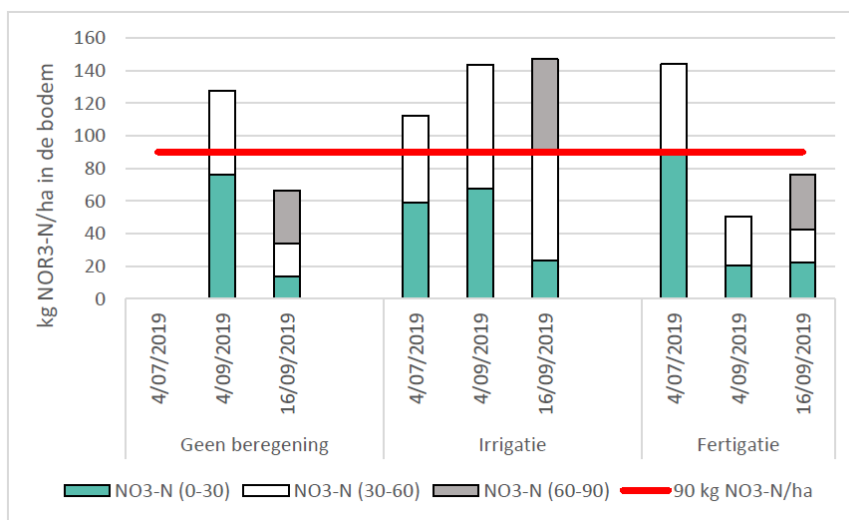
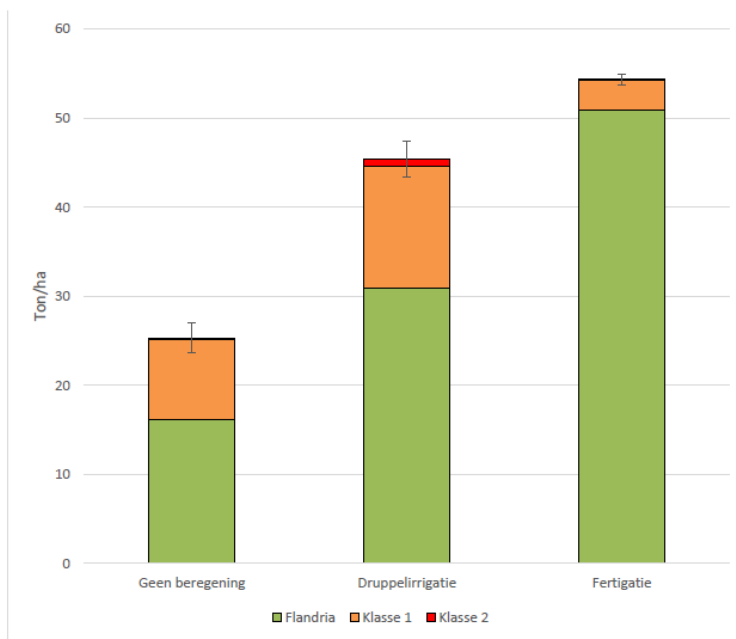


Figuur 132 Voorbeeld van het bodemvochtverloop, neerslag, interventiedrempel voor irrigatie en irrigatiebeurten voor een perceel aardappelen in 2018. (bron: PCG/PCA, 2018 naar Bodemkundige Dienst van België)

Men kan zich afvragen of in de situatie van Vlaanderen, waarin water zo weinig beschikbaar is, irrigatie wel zinvol is. Toch kan dit het geval zijn. Voor de opname van nutriënten uit de bodem is voldoende bodemvocht nodig. Indien een droogteperiode samenvalt met de periode van nutriëntenopname en gewasgroei zullen niet alleen opbrengsten lager uitvallen, maar zullen er ook meer nutriënten in de bodem achterblijven die later kunnen uitspoelen. PCG en PCA deden i.s.m. de Bodemkundige Dienst van België in 2019 een beperkte proef op ajuin en prei (Figuur 133). Bij alle 2 de teelten werden hogere opbrengsten gehaald door irrigatie. Bij prei was er ook een groter aandeel Flandriakwaliteit en bij ajuin was de maatsortering beter. Het effect naar het nitraatresidu bij proefoogst half september was veel minder duidelijk. Bij prei leidde de irrigatie tot meer nitraatresidu en bij ajuin tot een verlaging van het nitraatresidu (Figuur 133)). In de studie werd hiervoor geen verklaring gegeven.

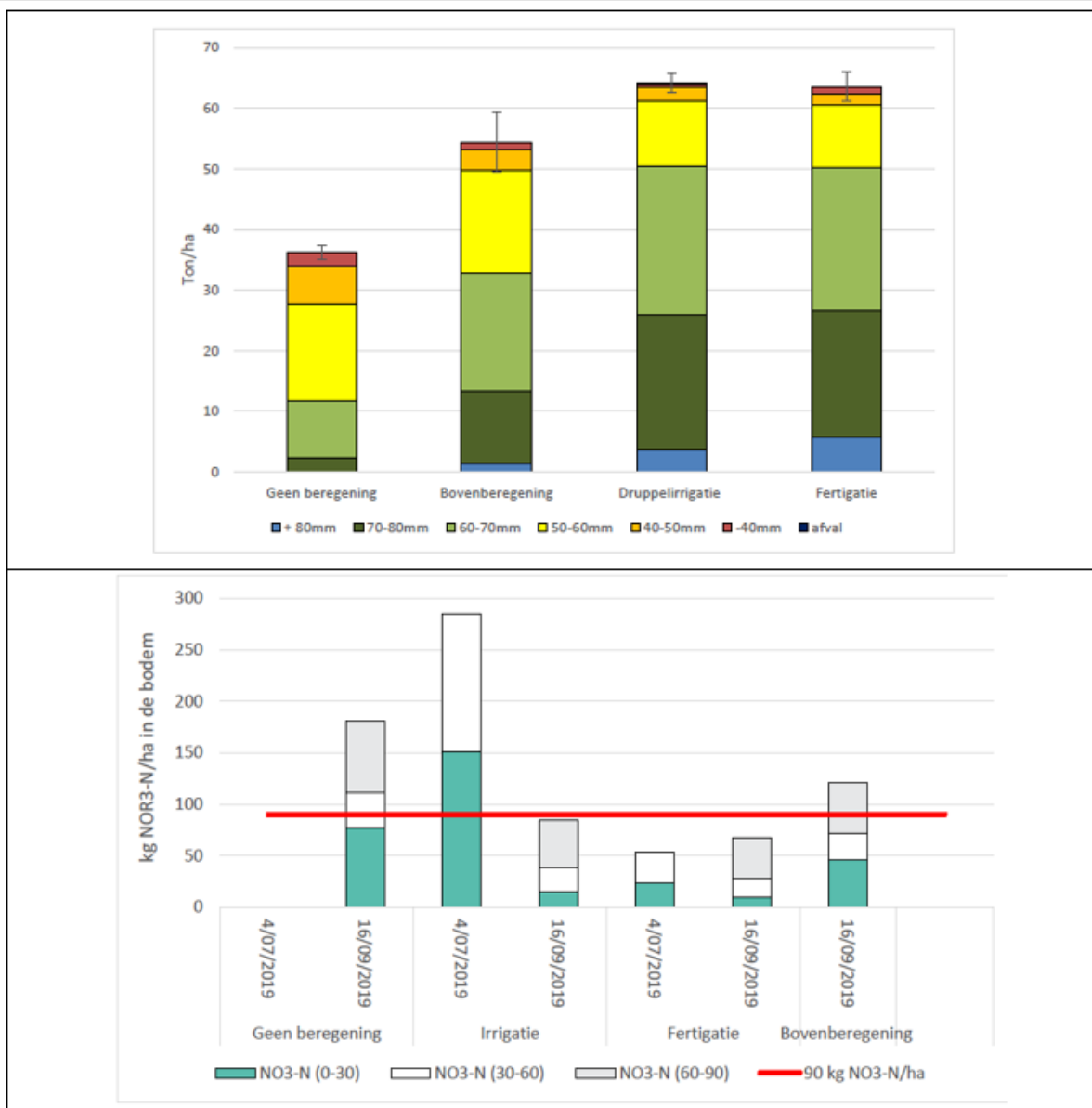


Prei



Ajuin





Figuur 133 Opbrengst, kwaliteit en nitraatgehalte in het bodemprofiel voor de teelten van prei en ajuin met en zonder irrigatie en fertigatie op de terreinen van de werktuigendagen te Oudenaarde. De proefoogst vond plaats op 16 september (bron: PCG/PCA, 2019)

Voor aardappel werd tijdens het POTENTIAL project (Janssens et al., 2020) vastgesteld dat irrigatie een duidelijk effect had op de opbrengst en op de N-export uit het veld door de aardappelknollen (Tabel 69). In twee van de drie proefvelden was ook de impact op het nitraatresidu bij de oogst significant, en was het verschil groot tot meer dan 100 kg N/ha in Bree in 2018. In 2019 was er een duidelijke impact op de gewasopbrengst, op de N-export maar niet op het nitraatresidu. Dit kan mogelijk worden verklaard door het feit dat droogte ook een impact heeft op de vrijstelling van N door mineralisatie van organische stof.

Tabel 69 Overzicht van de Opbrengst, de N opname en het N-residu bij de oogst op drie aardappel proefvelden in drie verschillende jaren data verzameld in het kader van het POTENTIAL project (Janssens et al., 2020)

Proefveld* (Variëteit)	Kasterlee 2017 (Zorba)		Bree 2018 (Fontane)		Kasterlee 2019 (Felsina)		Significantie Irrigatie over alle velden p waarde ANOVA test
	Nat	Droog	Nat	Droog	Nat	Droog	
Irrigatievolume (mm)	102	35	210	0	148	0	
Opbrengst (ton/ha)	56	49	60	22	63	42	<0.001
Nitraatresidu bij oogst (0-60 cm) (kg/ha)	44	75	64	180	63	42	0.4
N-export door knollen (kg/ha)	181	177	202	95	219	148	<0.001

*Bemesting volgens N-index principe van BDB

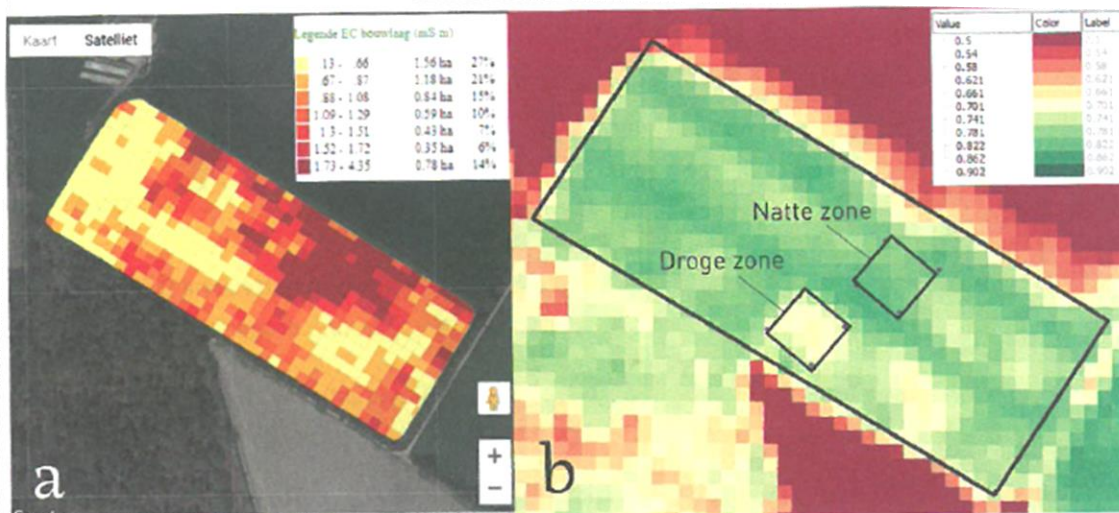
De vraag stelt zich of door de irrigatie ook niet het risico op doorspoelen van nutriënten tijdens de teelt toeneemt. Dit blijkt eerder ongegrond. Op een aardappelproef te Ravels waar 6 irrigatiebeurten plaatsvonden (telkens 28,5 tot 35 l/m²) in 2018, becijferde de Bodemkundige Dienst van België op basis van de vochtbalans dat er slechts 4 l/m² meer uitspoeling was. Dit komt overeen met slechts 2% van de irrigatiegift (Vaerten, 2019). Irrigatie heeft op zich ook geen grote impact op de CO₂-voetafdruk van de teelt als er geen transport is over weg. Tabel 70 geeft voor verschillende aardappelteelten in Nederland een berekening van de CO₂-'kost' van de verschillende acties tijdens de teelt. Irrigatie (oppompen, horizontaal transport en sproeien/druppelen) maakt nauwelijks 2% uit van de totale CO₂-uitstoot bij het telen van aardappelen (Haverkort en Hillier, 2011).



Tabel 70 Totale en relatieve (%) kost aan CO₂-emissie per ton productie van tafel-, bio-, poot- en zetmeelaardappelen (bron: Haverkort en Hillier, 2011)

Factor	Table		Organic		Seed		Starch	
	kg	Percent	kg	Percent	kg	Percent	kg	Percent
Seed	3.9	5.1	6.5	7.9	14.8	12.8	3.4	4.9
Fertilizer	24.6	32.0	0	0	39.6	34.2	12.2	17.2
Emission	25.1	32.6	26.3	31.7	18.2	15.7	31.8	24.9
Biocides	5.1	6.7	0	0	16.2	14.0	9.8	13.9
Operations	7.1	9.2	25.8	31.3	10.8	9.4	11.1	15.6
Irrigation	1.1	1.4	2.0	2.4	0	0	0.4	0.6
Storage	10.1	13.1	22.3	26.9	16.2	14.0	2.2	3.0
Sprout inhibition	0.2	0.3	0	0	0	0	0	0
Total	77.1	100	82.4	100	115.8	100	70.8	100
Nitrification inhibitor	73.4	-4.8			110.8	-4.3	66.5	-6.1
Best available fertilizer technology	65.8	-14.7			102.6	-11.4	64.8	-8.5
Transport manure or slurry	79.3	+2.8	102.2	+24.0	117.6	+1.5	87.0	+22.9
kg CO ₂ per t dry matter	405.1		457.8		609.5		229.1	

Waar en hoeveel moet geïrrigeerd worden, kan bepaald worden door bodemvochtsensoren, eventueel gecombineerd met een bodemstaal. Precisie-landbouwtechnieken kunnen echter gehanteerd worden om de variatie in het veld in kaart te brengen. Zowel een bodemscan, een bodemkaart als satelliet- en/of dronebeelden van het gewas kunnen gehanteerd worden om de variatie te capteren en de irrigatie te variëren in functie van de vraag door het gewas in het perceel en zo water te sparen. Precisie-irrigatie wordt bv. al gehanteerd in landbouwsystemen zoals in Nieuw-Zeeland waar irrigatie heel courant is en water voldoende beschikbaar. Al is de insteek daar enigszins anders. De geïrrigeerde percelen zijn veel groter dan in Vlaanderen en precisietechnieken dienen vooral om veel grotere ruimtelijke verschillen op te vangen en over-irrigatie (met onderwater komen van dit deel van het veld) te voorkomen (Bradburry, 2013). In Vlaanderen zal vooral moeten gewerkt worden aan precisietechnieken die irrigatie zo efficiënt mogelijk inzetten met de juiste dosis op het juiste moment in de groeifase. Ook in Vlaanderen werd reeds geëxperimenteerd met variabele irrigatie. In Oudsbergen (zandgrond) werd in 2020 een proef aangelegd met variabele irrigatie door de Bodemkundige Dienst van België en het PVL Bocholt (Vaerten et al., 2020). Op basis van bodemscans (EC, pH en TOC), ervaring van de landbouwer en 'groenheid' gemeten als NDVI via satellietbeelden, kon in het proefperceel onderscheid gemaakt worden tussen droge en natte zones (Figuur 134). De natte zones hadden een hogere kleifraction en daardoor minder nood aan irrigatie. Tijdens de periode bloeikorrelvorming werd 4x berekend, in totaal 140 mm in de droge zone. In de natte zone kon 30% water bespaard worden zonder enig significant effect op de opbrengst. In de natte zone werd 20,0 ton droge stof/ha geoogst en in de droge zone 19,8 ton droge stof/ha. Dit geeft aan dat er veel potentieel is om water te besparen via variabele irrigatie. De hardware- en software-aanpassingen aan de irrigatiesystemen zijn echter kostelijk, met een geschatte prijs van 4500 tot 7000 euro (Vaerten et al., 2020). Deze kan als investering wel gespreid worden over meerdere percelen en jaren, maar blijft toch een belangrijke meerkost die misschien niet altijd wordt genomen indien we ervan uitgaan dat net wordt geïrrigeerd op die percelen waar water voldoende beschikbaar is.



Figuur 134 Bodemscan (EC) (links) en satelietbeeld (NDVI) (rechts) van het proefperceel kuilmaïs met variabele irrigatie in Oudsbergen (bron: Vaerten et al., 2020)

Naast de indicatoren die variatie in het veld weergeven, zullen ook droogte-indicatoren die de droogtegevoeligheid van percelen weergeven belangrijker worden. Deze zullen immers mede bepalen welke teelten in de toekomst nog op een perceel kunnen verbouwd worden in functie van de negatieve impact bij droogte en in functie van de beschikbaarheid van water voor irrigatie op of in de directe buurt van het perceel, bv. door de aanwezigheid van een irrigatienetwerk, een grondwaterput of diepdrainage. Dit kan een belangrijke weerslag hebben op de financiële waarde van een perceel, maar ook op de weersverzekering die landbouwers eventueel afsluiten.

17.3.6 Conclusies

Precisielandbouwtechnieken moeten er toe bijdragen dat de productiviteit verhoogt en de broeikasgasuitstoot verlaagt (Soto et al., 2019). Bij precisielandbouw draait het er eigenlijk om dat er efficiënter wordt gewerkt. Wanneer men efficiënter werkt kan men enerzijds de klimaat en milieu-impact van de landbouwactiviteiten verminderen, anderzijds kan men meer inspelen op variatie in ruimte en tijd om lokale overmaat aan nutriënten te vermijden. Deze variatie in ruimte en tijd moet in samenspel met werken aan bodemkwaliteit en doordachte irrigatie uitgevoerd worden.



1. Bijdrage tot vermindering van nutriëntenverliezen

<u>Technieken:</u>	<u>Toelichting:</u>
Machine Guidance	Door een efficiëntere inzet van de machines zijn minder nutriënten nodig of worden ze efficiënter gebruikt. Dit is onafhankelijk van een klimaatwijziging.
Variable rate nutrient technology	Door bemesting beter af te stemmen op de veldvariatie (en variatie in de tijd) is er minder kans op overbemesting en dus minder nutriëntenverlies. Bij een gewijzigd klimaat zal rekening houden met de ruimtelijke en tijdsvariatie nog belangrijker worden.
(Variabele) irrigatie	Door de klimaatverandering zullen meer weerextremen voorkomen, waaronder droogte periodes, zodat opbrengstdervingen kunnen plaatsvinden en nutriëntenverliezen verhogen. Variabele irrigatie op cruciale momenten kan dit voorkomen. Variabele irrigatie in de ruimte (binnen percelen) kan water sparen. Variabele irrigatie in de ruimte tussen percelen (welke percelen irrigeren?) zal noodzakelijk worden omdat water slechts beperkt beschikbaar is in veel regio's in Vlaanderen.
Andere precisielandbouwtechnieken	Door een efficiëntere inzet van de inputs zijn minder nutriënten nodig of worden ze efficiënter gebruikt. Bij de meeste technieken is dit onafhankelijk van een klimaatwijziging.

2. Bijdrage tot klimaatmitigatie

<u>Technieken:</u>	<u>Toelichting:</u>
Machine Guidance	Door een efficiënter gebruik van inputs wordt bespaard op energie en dus broeikasgassen.
Variable rate nutrient technology	Door een efficiënter gebruik van meststoffen wordt bespaard op energie bij de productie ervan en dus op broeikasgassen, ook na toepassing (vooral N ₂ O).
(Variabele) irrigatie	Variabele irrigatie kan helpen met het overbruggen van droogteperiodes. Het is een vorm van klimaatadaptatie, maar niet van klimaatmitigatie.
Andere precisielandbouwtechnieken	Door een efficiënter gebruik van inputs wordt bespaard op energie en dus broeikasgassen.



3. Technology Readiness Level-score

<u>Technieken:</u>	<u>Toelichting:</u>
Machine Guidance	TRL 9 – Productie en product volledig operationeel
Variable rate nutrient technology	TRL 7 – systeem gedemonstreerd in betrokken bedrijfsomgeving
(Variabele) irrigatie	TRL 7 – systeem gedemonstreerd in betrokken bedrijfsomgeving
Andere precisielandbouwtechnieken	Per techniek verschillend

4. Knelpunten?

De grootste knelpunten voor alle technieken zijn enerzijds de kosten-batenbalans en anderzijds de communicatie tussen technologie en machines. Veel technieken leveren een winst op die te laag is in vergelijking met de extra variabele of investeringskost die de landbouwer moet maken. Sommige studies wijzen echter uit dat er wel grotere milieuwinsten kunnen gemaakt worden, maar deze kunnen niet opgenomen worden in de kosten-batenbalans van de landbouwer omdat ze enkel winst opleveren aan de maatschappij, maar niet aan de individuele landbouwer. Veel technologie –zowel software als hardware- geeft problemen met connecties met andere machines en technologie omdat ze niet compatibel zijn. Ook de versnippering in kleine percelen kan een rem zijn op de uitrol van precisietechnieken.

5. Kennishiaten en onderzoeksopportunities?

De technologie om variatie in perceel en gewas zowel in ruimte als tijd te detecteren is massaal in ontwikkeling. De modellen die deze informatie moeten vertalen in een advies of beslissing voor de landbouwer staan echter nog helemaal niet op punt. Ze houden bv. niet met alle bepalende factoren rekening. Dit kwam ook sterk naar voor in luik 2 van deze literatuurstudie. Zolang deze modellen niet op punt staan voor een bepaalde precisielandbouwtechniek, is de uitrol van de techniek in de praktijk niet mogelijk.



17.4 Innovatie 4 – Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)

Uit de workshop kwam naar voor dat in de rundveehouderij, los van het veranderende klimaat, nog grote stappen kunnen gemaakt worden in de beperking van N-verliezen. Dit geldt zowel voor de vleesvee- als de melkveesector, ook al is de bedrijfsvoering en rantsoenberekening verschillend voor beide sectoren. Deze stappen omvatten zowel bewezen innovaties, innovaties in onderzoek, als bestaande en gekende methoden die meer ingang zouden kunnen vinden. Hieronder worden de innovaties verder besproken. Om hun werkingsmechanismen te begrijpen is kennis van de N-cyclus (en dus eiwitwaardering) bij runderen noodzakelijk

Hoewel de innovaties op zichzelf niet klimaat-gerelateerd zijn, zal het veranderende klimaat wel invloed hebben op de bedrijfsvoering en daarmee ook op de impact van de innovatie. Bij toenemende hittegolven mogen we bv. verwachten dat het dierenwelzijn op de weide meer in het gedrang komt en dat er minder weidegang en meer opstalling van dieren zal gebeuren. Meer droogtes en intensievere buien kunnen een verschuiving in voedergewassen stimuleren. Hogere temperaturen zullen ook rechtsreeks een invloed hebben op de gasvormige N-verliezen. Er dient ook opgemerkt te worden dat de innovaties op vlak van rantsoenen vooral de efficiëntie van de dierprestaties en de N-gebruiksefficiëntie verhogen. Ondanks de enorme genetische vooruitgang van de laatste 3-4 decennia – een melkkoe uit 1980 is nog nauwelijks vergelijkbaar met een melkkoe uit 2020 – en het feit dat er nog steeds genetische vooruitgang is, blijven de innovaties begrensd door de mogelijkheden van levende dieren.

In onderstaande tekst geven we eerst aan hoe N-verliezen uit de rundveehouderij ontstaan en hoe ze gerelateerd zijn aan de eiwitvertering van herkauwers. Vervolgens geven we een beknopt overzicht van de strategie die kan gevolgd worden om de N-verliezen aan te pakken. Ten slotte gaan we dieper in op de rantsoenen als één van de mogelijke strategieën om de N-verliezen te beperken. We bekijken ook de mogelijke impact van klimaatverandering op de rantsoenen.

17.4.1 N-verliezen en eiwit in de rundveehouderij

17.4.1.1 Ontstaan van N-verliezen uit de rundveehouderij

Ammoniak (NH_3) uit rundveestallen ontstaat hoofdzakelijk door de afbraak van ureum afkomstig van de urine. Dit proces wordt versneld door het enzym urease dat in de vaste mest (faeces) aanwezig is (van den Bogaert en Boussery, 2020). In waterige omgeving is NH_3 in evenwicht met ammonium (NH_4^+). Dit evenwicht wordt bepaald door temperatuur en pH. Hoe hoger de temperatuur, hoe sterker het evenwicht naar de opgeloste NH_3 -vorm gaat. Het effect van pH op dit evenwicht is sterk uitgesproken. Bij $\text{pH} < 7$ is bijna alle ammoniakale stikstof aanwezig onder de vorm van NH_4^+ . Wanneer de pH boven de 7 stijgt, is er een snelle toename van de niet-geïoniseerde vorm NH_3 (Brusselman et al., 2016). De pH van de mest is afhankelijk van de diersoort en het rantsoen, maar we kunnen aannemen dat runderdrijfmest een alkalische pH heeft ($\text{pH} > 7$) en dat het vormen van NH_3 dus gestimuleerd wordt. In rundveestallen is het aandeel van de NH_3 -emissie afkomstig van de stalvloer groter (ca. 60%) dan het aandeel van de NH_3 -emissie uit de mestkelder (ca. 40%) (van den Bogaert en Boussery, 2020).

17.4.1.2 De eiwitvertering bij rundvee

De N-uitscheiding via mest en urine is gerelateerd aan de eiwitopname, -kwaliteit en -vertering door de runderen. Ook de verdeling van de N over de urine en mest wordt beïnvloed door het voer en de vertering. Hieronder trachten we een beknopt overzicht te geven van de eiwitvertering bij runderen. Meer details kunnen gevonden worden in de brochures 'Melkveevoeding' (<https://www.vlaanderen.be/publicaties/melkveevoeding>) en 'Voeding van runderen van het Belgische witblauwe ras' (<https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline->

files/Voeding_runderen_witblauw-ras.pdf). Onderstaande paragraaf werd grotendeels gebaseerd op De Brabander et al. (2012).

Bij teeltadvies en teeltonderzoek naar (ruw)voedergewassen voor runderen, wordt dikwijls meegedeeld wat de ruw-eiwitgehaltenes (afgekort RE) zijn van het voer. Ook voor landbouwers onderling en bij het beoordelen van de kwaliteit van het voer wordt het ruw eiwit percentage (RE%) dikwijls als referentie gebruikt. Dit is zeker het geval voor maaigewassen zoals gras, gras/klaver, luzerne, enz. Nochtans zegt dit niets over de eiwitkwaliteit. Het is slechts het N-gehalte x 6.25, wat als referentiefactor kan gehanteerd worden omdat, over de eiwitten heen, het gemiddeld N-gehalte van eiwit 1/6,25 is. Om meer inzicht in de eiwitwaarde te hebben, werd het eiwitwaarderingssysteem ingevoerd dat gebaseerd is op onderzoek van Tamminga et al. (1994). Op basis van dit systeem worden twee belangrijke parameters berekend voor zowel het ruwvoer als het krachtvoer en zowel de afzonderlijke voedercomponenten als het rantsoen. Dit zijn het darmverteerbaar eiwit (afgekort DVE) en de onbestendige eiwitbalans (afgekort OEB). Hoewel het berekeningssysteem werd geüpdatet in 2007, wordt dikwijls toch met de oude berekeningswijze gewerkt. Om het onderscheid in berekeningswijze te maken, gebruikt men dan soms DVE91 als verwijzing naar de berekeningswijze van 1991. De principes blijven echter dezelfde.

In Figuur 135 wordt een schematisch overzicht van de eiwitvertering bij runderen gegeven. N kan in het voeder aanwezig zijn onder de vorm van eiwitten, maar ook onder de vorm van andere moleculen zoals ureum, nitraat en ammonium. Ureum wordt dikwijls als voederadditief gebruikt. Minerale N in plantenmateriaal dat nog niet werd omgezet in eiwit is onder de vorm van nitraat en ammonium aanwezig.

Een gedeelte van het eiwit wordt afgebroken door microbiel leven in de pens. Dit eiwit is 'niet pensbestendig'. De vrijgekomen N, maar ook de N die niet in eiwitvorm in het voer zit, kan gebruikt worden door het microbiel leven in de pens. Het wordt ingebouwd in microbiële eiwitten. Een deel van de vrijgekomen NH₃ zal echter niet worden gebruikt door het pensmicrobioom en worden opgenomen door de penswand en via de bloedbaan worden getransporteerd naar de lever en worden omgezet in ureum. De ureum wordt voor een deeltje gerecupereerd naar de pens via de muil, een deel komt in de melk terecht en het grootste deel gaat naar de urine. Er is dus een rechtsreeks verband tussen het ureumgehalte van de melk en de overmaat aan N in het voer. Hoe meer overmaat aan NH₃, hoe meer N in de urine zit en dus een potentiële bron van NH₃-emissie is.

Het gedeelte van het eiwit dat niet wordt afgebroken door het microbiel leven in de pens wordt getransporteerd naar de dunne darm. Dit is het 'darmverteerbaar bestendig voedereiwit' (afgekort DVBE in figuur 1). Ook een deel van het microbiel eiwit zal getransporteerd worden naar de darm. Dit noemen we het darmverteerbaar microbiel eiwit (afgekort DVME in Figuur 135). Ten slotte is er ook nog het metabool fecaal eiwit (DVFE, niet in Figuur 135 vermeld). Dit is het verlies aan eiwit via uitscheiding van mucus en verteringsenzymen. Het darmverteerbaar eiwit (DVE) is te berekenen volgens onderstaande formule:

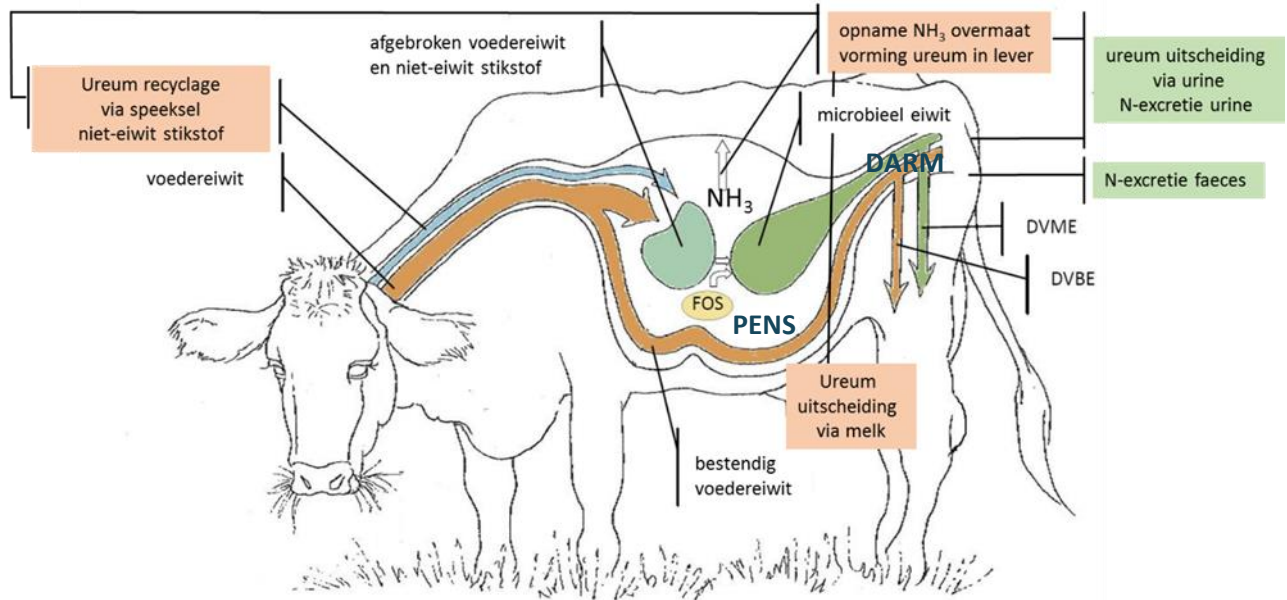
$$DVE = DVBE + DVME - DVFE$$

Alle drie de parameters die DVE bepalen worden bepaald op basis van berekeningen op basis van nog andere parameters die via dierproeven worden bepaald. Verdere toelichting kan teruggevonden worden in bovenstaande publicaties.

Voor het pensmicrobioom is het belangrijk dat het aanbod aan energie en eiwit in balans is. Praktisch gezien wordt hierover een uitspraak gedaan via de bepaling van de onbestendige eiwitbalans of afgekort OEB. OEB wordt gedefinieerd als het verschil tussen de hoeveelheid microbiel eiwit op basis



van pensbeschikbare N (eiwit) en de hoeveelheid microbiel eiwit op basis van pensbeschikbare energie van het voeder. Voedermiddelen kunnen zowel een negatieve als positieve OEB hebben. Bij onvoldoende energie t.o.v. eiwit in de pens kan een deel van de vrijgekomen N bij de afbraak van het eiwit niet ingebouwd worden in microbiel eiwit. De hierbij gevormde overmaat aan ammoniak komt via de penswand en de bloedbaan in de lever terecht waar ureum gevormd wordt en deels via de urine wordt uitgescheiden. In dit geval is de OEB-waarde positief. Is er echter een tekort aan N t.o.v. energie in de pens (negatieve OEB-waarde), dan wordt de microbiële activiteit geremd.



Figuur 135 Schematisch overzicht van de eiwitvertering bij melkvee. De afkortingen FOS, DVME en DVBE staan respectievelijk voor fermenteerbare organische stof, darmverteerbaar metabool eiwit en darmverteerbaar bestendig eiwit. De dikte van de pijlen zijn niet gerelateerd aan de grootte van de stroom, aangezien dit afhankelijk is van het samengestelde rantsoen (bron: De Brabander et al., 2012).

DVE en OEB worden uitgedrukt in g/kg en kunnen bepaald worden op ieder voedermiddel, maar ook voor het rantsoen berekend worden. De behoefte aan DVE voor een dier is afhankelijk van het type koe (leeftijd, ras) en de melkproductie (of vleesgroei-curve). Een maïskuil bevat gewoonlijk een DVE binnen de vork 48 tot 58 g/kg en een OEB binnen de vork -47 tot -27 g/kg. Voor een voordroogkuil van gras is dit 55 tot 80 g/kg DVE en 20 tot 90 g/kg OEB. Voedermiddelen met een overmaat aan energie hebben een negatieve OEB, zoals maïskuil, perspulp, granen, enz. Voedermiddelen met een overmaat aan eiwit hebben een, positieve OEB zoals gras, luzerne, sojaschroot, enz. Richtwaarden voor voederwaarde van de meest uiteenlopende voeders zijn ter beschikking via het CVB (www.cvbdiervoeding.nl). Het rantsoen wordt samengesteld uit ruwvoer van gewoonlijk kuilmaïs en voordroogkuil en soms bietenpulp en/of voederbieten. Vervolgens worden krachtvoerders toegevoegd. De verhouding van de verschillende types ruwvoer wordt voor een groot stuk bepaald door de beschikbaarheid van het voer op het bedrijf. Met welk type en hoeveel krachtvoer men aanvult, is afhankelijk van de behoefte van de koe. Om het voer evenwichtig samen te stellen houdt men rekening met de hoeveelheid VEM (voedereenheid melk, een maat voor de energie inhoud van het voer), DVE en OEB van ieder afzonderlijk voedermiddel. Maar ook van het totaalrantsoen wordt de VEM, DVE en OEB bepaald. De veehouder kan er voor kiezen om een 'total mixed ration' (gemengd voer van alle componenten) samen te stellen met constante samenstelling en dit iedere dag te voeren. Wanneer echter met begrazing wordt gewerkt of met afzonderlijk aangeboden voeders, kan het rantsoen op dagbasis wel in evenwicht zijn, doorheen de tijd kunnen schommelingen in VEM, DVE en OEB ontstaan door meer van het ene of het andere voer op te nemen.

In theorie zou de OEB van het rantsoen nul moeten zijn, maar omwille van dagschommelingen en een onnauwkeurige OEB-schatting van de voedermiddelen wordt voor de praktijk een OEB van 150 tot 200 g per dag aanbevolen voor melkvee (De Brabander et al., 2012). Al blijkt uit ILVO-onderzoek dat 50 g OEB reeds voldoende zou moeten zijn indien er meermaals per dag wordt gevoederd en een evenwichtig rantsoen wordt aangeboden. Men streeft een positieve OEB na omdat bij een negatieve OEB de microbiële groei wordt geremd en de vertering dus slechter verloopt. Hoe hoger de OEB van het rantsoen, hoe meer overmaat aan N die onder de vorm van ureum in urine terecht komt en potentieel voor NH₃-emissies kan zorgen. Enerzijds wil de veehouder voldoende OEB aanbieden via het voer om te voorkomen dat de penswerking geremd wordt. Anderzijds betekent dat het voeren van een rantsoen dat zo nauw mogelijk bij een OEB=0 aansluit, de potentiële N-verliezen verlaagd. Met andere woorden, de efficiëntie van het N-gebruik door de koe neemt toe, want er is minder N-verlies. De N-efficiëntie is echter altijd vrij laag. De N-efficiëntie bij melkproductie² schommelt tussen 23 en 34% naargelang rantsoen, koe en omstandigheden (Vandaele et al., 2020). De range geeft wel aan dat verbetering mogelijk is.

17.4.2 Strategieën om de N-verliezen te beperken

Op vlak van dier- en stal en mestopslag zijn er heel wat bewezen technieken ter beschikking die in meer of mindere mate reeds geïmplementeerd zijn (zie 5.4). Een verdere implementatie en het correct gebruik ervan is wel aangewezen en moet verder gestimuleerd worden, zo bleek uit de workshop. Er is momenteel reeds een lijst van bewezen technieken ter beschikking voor de rundveehouderij die ingezet kan worden om N-emissies te verlagen. Dit is de PAS-lijst en is beschikbaar op <https://www.ilvo.vlaanderen.be/language/nl-BE/NL/Onderzoek/Ammoniak-emissiereducerende-maatregelen-en-technieken/PAS-lijst.aspx>. Op het vlak van het rantsoen zijn nog heel wat innovatieve technieken beschikbaar die bewezen zijn, maar nog niet geïmplementeerd zijn, of waarvan de waarde voor de praktijk nog onderdeel is van onderzoek. Hieronder geven we een kort overzicht van de strategieën/technieken die kunnen gehanteerd worden om N-verliezen via emissie te beperken. In de daarna volgende paragrafen wordt toegespitst op het rantsoen.

- Gewijzigd diermanagement
 - Door weidegang toe te passen, wordt de kans op NH₃-emissie verlaagd, omdat faeces en urine niet samen worden gedeponneerd.
 - Door het verhogen van de langleefbaarheid³ van de melkveekudde, moet minder jongvee worden aangehouden per liter meetmelk⁴, wat resulteert in minder uitscheiding en dus in een daling in N-emissies.
 - Rundveestallen zijn gewoonlijk goed geventileerd, zodat luchtverversing hoger is dan noodzakelijk voor de gezondheid van de dieren en de nodige afvoer van warmte, vocht en schadelijke gassen. Hoe meer luchtverplaatsing door ventilatie, hoe meer NH₃ zal geëmitteerd worden uit de mest. Minder ventilatie kan dus de N-emissie verlagen.
 - De temperatuur verlagen in de stal verlaagt de N-emissie, maar dit dient met maatregelen zoals isolatie bereikt te worden. Verhoogde ventilatie verhoogt immers ook de N-emissie zoals hierboven is aangegeven.
- Acties op stalniveau. Deze komen ook aan bod in luik 1 bij het hoofdstuk 'optimalisatie stallen en opslag'

² Uitgedrukt als N in melkeiwit per eenheid gevoederde N.

³ Hoe langer een koe in productie kan gehouden worden, hoe minder vervangend jongvee moet opgekweekt worden en dus hoe minder niet-producerend jongvee moet aangehouden worden per liter melk die geproduceerd wordt.

⁴ Meetmelk staat gelijk met de hoeveelheid voor eiwit en vet gecorrigeerde melk. Vertaald FPCM fat and protein corrected milk. Iedere koe en landbouwer produceert melk met licht andere eiwit- en vetgehalten naargelang het rantsoen en de genetica van de koe. Door de melkproductie te corrigeren voor eiwit en vetinhoud, kan de productie op een juiste referentiebasis worden vergeleken.



- Door de mest frequent van de stalvloer te verwijderen met een mestrobot, een mestschuif of manueel, wordt de mest naar de mestopslag gebracht en kan contact met de lucht beperkt worden waardoor er minder vervluchtiging is.
- Door het oppervlak met mest bedekte stalvloer te verkleinen, verkleint het oppervlak waar emissie kan plaatsvinden. Dit is uiteraard een uitdaging als er veel ruimte per dier ter beschikking wordt gesteld, hetgeen voor het dierenwelzijn gewenst is.
- Besproeien van de stalvloeren met water voert urine versneld af en remt ureasewerking.
- Door gebruik te maken van bepaalde profielen in de stalvloer kunnen mest en urine gescheiden worden.
- Door een ander materiaal dan beton te gebruiken kan voorkomen worden dat mest en micro-organismen aan de stalvloer blijven kleven.
- Door roosters te gebruiken die de mestkelder afsluiten kan de N-emissie vanuit de mestkelder beperkt worden.
- Acties bij de mestopslag
 - Door het gesloten opslaan van de mest kan het NH₃-gas niet worden afgevoerd.
 - De vorming van NH₃-gas kan ook vertraagd en verlaagd worden door het scheiden van urine en faeces en deze vervolgens gescheiden op te slaan, en door het aanzuren of het koelen van de mest.

- Luchtzuivering

Via biologische en chemische luchtwassers kan net als bij varkens- en pluimveestallen de uitgaande lucht worden gezuiverd. Dit is echter alleen goed mogelijk wanneer de ventilatie mechanisch gebeurt en de inlaat minstens gedeeltelijk kan gestuurd worden. Omdat veelal met open stalsystemen wordt gewerkt is de inlaat regelen niet altijd mogelijk.

- Gewijzigd rantsoen

Een gewijzigd rantsoen heeft als doel zonder productieverlies de N-gebruiksefficiëntie te verbeteren. Minder N in de mest (faeces + urine) betekent een potentieel lager verlies aan N via emissie. Minder N-inhoud van de mest heeft ook een gevolg voor de mineralisatie en potentiële NO₃⁻uitspoeling.

17.4.3 Innovaties om N-verliezen te beperken bij rundvee via het rantsoen

In een literatuurstudie in opdracht van VLM, bracht Curial et al. (2018) naar voor welke rantsoen gerelateerde maatregelen men kan nemen om de N-excretie bij rundvee te reduceren. Deze zijn samengevat voor melkkoeien in Tabel 71 en voor zoogkoeien in Tabel 72. We gebruiken de tabellen als leidraad om de maatregelen toe te lichten die kunnen genomen worden.

Tabel 71 Mogelijke maatregelen ter reductie van de N-excretie door melkkoeien in Vlaanderen (Bron: Curial et al., 2018).

Omschrijving	Reductie excretie (%)	Status	V	I	A	D
R1 RE-gehalte van graskuil verlagen	0,1 tot 0,2	Praktijkrijp In uitvoering	↑↓ ¹	=	=	=
R2 Gebruik van pensbestendige aminozuren	↓	Praktijkrijp	↑	=	=	↑
R3 Verlagen OEB-waarde rantsoen						
R3a Rantsoen formuleren op lagere OEB	1,5 tot 6	Praktijkrijp	=	=	=	=
R3b Aandeel maïskuil in het rantsoen verhogen	0,5 tot 2	Praktijkrijp In uitvoering	↓	=	=	=
R3c Aandeel OEB-negatieve voedermiddelen in het rantsoen verhogen	0,2 tot 0,3	Praktijkrijp In uitvoering	↑↓ ¹	=	=	↑
R3d Meer pensbestendig eiwit in rantsoen (sojaschroot/koolzaadschroot)	↓	Praktijkrijp	↓	=	=	=
R4 Nauwkeuriger voeren naar individuele DVE-behoefte	↓	Praktijkrijp	=	=↑ ¹	↑	↑
R5 Groeperen op energie- en eiwitbehoefte	↓	Praktijkrijp	↓	↑	↑	↓
R6 Grasopname laagproductieve koeien beperken	↓	In uitvoering	=	↑	↑	=
R7 Bijvoeren van maïskuil op de weide	↓	Praktijkrijp	↑	↑	↑	=
R8 Essentiële oliën	↓	Ontwikkeling (>5j)	↑	=	=	?

V, Voederprijs; I, Infrastructuurkost; A, Arbeidskost; D, Dierprestaties; ↑, Stijging; ↓, Daling; =, Geen effect; j, jaren

¹Situatieafhankelijk

VOEDERMIDDELEN

VOEDERMANAGEMENT

VOEDERADDITIEVEN

Tabel 72 Mogelijke maatregelen ter reductie van de N-excretie door zoogkoeien in Vlaanderen (Bron: Curial et al., 2018).

Omschrijving	Reductie N-excretie (%)	Status	V	I	A	D	Neveneffect(en)
R1 RE-gehalte van graskuilen verlagen	1,5%	Praktijkrijp/ in uitvoering	↑↓	=	=	=	Minder grasopbrengst
R3 Verlagen OEB-waarde rantsoen							
R3a Aandeel maïskuil in het rantsoen verhogen	6%	Praktijkrijp/ in uitvoering	↓	=	=	=	Nitraatresidu ↑ en koolstofopslag ↓ t.o.v. gras
R3b Het aandeel OEB-negatieve voedermiddelen in rantsoen verhogen	1,5%	Praktijkrijp/ in uitvoering	↓↑	=	=	=	structuurwaarde

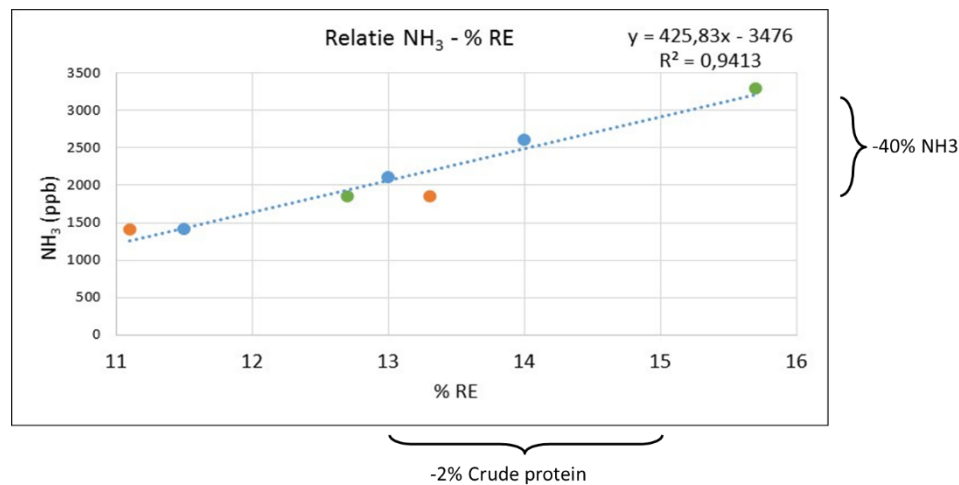
Maatregelen op vlak van voedermiddelen (R1) en voedermanagement (R3) zijn weergegeven. (V) Voederprijs; (I) Infrastructuurkost; (A) Arbeidskost; (D) Dierprestaties; ↑ Stijging; ↓ Daling; = Geen effect.

17.4.3.1 Reductie van het ruw eiwitgehalte (RE) van het rantsoen

Het reduceren van het RE-gehalte van het rantsoen draagt bij tot verlaging van de emissies uit de stal, mestopslag, mestapplicatie op het land en mest op het veld bij begrazing. Het verlagen van het RE-gehalte resulteert in een efficiënter N-gebruik en in een verschuiving van urinair N naar fecaal N met minder NH₃-emissies tot gevolg. Daarnaast leidt een verminderde N-aanvoer in het voeder ook tot verbeterde recyclage vanuit het bloed, via het speeksel naar de pens (Hristov et al., 2011). Verscheidene studies bij melkvee zoals Misselbrook et al. (2005) en Castillo et al. (2000) geven aan dat er sterke dalingen in N-excretie te bekomen zijn door het RE-gehalte van het voer te verlagen. In deze studies worden echter referentiesituaties gebruikt met een hogere RE% (19-20%) dan wat momenteel gangbaar is in Vlaanderen voor melkvee (15-16% RE). Ook al zijn de RE% in de Vlaamse melkveehouderijrantsoenen lager, een verdere daling tot 14% RE zou nog steeds voldoende eiwit aanleveren en een bijkomende winst kunnen opleveren in reductie in NH₃-emissies. Voor vleesvee kunnen we het Belgisch Witblauw ras – het meest gehouden vleesras in Vlaanderen – moeilijk vergelijken met studies van andere rassen. Onderzoek geeft echter aan dat een verlaging van het RE-gehalte naar 11,5 à 12% geen negatieve gevolgen heeft, zolang de DVE-behoefte gedekt blijven



(Goossens et al., 2018). In Figuur 136 wordt het sterke verband weergegeven tussen het RE-gehalte van het rantsoen en de NH₃-emissie uit de stal voor 3 dierproeven (R²=0,94), uitgevoerd door ILVO.



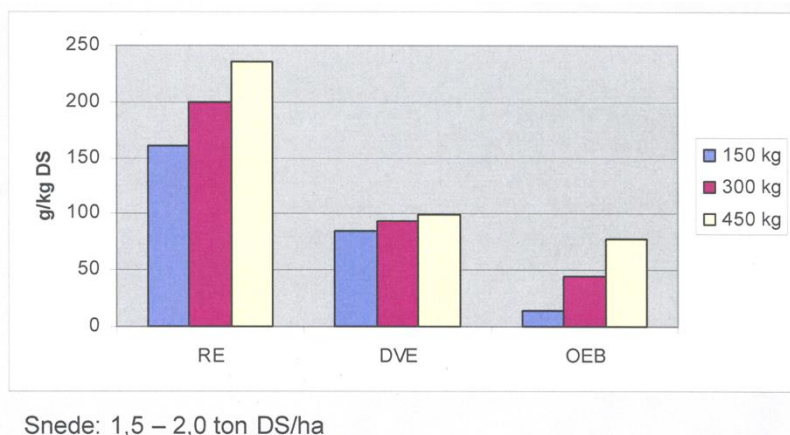
Figuur 136 Verband tussen de RE-gehalten van het rantsoen en de NH₃ emissie in een mechanisch geventileerde stal voor 3 dierproeven (2 met vleesvee en 1 met jongvee melkkoeien) (bron: Goossens et al., 2019).

Een verlaging van het RE-gehalte van het rantsoen kan bekomen worden door het rantsoen anders te gaan samenstellen en andere verhoudingen te gaan gebruiken van ruwvoer en krachtvoer. Sturing via de graskuil is ook mogelijk, doch bijzonder complex. We trachten dit beknopt toe te lichten. De RE-gehalten van het gras worden gestuurd door de N-bemesting, maar ook de beschikbaarheid van zwavel, kalium, de bodem-pH en het bodemtype zijn belangrijke factoren die invloed hebben op de RE-eiwitvorming in het gras (Curial et al., 2018). Bij een zwaveltekort worden niet alleen lagere opbrengsten verwacht, maar ook een lagere eiwitkwaliteit (minder methionine en cysteine). Een teveel aan zwavel leidt dan weer tot koper en seleniumgebrek (De Boever, 2020, pers. Communicatie). Er is een goed verband tussen de N-bemesting van grasland en de RE-gehalten. De bemesting van grasland verhogen leidt heel duidelijk tot meer RE-gehalte van het gras. Er is echter vooral een toename in OEB en slechts een beperkte verhoging van de DVE (Figuur 137) (Valk et al., 2000). Dit terwijl net een hoger DVE het doel is om meer eiwit via het rantsoen werkelijk door de koe te laten opnemen. Via het maairitme kan men ook sleutelen aan de RE-gehalten en DVE-gehalten van het gras. Door het gras jonger te gaan maaien, boet men in aan opbrengst, maar wint men zowel aan RE (Middelkoop, 2019) als DVE (De Boever, 2020, pers. Communicatie). Figuur 138 geeft aan via simulaties op basis van vele veldproeven en locaties hoe het verband zit voor zandgrond. Middelkoop (2019) vat het samen in volgend cijfervoorbeeld:

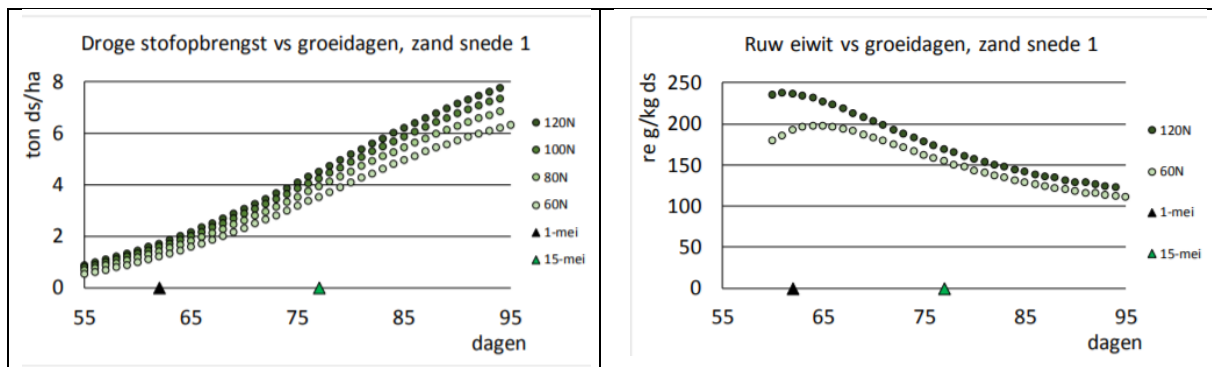
- Jonger maaien van 3 naar 2 ton drogestof/ha (lichtere, maar meer snedes per jaar)
 - = -350 kg drogestof aan graskuil/ha
 - = +14 g RE/kg drogestof
 - Het krachtvoergebruik hoeft niet te veranderen
- Later maaien van 3 naar 4 ton drogestof/ha (zwaardere, maar minder snedes per jaar)
 - = +700 kg drogestof aan graskuil/ha
 - = -25 g RE/kg drogestof
 - Er moet meer krachtvoer per koe worden aangekocht

Dit cijfervoorbeeld geeft meteen ook de reden aan waarom op bedrijven waar het grasaandeel in het rantsoen relatief klein is –dit zijn de meeste bedrijven in Vlaanderen- het verlagen van het RE-gehalte van het gras minder aantrekkelijk is. Het kost meer krachtvoer. In het PROTECOW project werd aangegeven dat voor een bedrijf met 100 melkkoeien met 9.700 liter melkproductie per jaar en 100 ha grond (±35% maïs en ±35% graskuil+weidegras in het totaalrantsoen), er 220 kg sojaschroot kon bespaard worden per koe en per lactatie door te gaan maaien op een tijdstip dat eiwit- en

energiegehaltenes van het gras optimaal zijn. Ze vergeleken hier graskuil met 920 VEM, 15,7% RE, 80 DVE en 40 OEB met graskuil van 850 VEM, 14,1% RE, 60 DVE en 20 OEB (<https://www.interreg-protecow.eu/>).



Figuur 137 Effect van N-bemesting op eiwit in gras (gebaseerd op Valk et al., 2000).



Figuur 138 Effect van aantal groeidagen op DS-opbrengst en RE bij verschillende bemestingen op zandgrond (Middelkoop, 2019).

Hierbij zijn er wel enkele zaken die opgemerkt moeten worden. Ten eerste, het jonger maaien betekent dat de snede sneller op de vorige snede en dus op de bemesting wordt genomen. Vier weken moet gehanteerd worden als de periode noodzakelijk tussen bemesting en maaien om het gras de tijd te geven N om te zetten in eiwit (De Vliegheer, 2018, pers. Communicatie). Indien men toch vroeger maait of nog kort voor de snede bemest, zal het N-gehalte toenemen, en daarmee ook het RE-gehalte, maar vooral ook de OEB en niet de DVE. Men krijgt met andere woorden ruwvoer dat veel N zal 'leken' en niet efficiënt zal worden ingezet in de eiwitvertering van de koe. Ten tweede kan het RE-gehalte en eiwitkwaliteit van gras slechts in theorie gestuurd worden door het maaitijdstip. Grillige weersomstandigheden en beschikbaarheid van de loonwerker ontnemen de landbouwer in Vlaanderen vaak de vrije keuze van maaitijdstip. Ook de klimaatverandering kan hier spelbreker zijn. In Vlaanderen wordt grasland gewoonlijk 4 tot 6 keer gemaaid, waarbij de eerste 2 snedes en vooral de 1^e snede (eind april-half mei) de belangrijkste zijn, zowel qua opbrengst als qua graskwaliteit. De latere snedes zijn niet enkel lichter en van lagere kwaliteit, ze worden ook sterker beïnvloed door zomerdroogte. Als een klimaatsverandering de droogteperiodes frequenter en langer maakt, zullen landbouwers nog meer inzetten op het gras van de eerste snedes van het jaar. Mogelijk wordt dan ook meer ingezet op maximale opbrengst i.p.v. kwaliteit. Voldoende voer zal primeren boven sturen van de samenstelling.

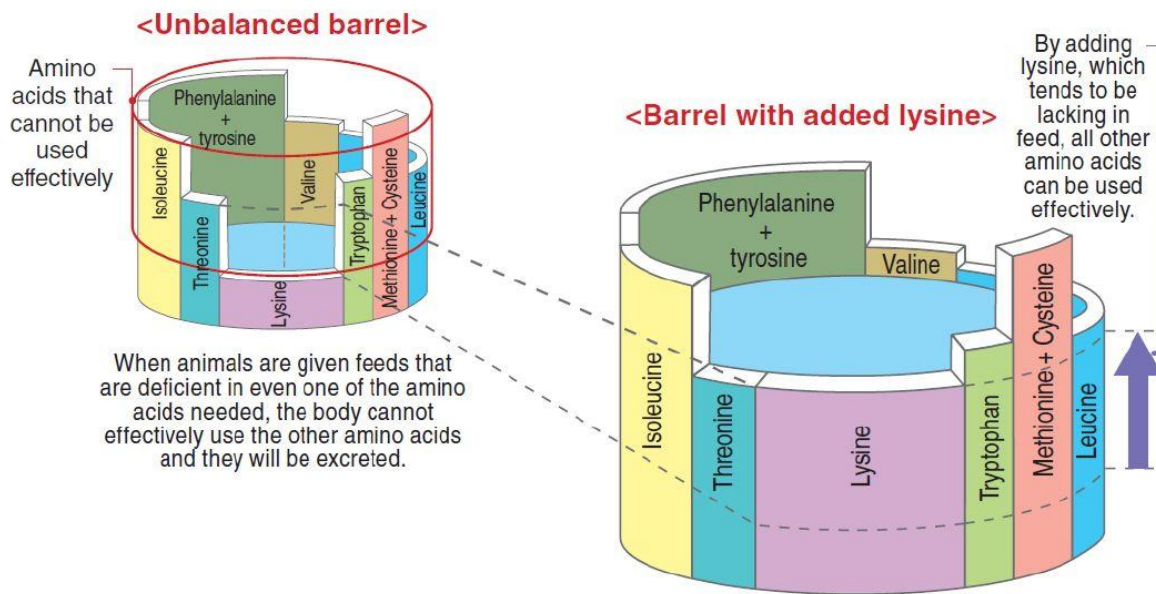


Najaarsgraskuilen bevatten van nature meer RE onder de vorm van OEB omdat het gras minder kan voorgedroogd worden en omdat er minder suikers in het gras zitten (minder daglengte, minder zon). Wanneer door droogte meer grassterfte optreedt kan dit voor een extra boost aan N zorgen in het najaar, meer N-opname door het gras en een hoge OEB. Men krijgt dus gras waar men dankbaar gebruik van maakt, omdat er na droogte weer voer is, maar de hoge OEB gehalten zijn ongewenst en doen de N-emissies stijgen. Ook binnen het nieuw gestarte EKOPTI VLAIO-onderzoekstraject (zie verder) zal bekeken worden hoe eiwit in het najaarsgras kwalitatiever kan gemaakt worden.

Het verlagen van het RE-eiwitgehalte van het rantsoen is een techniek die ook voor vleesvee kan toegepast worden en reeds toegepast wordt (Curial et al., 2018). Doch het effect is zeker ook bedrijfsafhankelijk. Voor melkvee werd door Curial et al. (2018) besloten dat het verlagen van de N-excretie door het verlagen van het RE-gehalte van de graskuil haalbaar is. Het verlagen van het RE-gehalte via de graskuil is waarschijnlijk voor de hand liggend voor de bedrijven met een hoog grasaandeel in het rantsoen, maar niet voor deze met een hoog maïsaandeel.

17.4.3.2 Pensbestendige aminozuren toevoegen

De efficiëntie van het eiwitdieet bij runderen wordt ook bepaald door de juiste balans van de aminozuren. Wanneer er aan bepaalde aminozuren een tekort is, zullen de andere aminozuren in overmaat aanwezig zijn en minder efficiënt ingezet worden (Vandaele et al., 2020). Dit wordt voorgesteld in Figuur 139. De aminozuren waarbij het meest een tekort ontstaat zijn methionine en lysine (Curial et al., 2018). De eiwittefficiëntie kan verhoogd worden door pensbestendig methionine en lysine toe te voegen aan een laag eiwitrantsoen (Kröber et al., 2000; Broderick et al., 2008). Pensbestendig betekent dat de aminozuren niet in de pens worden afgebroken, maar wel in de dunne darm kunnen worden opgenomen. In ILVO-proeven werd voor melkvee een referentie rantsoen met 17 %RE en 98 DVE en 1009 VEM, vergeleken met een laag eiwit rantsoen (15,2 %RE, 90 DVE en 1009 VEM) en met hetzelfde laag eiwitrantsoen waar pensbestendige aminozuren werden toegevoegd (15,4% RE, 91 DVE en 1013 VEM) (Vandaele et al., 2020). Hieruit bleek dat er 17% minder N-excretie was via de urine voor het laag eiwitrantsoen en 13% voor het laag eiwitrantsoen + pensbestendige aminozuren in vergelijking met de referentie. Het melkureumgehalte daalde van 222 mg/l naar 174-176 mg/l voor de laag eiwitrantsoenen en de N-efficiëntie nam toe van 27,4 naar 30,9%. Dit had geen invloed op de methaanuitstoot per kg meetmelk geproduceerd. Het laag eiwitrantsoen deed de melkproductie wel dalen van 29,3 naar 28,3 kg meetmelk per dag. Door het toevoegen van de pensbestendige aminozuren kon dit wel gedeeltelijk goed gemaakt worden (28,8 kg meetmelk/dag) (Vandaele et al., 2020). Hier stelt zich meteen ook het probleem. Veehouders zullen pas gebruik maken van pensbestendige aminozuren als dit ook resulteert in een productieverhoging. Er is immers een prijskaartje aan verbonden. Voorlopig ziet het er naar uit dat het verlagen van het eiwitgehalte van het rantsoen helpt om N-emissies te verlagen zonder negatieve gevolgen voor de methaanuitstoot, en dat een verlaagde productie (deels) kan gecompenseerd worden door inpassen van pensbestendig methionine en lysine.



Figuur 139 Ongebalanceerde en gebalanceerde samenstelling van de aminozuren (bron: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Barrel_Theory_of_amino_acids.jpg).

17.4.3.3 Verlaging van het OEB-gehalte (onbestendige eiwitbalans) van het rantsoen

Naast het verlagen van het totale ruw eiwit in het rantsoen, kan men ook de OEB-waarde van het rantsoen verlagen. Bij melkvee wordt het rantsoen steeds berekend op een positieve OEB. Een positieve OEB heeft geen negatief effect op de diergezondheid en de prestaties, een negatieve OEB wel. Omdat er een grote foutenmarge zit op de OEB analyse en er schommelingen zijn in OEB doorheen de tijd (bv. door heterogene opname van voer), wordt steeds met een ruime positieve marge gerekend om problemen te voorkomen. Een kleinere positieve marge en dus minder OEB, kan dus de N-excretie verlagen. Dit kan praktisch op meerdere wijzen:

- Rantsoen formuleren op een lagere OEB

Momenteel wordt dikwijls met een marge van 150 tot 200g OEB gewerkt in het rantsoen. Dit zou kunnen herleid worden tot 50g OEB, met een reductie in N-excretie van 4,5 tot 6% tot gevolg (Curial et al., 2018). Omdat er veel schommelingen zijn in OEB en een redelijke foutenmarge, is het dan wel aan te bevelen een 'total mixed ration' (TMR) (alle voedermiddelen mengen met bv. mengwagen) te voederen. Eventueel kan het melkureumgehalte nog gebruikt worden om meer inzicht te hebben in de OEB waarde van het rantsoen (Curial et al., 2018). Dit betekent onrechtstreeks dat de veehouder eigenlijk nog verder gestimuleerd wordt om zero-grazing uit te voeren, want enkel dan is de veehouder in staat het volledige rantsoen in de hand te hebben. Dit terwijl de maatschappij net meer weidegang wenst. Permanent opstallen zal zowel positieve als negatieve gevolgen hebben voor de N-verliezen. Enerzijds komen bij weidegang urine en mest minder samen met minder NH₃-emissies tot gevolg dan op de stalvloer en mestopslag (zie eerder). Anderzijds is het bekend dat graasweides een hoger nitraatresidu en uitspoeling vertonen dan gemaaide weides (Whitehead, 1995). Dit kan bv. door vertrapping, plaatselijk kale grond en door heterogene verspreiding van urine en mest.

- Het aandeel OEB-negatieve voedermiddelen in het rantsoen verhogen

Dit kan door bv. het aandeel maïs in het rantsoen te verhogen. Dit is eigenlijk al in uitvoer. Veehouders proberen maximaal maïs als ruwvoer te gebruiken, aangezien dit goedkoper te telen is dan gras, zo blijkt ook uit de kostprijsberekening van de ruwvoedergewassen door LCV. Bovendien kan kuilmaïs op 1 tijdstip relatief onafhankelijk van de weersomstandigheden worden geogst. Voordrooggras daarentegen dient op 4 tot 6 tijdstippen geogst te worden in min of



meer standvastige, droge weersomstandigheden. Andere voedermiddelen met negatieve OEB zijn bv. perspulp en voederbieten. Voederbieten hebben een bijkomend positief effect: verhoging van het melkvetgehalte en een verdringingswaarde kleiner dan 1. Een verdringingswaarde kleiner dan 1 betekent dat de koe in totaal meer zal opnemen van het rantsoen net door het toevoegen van voederbieten. Bieten zijn door hun diepe penwortel en de N-opname tot laat in het najaar tevens een teelt met een positief effect op de nitraatresidu's in het najaar. Het verhakselde bladmateriaal kan wel een bron zijn van snelle N-mineralisatie na de oogst van de bieten. Voederen van voederbieten is ook arbeidsintensief en de bewaring verdient extra aandacht.

- Meer pensbestendig eiwit in het rantsoen

De OEB van een rantsoen kan ook verlaagd worden door gebruik te maken van pensbestendig eiwit. Dit kan door bv. gebruik te maken van pensbestendig sojaschroot en in mindere mate door pensbestendig koolzaadschroot (Curial et al., 2018). Door pensbestendig sojaschroot te gebruiken zal in totaal minder sojaschroot in het rantsoen moeten worden gestoken en dus ook minder worden ingevoerd, wat de ecologische voetafdruk vermindert.

Veel vlinderbloemige gewassen bevatten een relatief groot aandeel onbestendig eiwit (Cohen, 2001; Cohen en Dole, 2001; Peyraud et al., 1993; Steg et al., 1994). Zo blijkt ook uit praktijkproeven in Vlaanderen dat gras/klavers een duidelijk hoger aandeel RE hebben dan referentie grasland, maar dat er relatief weinig verschillen in DVE zitten, vooral de OEB is hoger (De Vliegheer en Vanden Nest, 2019). In maaigewassen kunnen toch ook nog onderlinge verschillen zitten. Uit een studie van Broderick et al. (2007) bleek bv. dat rode klaver leidde tot een veel lager melkureumgehalte en een shift van urine N-excretie naar N-excretie via de mest in vergelijking met luzerne.

Bij graanleguminosen zoals veldbonen kan men opteren om deze te gaan toosten om het eiwit meer pensbestendig te maken (net als bij sojaschroot). Uiteraard moet de veehouder dan wel de mogelijkheid hebben om deze toasting te laten uitvoeren. In Frankrijk is bv. een mobiele toaster beschikbaar waar enkele Vlaamse landbouwers ook gebruik van maken. Om een idee te geven van het effect van toosten geven we in Tabel 73 enkele resultaten uit de Boer et al. (2006) en Tabel 74 enkele resultaten uit het PROTECOW project.

Tabel 73 DVE-gehalte (g/kg) in alternatief krachtvoer voor het onbewerkt product en na behandeling (toasten). (Bron: de Boer et al., 2006).

Gewas	Onbewerkt product	Na bewerking
Sojaschroot	235	387
Lupinezaden	133	234
Erwten	96	173
Veldbonen	105	201

Tabel 74 Effect van toosten van veldbonen (6-7min, 280°C hete lucht of 115°C in de boon) op de bestendigheid van het eiwit (BRE= bestendig ruw eiwit; BZET=bestendig zetmeel, 91 verwijst ernaar dat de omrekeningsmethode van DVE uit 1991 is gebruikt) (Bron: ILVO-PROTECOW-project)

	DS g/kg	RE g/kg DS	%BRE91	%BZET91	DVE91 g/kg DS	OEB91 g/kg DS
Veldbonen staal 1						
Controle	899	338	27,0	31,6	146	142
Getoast	937	333	33,5	37,5	162	122
Veldbonen staal 2						
Controle	896	303	20,6	23,9	119	133
Getoast	925	298	30,0	33,2	152	100

Net als bij Melkvee, kan de N-excretie verlaagd worden bij vleesvee door het verlagen van de OEB van het voer. Uit voederproeven blijkt dat het rantsoen voor Belgisch Witblauwe runderen een negatieve OEB mag hebben, zolang aan de DVE-behoefte is voldaan. Het is niet bekend in welke mate dit effect heeft op de diergezondheid en prestaties op de lange termijn (Goossens et al., 2018). Meer onderzoek is hier dus nog nodig. Dit OEB-gehalte kan verlaagd worden door het maïsaandeel in het ruwvoer te verhogen. Door voor 60%/40% maïs/graskuil te kiezen, i.p.v. 40%/60% kan men een reductie van 6% in N-excretie bekomen (Curial et al., 2018). Dit wordt in de praktijk al veel gedaan. Ook kan geopteerd worden om andere voeders met een negatieve OEB op te nemen in het rantsoen, zoals bieten of perspulp.

17.4.3.4 Nauwkeuriger voeren naar DVE behoefte (darmverteerbaar eiwit)

Er zijn tussen dieren binnen de kudde grote verschillen in DVE-behoefte omwille van genetische achtergrond, gedrag, leeftijd, gewicht enz. Momenteel wordt hier weinig rekening gehouden met deze verschillen en wordt een algemeen basisrantsoen van ruwvoer verstrekt dat aangevuld wordt met een eiwitcorrector en/of krachtvoer. Dit rantsoen moet voldoen aan de (gemiddelde) behoefte van de kudde. Toch zijn er onderling grote verschillen in opname van ruwvoer en daarmee ook verschillen in 'luxeconsumptie' van krachtvoer en eiwitcorrector. Het is moeilijk in kaart te brengen wat de opname precies is, maar via een melkrobot zou het wel mogelijk zijn om, door het meten van eiwit- en vetgehalte in de melk, bij te sturen op basis van de DVE-behoefte per individueel dier of per groep van dieren. Een melkrobot is niet standaard aanwezig op ieder bedrijf en deze metingen zijn ook niet standaard mogelijk op iedere melkrobot (<http://www.koesensor.be/faqmelksamenstelling/>).

17.4.3.5 Dieren groeperen op basis van energie- en eiwitbehoefte

In plaats van melkkoeien individueel te sturen, zouden ze ook kunnen gegroepeerd worden volgens behoefte. Dit kan echter leiden tot stress omwille van groepswissel en dus slechtere prestaties. In de praktijk worden de koeien in lactatie meestal in 1 grote groep gehouden. De opdeling tussen lacterende en droogstaande koeien is wel gebruikelijk en is eigenlijk al een opdeling naar behoefte. Sommige melkveehouders werken toch met groepen volgens productie, zodat er een groep hoogproductieve en een groep laagproductieve dieren is. Veel bedrijven hebben echter niet de ruimte om dit uit te voeren.

17.4.3.6 Grasopname laagproductieve koeien beperken

Laagproductieve melkkoeien hebben meestal een luxeconsumptie aan eiwit via vers gras. Beperken van de toegang tot weidegang helpt om de luxeconsumptie te voorkomen. Op veel melkveebedrijven is de weidegang echter al sterk verminderd, of zelfs helemaal afwezig (zero-grazing). Dit om het rantsoen beter te sturen, mest homogener te spreiden en/of omdat er te weinig grasweides ter beschikking zijn rondom het bedrijf voor het aantal koeien in de kudde.

17.4.3.7 Bijvoeren van maïskuil op de weide

Door grazende dieren ook te voorzien van kuilmaïs op de weide, wordt een betere afstemming van energie en eiwit bekomen. Het voederen van kuilmaïs of andere voeders in de weide is minder aantrekkelijk omdat het kan leiden tot verspilling van voer. Bovendien wordt het gras vertrappeld op de voederplaats en ontstaan zo plekken met mogelijke puntvervuiling door nitraatuitspoeling (resten van het voer die afbreken op de plaats waar gras niet meer kan groeien).



17.4.3.8 Essentiële oliën

Er zijn enkele in vitro-studies die aangeven dat het toevoegen van bepaalde essentiële oliën door hun antimicrobiële of antiprotozoaire werking een positieve invloed heeft op de N-efficiëntie. In vivo studies zijn op dit vlak nog tegenstrijdig en meer onderzoek is nodig (Curial et al., 2018).

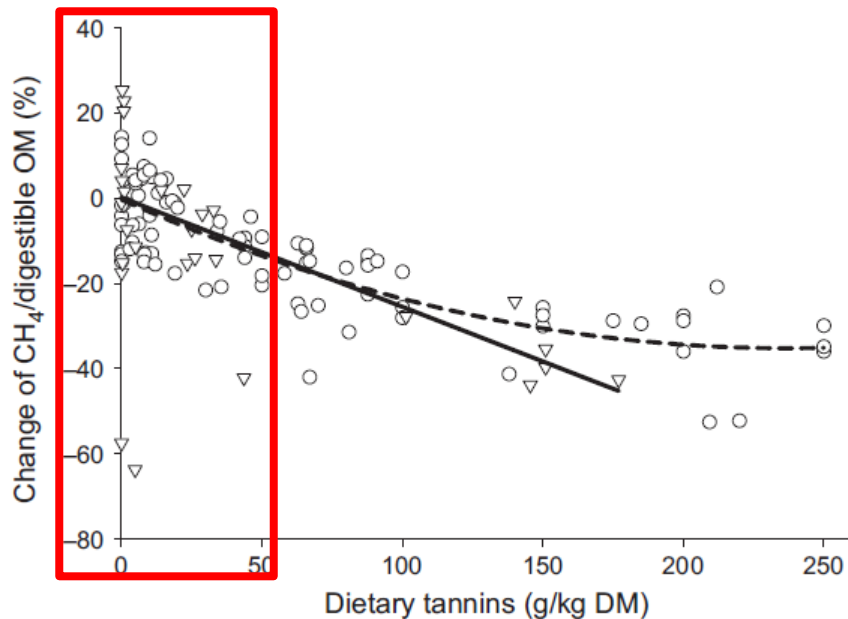
Naast de lijst maatregelen (§3.1 tot 3.8) die opgesomd werden in tabellen 1 en 2 werden in de literatuur nog enkele andere mogelijke maatregelen gevonden om N-verliezen zowel naar atmosfeer als naar grondwater toe te verminderen. We nummeren ze hier gewoon verder (§3.9 tot 3.11).

17.4.3.9 Wateropname

De wateropname heeft een invloed op de ureumconcentraties in het bloed en de melk (Burgos et al., 1999). Rantsoenen die rijk zijn aan zouten zoals kali en/of natrium stimuleren de wateropname door de koe, waardoor urine wordt verdund en de NH₃-emissie wordt verlaagd. Van Duinkerken *et al.* (2005) en De Campeneere *et al.* (2006) toonden aan dat om die reden het type ruwvoeder (maïskuil versus voordroogkuil) een effect had op het melkureumgehalte en op de NH₃-emissie uit de stal. Gras bevat standaard hoge gehalten aan mineralen en stimuleert daardoor meer wateropname. Bij vergelijking van rantsoenen met zelfde eiwit en energievoorziening, zullen rantsoenen rijk aan voordroogkuilvoer leiden tot een lager melkureumgehalte dan rantsoenen rijk aan maïskuilvoer.

17.4.3.10 Tannines

Tannines zijn polyfenolen die van nature in meer of mindere mate aanwezig zijn in planten waaronder maaigewassen zoals luzerne, rolklaver en esparcette. Ze kunnen ook geëxtraheerd worden en als een additief worden toegevoegd aan kuil of rantsoen. Tannines hebben een positief effect op de gezondheid van de koeien. Bij een dosis tot 50 g/kg droge stof hebben ze geen negatief effect op de voederopname en melkproductie, bij hogere dosissen daalt de opname en melkproductie, mogelijk omdat de verteerbaarheid of smakelijkheid achteruitgaat (Min et al., 2003). Tannines zijn interessant omdat ze de N-stofwisseling beïnvloeden. Tannines in het voer verlagen de pensproductie aan NH₃ met 16%, het N-gehalte van de melk met 9% en de urinaire N-excretie met 11% ten voordele van 10% toename van de fecale N-excretie (Herremans, 2019). Door de verschuiving van urinaire naar fecale N-excretie daalt de kans op N-emissie. Niet onbelangrijk is dat tannines ook een dalend effect hebben op de CH₄-emissie bij koeien (Jayanegara et al., 2012). In figuur 128 wordt het verband tussen de CH₄-emissie en tannines in het rantsoen op basis van in vitro (bolletjes en stippellijn) en in vivo experimenten (driehoekjes en volle lijn) weergegeven. Het rode kader geeft de range weer waarbinnen de tannines geen negatief effect hebben op de melkproductie (Jayanegara et al., 2012). Meer dan 50 g tannines/ kg droge stof leidt immers tot een daling in de melkproductie (zie hierboven). In het EKOPTI VLAIO-onderzoeksproject (zie verder) zullen ook voederproeven uitgevoerd worden met kuilen waar tannines werden aan toegevoegd versus kuilen waar deze niet werden toegevoegd. Resultaten zullen in de nabije toekomst ter beschikking komen.



Figuur 140 Verband tussen de CH₄-emissie en tannines in het rantsoen op basis van in vitro (bolletjes en stippellijn) en in vivo experimenten (driehoekjes en volle lijn). Het rode kader geeft de range weer waarbinnen de tannines geen negatief effect hebben op de melkproductie (Bron: Jayanegara et al., 2012)

Rolklaver en esparcette kunnen bronnen van tannines zijn, maar zijn planten die het moeilijk hebben om te overleven in intensief beheerd grasland. Voor de intensieve veehouderij lijken ze dan ook minder geschikt. In kruidenrijk grasland kunnen ze echter van betekenis zijn en in belangrijke mate aanwezig zijn. Luzerne is uiteraard wel aanwezig in de intensieve veehouderij en bevat ook tannines, maar tegelijk ook veel onbestendig eiwit (zie eerder). Esparcette wordt in het Verenigd Koninkrijk soms ook gecombineerd met luzerne voor begrazing, om trommelzucht te voorkomen (Jonas Aper, 2020, pers. Communicatie). Het tanninegehalte van deze planten hangt ook af van de ouderdom van het gewas.

17.4.3.11 Smalle weegbree om nitraatuitspoeling te verlagen

De laatste 2 tot 3 decennia is er toenemende interesse in een aantal planten die kunnen ingezet worden als maai- of graasgewas en die de N-verliezen kunnen verminderen. Een van deze planten is smalle weegbree. Er zijn ook indicaties uit onderzoek van het Louis Bolk Instituut dat methaanemissies door koeien kunnen gereduceerd dankzij het opnemen van smalle weegbree (Van Rossum, 2019). Verder onderzoek is lopende. In Nieuw-Zeeland werd reeds heel wat onderzoek gedaan naar smalle weegbree en werden ook verscheidene rassen ontwikkeld die actief blijven in de winter, met hoge opbrengsten. Dit is een duidelijk verschil met de in het wild voorkomende winterdormante (alle groeiactiviteit valt stil tijdens de winter) smalle weegbree die een meer horizontale bladstand en een lagere productie heeft. Het onderzoek wijst uit dat er veel potentieel zit in het gebruik van dit gewas om N-verliezen te beperken. Belangrijk is wel te melden dat dit onderzoek uitgaat van een begrazing van de smalle weegbree.

Bij begrazingssystemen zijn de urineplekken de belangrijkste bron van nitraatverliezen. Het onderzoek geeft aan dat smalle weegbree via 4 mechanismen de nitraatuitspoeling kan verlagen (Judson et al., 2019):

- N-excretie via de urine

Cheng et al. (2017) observeerde dat bij melkvee met eenzelfde N-opname per dag, 54% van de N-excretie naar de urine ging indien ze werden geplaatst op een rantsoen van raigras, maar dat



slecht 33% van de N-excretie in de urine zat bij een rantsoen op basis van smalle weegbree. Smalle weegbree zou dus de N-excretie van urine richting faeces sturen. Een mogelijke verklaring is dat aucubine en verbascoside aanwezig in de smalle weegbree, de NH₃-productie in de pens verlagen (Navarette et al., 2016).

- N-concentratie in de urine

Dit is een logisch gevolg van minder N-excretie via de urine op zich, maar ook omdat meer water wordt opgenomen door de dieren die smalle weegbree vreten. Smalle weegbree heeft een lager drogestofgehalte dan raaigras, maar de totale opname aan drogestof is voor een rantsoen op basis van smalle weegbree gelijk aan dat voor een rantsoen op basis van raaigras (Cheng et al., 2017; O'Connell et al., 2016). Een lagere concentratie van N in de urine betekent een betere verdeling over de oppervlakte en minder kans op nitraatuitspoeling. Er zouden wel duidelijk verschillen in effect zijn tussen rassen van smalle weegbree (Judson et al., 2018).

- Aanwezigheid van biologische nitrificatieremmers in de urine

Uit onderzoek van Judson et al. (2018) bleek dat bij schapen gevoederd met raaigras, 21 dagen na terechtkomen van urine op de bodem, reeds 50% van de N was omgezet in nitraat. Voor schapen gevoederd met smalle weegbree was dit slechts 25%.

- Biologische nitrificatieremmers in de zode

Verhagen et al. (1995) observeerden een 200-voudige tragere nitrificatie door nitrificatiebacteriën wanneer ammoniumhoudende meststof werd toegevoegd aan een bodem met smalle weegbree, dan aan een bodem met raaigras. Carlton et al. (2018) observeerden minder aanwezigheid van ammoniumoxiderende bacteriën in bodems waar smalle weegbree voorkwam. Mogelijk speelt de inhibitie door aucubine hier.

De vraag blijft echter hoe we hiermee aan de slag kunnen in onze Vlaamse rundveehouderij. Begrazing vormt een steeds kleiner wordend aandeel van het rantsoen bij melkvee en minder uitgesproken ook bij vleesvee. Er wordt dus meer en meer met een total mixed ratio (TMR) gewerkt, waar gras slechts een beperkt onderdeel van is, en meestal ook onder de vorm van kuilgras. Bovendien zal het aandeel smalle weegbree in de zode van het gras ook nog eens beperkt zijn. De vraag rijst dus of het kleine aandeel smalle weegbree dat via kuilproces aan de koe wordt geleverd nog van enige betekenis is om de N-verliezen te beïnvloeden. Het is momenteel niet duidelijk hoe groot het aandeel smalle weegbree juist moet zijn en of het kuilproces de werkingsmechanismen beïnvloed. In systemen waar begrazing toch nog een aanzienlijk deel van de voederopname blijft is er vermoedelijk wel een positief effect te verwachten, maar opnieuw afhankelijk van het aandeel smalle weegbree in het totaalrantsoen. Het 4^e werkingsmechanisme, nl biologische nitrificatieremming door de plant zelf in de zode kan los van het voedersysteem wel nog steeds plaatsvinden. Samengevat moeten verwachtingen mogelijk getemperd worden, maar is wel onderzoek nodig om dit verder te bekijken in de Vlaamse situatie.

KADER: Implementatie in de regelgeving van rantsoentechnieken om N-verliezen te beperken

Maatregelen ter reductie van de N-excretie en N-emissie kunnen vanuit de landbouwer geïnitieerd worden omdat ze als een bijkomend positief effect worden gezien van een verhoogde eiwit efficiëntie. Deze maatregelen dragen soms een prijskaartje en soms worden ze ook niet genomen of minder effectief uitgevoerd vanuit het oogpunt van een zekere veiligheidsmarge. Zo zal de veehouder opteren voor een rantsoen met hoger RE-gehalte en/of OEB-gehalte zodat zeker geen eiwitgebrek (of N-gebrek) ontstaat in de pens. Er zijn meerdere methoden hoe de overheid de veehouder rantsoenmaatregelen zou kunnen opleggen of de veehouder kunnen controleren. Ze hebben echter allen een aantal belangrijke nadelen:

- Opgelegde beperking van RE-gehalte van krachtvoer.

Dit is de regelgeving die men in Nederland in het voorjaar van 2020 koos, maar reeds afgevoerd werd in augustus 2020 voor hij van toepassing werd. Berekeningen gaven aan dat de N-winst klein zou zijn terwijl de haalbaarheid sterk in twijfel werd getrokken (van Dijk, 2020). Nederland stelde maximale waarden in voor het RE-gehalte van aangekochte rundveevoeders. Dit gaat echter volledig voorbij aan de eiwitwaardering in DVE en OEB. Uit berekeningen van het Schothorst Feed Research Institute blijkt dat bedrijven met 100% grassilage als ruwvoer hier wel mee aan de slag konden. Bedrijven met een groot aandeel maïssilage –wat ook in Vlaanderen veelal het geval is– zouden afhankelijk van de kwaliteit van het gras wel negatieve effecten ondervonden hebben onder de vorm van lagere melkproductie, verdringing van ruwvoer door krachtvoer, toename in voerkosten en vervetting aan het einde van de lactatie en tijdens de droogstand met negatieve gevolgen op gezondheid, vruchtbaarheid en duurzaamheid (Anoniem, 2020). Hoewel er marge is op de hoeveelheid eiwit die er nu gevoerd wordt, had deze regeling de veiligheidsmarge weggenomen. Indien deze regeling er was gekomen, had dit sterk gestimuleerd om meer in te zetten op kwalitatief gras dat veel DVE en minder OEB bevat (Wilgenhof, 2020).

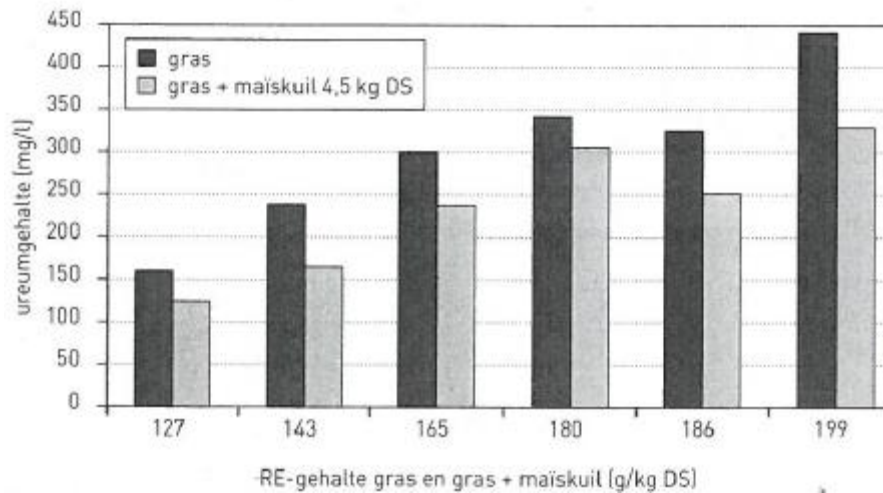
- Melkureumgehalte als wettelijke basis om het rantsoen te sturen.

Zoals eerder vermeld zal NH_3 die door de penswand wordt opgenomen, omgezet worden in ureum en via de urine en melk worden uitgescheiden. Hoe meer N in de urine, hoe meer kans op NH_3 -emissie door ureumafbraak in de drijfmest in de mestkelder. Er is dus een onrechtstreeks verband tussen het ureumgehalte van de melk en de NH_3 -emissies uit de stal. Onderzoek toont inderdaad ook een sterke correlatie aan tussen de NH_3 -emissie uit de stal en het ureumgehalte in de tankmelk ($r^2=0.88$) (De Brabander et al., 2012). Ook Spek et al. (2013) vond een positieve correlatie tussen de concentratie van het melkureum stikstof en de urine stikstof (Spek et al., 2013). Er is verder ook een duidelijk verband tussen het RE-gehalte van het rantsoen en het melkureumgehalte. Het ureum-gehalte wordt vooral positief beïnvloed door de OEB, maar in mindere mate ook door DVE. Het melkureumgehalte blijkt bovendien ook een waardevolle verklikker van het eiwitgehalte van het gras tijdens de weidegang. In die zin zou theoretisch het melkureumgehalte kunnen gehanteerd worden als een onrechtstreekse controle op het (teveel aan) RE in het rantsoen. Toch kan het ureumgehalte hiervoor niet gebruikt worden en dit om meerdere redenen:

- N-balans proeven hebben aangetoond dat bij een aanzienlijk deel van de urine stikstof (28%) niet verklaard kan worden door het melkureumgehalte. Er zit dus een belangrijke foutenmarge op het model.
- Uit onderzoek van Spek et al. (2013) en van Vuuren et al. (1993) bleek dat o.a. de opname van zout of drinkwater, het RE-gehalte in het rantsoen en het lichaamsgewicht van de koeien factoren zijn die de relatie tussen het melkureumgehalte en het gehalte aan urine stikstof en urine ureum stikstof kunnen beïnvloeden. Ook De Campeneere et al (2006) toonden aan dat zout, maar ook het type ruwvoeder een invloed hebben op de N-uitstoot bij eenzelfde melkureumgehalte. Rantsoenen met eenzelfde VEM,



DVE en OEB, kunnen het melkureumgehalte toch anders beïnvloeden als de maïs/gras-verhouding anders ligt. In Figuur 141 is goed te zien dat er een verband is tussen het RE van het ruwvoer (X-as) en het melkureumgehalte (Y-as) bij zowel gras als gras + maïs als ruwvoeder. Maar het verband voor gras (donker grijze balkjes) ligt anders dan voor gras/maïs (lichtgrijze balkjes).



Figuur 141 Het melkureumgehalte in functie van het ruw eiwitgehalte van gras met of zonder maïskuil (bron: De Brabander, 2012).

Het melkureumgehalte kan niet gebruikt worden om bedrijven te belonen of te bestraffen. Een controlesysteem op basis van het melkureumgehalte is niet sluitend genoeg. Bovendien kan het gemanipuleerd worden door andere voedermiddelen te gebruiken, zonder de eiwitaanvoer te verlagen.

- In principe kan de veehouder ook bijgestaan worden in zijn volledige rantsoenberekening door bv. door de overheid erkende adviseurs om zo met de N-emissie indachtig, efficiënter te gaan voederen met de voedermiddelen die de veehouder ter beschikking heeft. Al is het maar de vraag in welke mate dit haalbaar en controleerbaar is.

KADER: P-verliezen in de rundveehouderij beperken via het rantsoen

De studie van Curial et al. (2018) stelde op basis van literatuur ook enkele maatregelen voor ter reductie van P-excretie door een gewijzigd rantsoen (zie Tabel 75). Het effect op de P-excretie voor zoogkoeien moet anders ingeschat worden dan bij melkkoeien omdat er nu éénmaal een ander rantsoen moet samengesteld worden.

Tabel 75 Mogelijke maatregelen ter reductie van de P-excretie door melkkoeien (boven) en zoogkoeien (onder) in Vlaanderen (Bron: Curial et al., 2018).

Omschrijving	Reductie excretie (%)	Status	V	I	A	D
R9 Gras minder fosfaatrijk bemesten	2 tot 3	Praktijkrijp	=	=	=	=
R10 Gebruik van P-arme voedermiddelen	4 tot 6	Praktijkrijp In uitvoering	↑	=	=	=
R11 Krachtvoer met P-arme grondstoffen en mineralenkern	5 tot 27	Praktijkrijp	=↑ ¹	=	=	=

V, Voederprijs; I, Infrastructuurkosten; A, Arbeidskosten; D, Dierprestaties; ↑, Stijging; ↓, Daling; =, Geen effect
¹Situatieafhankelijk

VOEDERMIDDELEN

Omschrijving	Reductie P ₂ O ₅ -excretie (%)	Status	V	I	A	D	Neveneffect(en)
R9 Gras minder fosfaatrijk bemesten	8%	Praktijkrijp	=	=	=	=	Meer mestafzet
R10 Het gebruik van P-arme voedermiddelen	6%	Praktijkrijp/ in uitvoering	↑	=	=	=	Lage structuurwaarde
R11 Reduceren P-gehalte mineralenkern	3 tot 10	Praktijkrijp	=↑	=	=	=	Geen

Maatregelen op vlak van voedermiddelen (R9-11) zijn weergegeven. (V) Voederprijs; (I) Infrastructuurkosten; (A) Arbeidskosten; (D) Dierprestaties; ↑ Stijging; ↓ Daling; = Geen effect.

Men kan het P-gehalte van gras verlagen door de P-bemesting van grasland te verlagen. Aangezien in de huidige bedrijfsvoering de P-bemesting bijna uitsluitend uit dierlijke mest afkomstig is, kan er vooral succes geboekt worden door het P-gehalte van de mest te verlagen. Dit lijkt een cirkelredenering, maar eigenlijk komt het er op neer dat de P-recirculatie in voeder-dier systeem moet gemaximaliseerd worden en dat P-aanvoer van buiten het bedrijf moet geminimaliseerd worden. Dit kan door een deel van het voer te vervangen door P-arme voeders zoals bv. een deel van de graskuil te vervangen door perspulp of door het gebruik van eiwitcorrectors en mineralenkern die een lager P-gehalte hebben. Het aanwenden van P-arme voeder zoals perspulp is beperkt tot wat mogelijk is binnen de rantsoenberekening en de hoeveelheid van dat voeder dat beschikbaar is aan een aanvaardbare prijs die rentabiliteit blijft garanderen. Over het algemeen bevatten de rundveerantsoenen meer dan voldoende P, en is het kiezen voor een P-arme eiwitcorrector of mineralenkern te prefereren, in zoverre dat deze natuurlijk beschikbaar en betaalbaar is.



17.4.4 Invloed van het veranderende klimaat op het rantsoen en de innovaties

In de vorige paragrafen gingen we uit van een aangepast rantsoen, zonder verdere implicaties in rekening te brengen. Dit is echter niet correct.

- Door een veranderend klimaat zal immers het gedrag van de dieren en het dierenwelzijn worden beïnvloed. Meer hittestress kan een lagere of minder efficiënte productie of ook een minder stabiele productie betekenen.
- Indien rantsoenen worden aangepast zullen er ook wijzigingen in het areaal van de voederteelten volgen, die op hun beurt een invloed kunnen hebben op N-verliezen.
- Door een gewijzigd klimaat zullen mogelijk ook andere teeltkeuzes worden gemaakt, om voldoende productie van ruwvoer te garanderen. Een mogelijkheid is eveneens dat veehouders mogelijks afstappen van enkel Engels of Italiaans raaigras en kuilmaïs als ruwvoer, om via de teelt van meerdere ruwvoedergewassen, meer garanties te hebben op voldoende ruwvoer als weersomstandigheden de opbrengsten en kwaliteit van de ruwvoergewassen in het gedrang brengen. Zo neemt de interesse toe in o.a. veldbonen, bieten, kruidenrijke grasmengsels (met diepwortelende kruiden), luzerne, voederbieten, hakselgranen, sorghum, mengteelten. Deze teelten beslaan een zeer beperkt areaal, maar het experimenteren vandaag kan helpen in het telen van een aanzienlijk aandeel van het ruwvoer vanuit deze nieuwe teelten. Hieronder geven we enkele voorbeelden van wat de implicaties zouden kunnen zijn. We baseren ons hiervoor op de signalen die door melk- en vleesveehouders worden gegeven in het kader van de werking van het Landbouwcentrum Voedergewassen (LCV vzw).

17.4.4.1 Voederbiet of perspulp?

Perspulp werd een aantal keer aangehaald als een interessant product met negatieve OEB om de OEB van het totaalvoer naar beneden te brengen. Doordat de rendabiliteit van suikerbieten daalt, daalt ook de interesse in suikerbieten bij akkerbouwers. Dit maakt dat pulp op termijn misschien minder ter beschikking zal zijn. Voederbieten vormen een goed alternatief, maar vragen veel arbeidsuren. Bovendien kunnen veel problemen optreden met *Rhizoctonia* wortelrot in rotaties die veel gras en maïs bevatten. Voederbieten vers bewaren is ook minder gemakkelijk en impliceert dat het slechts een bepaalde periode van het jaar kan gevoerd worden. Voederbieten versnijden en samen met maïs inkuilen lukt goed, maar dan moet de oogst van beide teelten goed op elkaar afgestemd worden, wat niet altijd mogelijk is, zowel organisatorisch als teelttechnisch (kuilmaïs wordt normaal eind september-begin oktober geoogst, voederbieten half oktober-half november). Bieten hebben echter nog voordelen wat betreft N-verliezen. Ze wortelen diep en nemen heel efficiënt N op uit het volledige profiel tot laat in het najaar. Er is dus weinig nitraatresidu. Al moet wel de kanttekening gemaakt worden dat het verhakseld bietenloof heel snel verteert en alsnog voor aanzienlijke nitraatresidus en/of –uitspoeling tijdens de winter kan zorgen. Bieten zijn ook een aantrekkelijk gewas bij droogte, precies door hun diepe wortels. Bij extreme droogte kan het bladapparaat zelfs afsterven en opnieuw groeien (van der Schans, 1998) en –mits verlies van groeidagen- na de droogte en in het najaar een stuk van het opbrengstverlies goedmaken.

17.4.4.2 Luzerne en andere vlinderbloemigen

Luzerne wint aan interesse, ook omwille van zijn diepe wortels en sterke droogtetolerantie. Het is denkbaar dat bij aanhoudende droge zomers, er meer areaal luzerne komt. Luzerne bevat echter zoals eerder aangehaald hoge gehalten van onbestendig eiwit en zorgt voor veel N-excretie via de urine. Rode klaver scoort beter op dit gebied en heeft dankzij zijn penwortel ook een sterke droogtetolerantie. Het is ook belangrijk te melden dat rode klaver minder eisen stelt aan de bodem dan luzerne. Luzerne heeft wel een zekere nitraatopname uit de diepe lagen van het bodemprofiel en kan dus zo de nitraatuitspoeling gedeeltelijk ondervangen (zie 17.1 innovatie

‘vlinderbloemigen’). Luzerne is verder voor de Vlaamse landbouwer een typisch maaigewas en wordt veel gebruikt bij opgestalde dieren. Mogelijk leidt meer areaal luzerne dus tot minder nitraatverlies en net meer NH₃-emissie.

17.4.4.3 Rietzwenkgras en kruidenrijk grasland

Reeds decennialang zijn Italiaans raaigras en Engels raaigras de referentie voor gras in de rundveehouderij, vooral omwille van de voederwaarde gecombineerd met een sterke reactie op N-bemesting. Bij droogte doen deze grassen het echter slecht. Rietzwenkgras is een gras dat de laatste 2 decennia meer en meer aandacht krijgt en meer veredelingsactiviteit kent. Hoewel de voederwaarde lager is, zou de pensprik⁵ gestimuleerde herkauwactiviteit dit moeten goedmaken en tot dezelfde dierprestaties leiden als raaigrassen. Dit zal via voederproeven in het KLIMGRAS VLAIO onderzoeksproject worden bekeken. Het grote voordeel van rietzwenkgras is zijn hogere productie en droogtetolerantie. Bovendien is het gewas uitstekend combineerbaar met klaver. Hoewel kruidenrijk grasland in de eerste plaats misschien een stukje wordt gezien als manier om de biodiversiteit op het bedrijf te laten toenemen, kunnen de kruiden ook zorgen voor meer droogtetolerantie. Verder zijn er mogelijk ook positieve effecten op NH₃- en CH₄-emissies van tannines in planten zoals esparcette en rolklaver die ook als ‘vlinderbloemige kruiden’ kunnen toegevoegd worden en van smalle weegbree (zie eerder). De vraag is wel, in welke verhouding de kruiden moeten aanwezig zijn en in welke verhouding de begrazing of graskuil in het rantsoen moet aanwezig zijn om enig effect te hebben op dier- en kuddeniveau.

17.4.4.4 Meer kuilmaïs en minder graskuil

In verschillende van de bovengenoemde maatregelen wordt voorgesteld om meer kuilmaïs te voederen en minder graskuil om zo minder NH₃-emissie te bekomen. Kuilmaïs stopt echter met N-opname in de periode van bloei (augustus), terwijl de mineralisatie doorgaat. Omdat kuilmaïs dikwijls met dierlijke mest wordt bemest of na meerjarig gras wordt geteeld, kan de mineralisatie in de nazomer en het najaar nog aanzienlijk zijn, met een hoger nitraatresidu tot gevolg dan bij gras dat wel nog N blijft opnemen. Kuilmaïs kan ook meer schade vertonen bij droogte en hitte, waardoor niet alleen opbrengsten en voederwaarde lager zijn, maar ook het nitraatresidu toeneemt. Al kan ook gras met droogteschade wel een hogere nitraatresidu vertonen en sneller ‘versleten’ zijn. Over het algemeen is droogteschade bij gras beperkter omdat de eerste twee snedes de belangrijkste zijn en meestal weinig beïnvloed worden door de droogte.

17.4.4.5 Strijd tegen de droogte

Veel rundveebedrijven hebben in de voorbije 4 jaren te kampen gehad met droogteproblemen in veel teelten. In de strijd tegen droogte lijkt diversifiëren in teelten om risico te spreiden vaak verkozen te worden. Er komt meer interesse in droogtetolerante teelten zoals luzerne, rode klaver, rietzwenkgras, kruidenrijk grasland, maar ook in hakselgranen (van der Schans 1998 en Nijssen en Schreuder, 1998) en andere klaversoorten (zie innovatie ‘vlinderbloemigen’). Het feit dat deze nieuwe teelten worden opgenomen biedt opportuniteiten om weer meer vruchtwisseling te hebben, de bodemkwaliteit te verbeteren en eventueel ook gewassen te telen met minder nitraatresiduproblemen.

17.4.4.6 Opstallen en Total mixed ration (TMR)

Veel van de hierboven genomen maatregelen streven naar meer controle over het rantsoen en de dieren. Dit in combinatie met een groeiende veestapel betekent dat permanent opstallen

⁵ Vezels in het voeder schuren langs de penswand (‘pens prikkelen’) en kunnen zo de absorptie van vetzuren ondersteunen.



aantrekkelijker zal worden. Enerzijds zal er minder NH₃-emissie zijn door een aangepast rantsoen, anderzijds is het voordeel van gescheiden urine en vaste mest op de weide (en dus minder NH₃-emissie) weg. In feite pleit dit ervoor om eens volledige systemen van rundveehouderij door te rekenen op vlak van N-verliezen in plaats van enkel deelaspecten. Voor enterische emissies wordt via het KLIMREK VLAIO onderzoekstraject een inschatting gegeven van volledige melkveebedrijven dankzij de klimaatscan (www.klimrekproject.be).

Momenteel zijn ook meerdere onderzoeksprojecten lopende die een beter inzicht moeten bieden in de mogelijkheden op korte en lange termijn:

- PROTECOW: Een Interreg-project Vlaanderen-Wallonië-Frankrijk (partners ILVO, Inagro, CRA-w, Institut de l'élevage idèle, Avenir conseil élevage) waarbij gezocht wordt naar verhoging van de rentabiliteit van de melkveesector door het verhogen van de voederefficiëntie. Een van de uitkomsten waren praktische fiches waarbij aangegeven werd in welke mate men sojaschroot kan vervangen door producten zoals koolzaadschroot en getoaste veldbonen en wat het effect op de rentabiliteit is. Meer informatie op <https://www.interreg-protecow.eu/>
- EKOPTI is een VLAIO-traject lopende van 2020 tot 2024. Er wordt gemikt op het efficiënter benutten van het voedereiwit door rundvee. Concrete focus op het verbeteren van de eiwitkwaliteit van zelf geteelde voeders, het ontwikkelen van eiwitbesparende voederstrategieën via precisievoeding en het verbeteren van de voederefficiëntie en eiwitbenutting door optimalisatie van de penswerking. Er wordt ook onderzocht hoe op een economische manier de stikstof en fosforexcreties en –emissies naar het milieu kunnen beperken. Twee speerpunten van het project zijn het optimaliseren van de ruwvoederkwaliteit en eiwitbesparing realiseren door precisievoeding. Informatie van dit project zal op termijn beschikbaar komen via de partners ILVO en Inagro.
- KLIMGRAS is eveneens een VLAIO-traject lopende van 2020 tot 2024 dat handelt over het graslandgebruik bij een wijzigend klimaat. Het is een samenwerking tussen ILVO en Ugent. Het project vertrekt vanuit de idee dat bij een wijzigend klimaat, andere grassoorten zoals rietzwenkgras mogelijk zullen verkozen worden boven Engels en Italiaans raaigras. Er is echter noodzaak aan praktijkproeven en voederproeven om met dit rietzwenkgras om te gaan in het rantsoen en de juiste voederwaarde in te schatten. Informatie van dit project zal op termijn beschikbaar komen via de partners ILVO en Ugent.
- Demonstratieprojecten departement Landbouw en Visserij. Ook bij de demonstratieprojecten werd het thema rantsoen in wijzigende klimaatomstandigheden al aangehaald. Zo was er bv. het 'KOE' project, Klimaatvriendelijke Ommekeer met Eigen voer waarin o.a. voederproeven aan bod kwamen waarbij gras werd vervangen door gras/klaver, perspulp door voederbieten en krachtvoer door eigen geteelde granen. Ook praktijkproeven met rietzwenkgras, gras/klaver en mengteelten met veldbonen kwamen aan bod (partners LCV, ILVO, Hogent, Ugent, Inagro, Provincie Antwerpen). Meer info via www.lcvvzw.be. Ook bij de oproep voor demonstratieprojecten 2020 zal eiwit een thema zijn, namelijk thema 2: Alternatieve (eiwit)teelten / voederrantsoenen in functie van hogere eiwitautonomie

Deze lijst is uiteraard niet limitatief en er worden ook heel wat andere nationale en internationale initiatieven genomen om klimaatgerelateerd teelt- en voedertechisch onderzoek uit te voeren. In de nabije toekomst verwachten we dan ook heel wat nuttige onderzoeksresultaten, al dan niet direct inzetbaar in de rundveehouderij. Tot dusver werd er in de rundveehouderij veel onderzoek verricht naar optimalisatie van de rantsoenen om de eiwittefficiëntie te verhogen om via deze weg de rentabiliteit te verhogen en om de N-emissies te reduceren. Hoewel het effect van rantsoenen op enterische emissies (vooral CH₄ en CO₂) ook onderwerp van onderzoek is, werd de connectie tussen beide in het verleden minder gelegd (Nico Peiren, ILVO Dier, pers. Communicatie, 2020). Nochtans kan een gewijzigd rantsoen om N-emissies te verlagen ook leiden tot een wijziging in de methaanemissies.

Indien eiwitrijke grondstoffen in het rantsoen vervangen wordt door zetmeel en goed verteerbare grondstoffen worden, wordt ook minder methaanuitstoot verwacht. Indien echter meer vezelrijke grondstoffen worden gebruikt, zal de methaanemissie net toenemen (Dijkstra et al., 2011). In onderzoeksprojecten zoals EKOPTI zal het gewijzigd rantsoen met doel de eiwit efficiëntie te verbeteren, ook kijken naar effecten van het gewijzigd rantsoen op de enterische emissies door de koe.



KADER: Verstreckende gevolgen van de reductie van gras ruwvoer?

In bovenstaande tekst kwam meerdere malen aan bod om N-emissies te beperken door het reduceren van de gras of grasopname door koeien. Dit kan echter een slechte zaak zijn voor bodemkwaliteit, N-verliezen door uitspoeling en zelfs het klimaat op lange termijn. Op vandaag staat het graslandareaal reeds sterk onder druk. De financiële waarde van grasland is lager dan deze van akkerland. Veel landbouwers komen door wijzigingen in het management of door het stoppen van de rundveetak ook voor de situatie te staan dat er grasland aanwezig is op het bedrijf dat niet kan gebruikt worden. De druk om grasland te gaan omzetten in akkerland is daardoor groot. Als de rantsoenen, minder gras zullen bevatten, zal deze druk alleen maar toenemen. Grasland doet het enerzijds goed op vlak van N-verliezen naar het grondwater toe, omdat het heel efficiënt de bemesting opneemt. Anderzijds is grasland wel de sterkst bemeste teelt. Het hoge kunstmestgebruik heeft zijn weerslag op zowel broeikasgasemissies als de N-emissies. Een reductie van de N-bemesting door inpassen van vlinderbloemigen kan wel, maar niet ieder graslandperceel is geschikt om vlinderbloemigen te introduceren. Een reductie van tijdelijk grasland zou betekenen dat de voordelen van wisselbouw verdwijnen en dat ook de strategie van wisselbouw om bodemorganische koolstof op te bouwen in akkerland wegvalt. Blijvend grasland omploegen betekent dat heel wat koolstof zou geëmitteerd worden. Dit is niet alleen een slechte zaak voor het klimaat, maar ook voor de bodemkwaliteit. Bovendien zijn heel wat blijvende graslanden historisch grasland geworden omdat ze minder geschikt zijn voor akkerland (bv. te nat). Op deze percelen toch kiezen voor akkervruchten betekent mogelijk een suboptimale productie met dus minder productie per eenheid input. Ook zal het omgeploegde graslanden –afhankelijk van de akkervrucht- ook meer N-uitspoeling in de hand werken dan het oorspronkelijke grasland. Het is duidelijk dat het reduceren van de noodzaak aan gras ruwvoeder heel wat andere acties kan remmen of stimuleren. Veel facetten kunnen relatief gemakkelijk in kaart gebracht worden, maar moeten dringend samen in één schema of LCA-analyse worden samengelegd, zodat er meer inzicht is in de verstreckende gevolgen die er kunnen zijn.

17.4.5 Conclusies

De rundveehouderij kan via de rantsoenen nog heel wat stappen maken om nutriëntenverliezen te beperken. Deze innovatieve maatregelen staan op zichzelf los van een veranderend klimaat, maar een veranderend klimaat betekent dat het diermanagement mogelijk zal wijzigen, waardoor een maatregel meer of minder haalbaar wordt en meer of minder vruchten afwerpt. Zowel het veranderende klimaat als de keuze voor een bepaalde maatregel kan ook het teeltplan en de kwaliteit van voeders beïnvloeden. Er moet ook op gewezen worden dat onderzoek naar rantsoenmaatregelen ter reductie van de N-verliezen uit de veehouderij pas in tweede instantie of helemaal niet keek naar het effect op enterische emissies. Wat nochtans zeer belangrijk is voor de klimaatmitigatie. Het is echter wel zo dat heel wat nieuwe onderzoeksinitiatieven zijn gestart –ook in Vlaanderen- om effecten van rantsoen op enterische emissies te bekijken.

Een aantal innovatieve maatregelen om N-verliezen via het rantsoen aan te pakken zijn praktijkrijp, een aantal andere zijn veelbelovend maar nog in onderzoeksfase. We geven hieronder een grove inschatting voor de technieken die we terugvonden in de literatuur. Men moet er zich echter van bewust zijn dat de meeste van deze maatregelen werken op het verhogen van de eiwit- of N-gebruiksefficiëntie door het dier, wat uiteraard zijn fysiologische grenzen heeft.

Naast het onderzoek in de verschillende deelaspecten is er ook noodzaak aan een volledige doorrekening van veehouderijsystemen in al zijn complexiteit i.p.v. alleen de deelaspecten. Het sleutelen aan één onderdeel van het systeem heeft duidelijk gevolgen voor andere onderdelen. Het meer opstallen van dieren kan bv. helpen om grasopname te beperken en een meer gebalanceerd rantsoen te voederen. Het opstallen heeft echter ook als effect dat ook emissies in het veld en bodem wijzigen, en dat faeces en urine niet gescheiden worden zoals op de weide. Een ander rantsoen, betekent dat ook aan de gewasverhoudingen wordt gesleuteld, wat op zich de noodzaak aan productie aan gewassen verandert en op zich ook weer emissies en uitspoeling van nutriënten beïnvloed. Voor de klimaatimpact –dus los van de nutriëntenverliezen- worden momenteel LCA-analyses (life cycle analysis) uitgevoerd op melkveebedrijven in het kader van het KLIMREK VLAIO-LA-traject (<https://www.klimreproject.be/>). Deze geven een volledig beeld van alle aspecten van het bedrijf en de bedrijfsvoering. Momenteel wordt met pilootbedrijven gewerkt. Later zal opgeschaald worden om deze analyse voor alle melkveebedrijven te doen, maar ook voor varkenshouderij en akkerbouw met aardappelen.



1. Bijdrage tot de beperking van nutriëntenemissies

<u>Technieken:</u> ⁶	<u>Toelichting:</u>
Reductie RE-gehalte rantsoen	Rantsoen zo samenstellen dat het minder ruw eiwit bevat doet de N-excretie van het dier dalen. Minder N in de mest (faeces + urine) doet de potentiële NH ₃ -emissie dalen.
Pensbestendige aminozuren	Door het voeren van deze aminozuren die in gebrek zijn in het rantsoen, wordt de overmaat aan andere aminozuren niet meer afgebroken en komen ze niet in de mest terecht, maar worden ze ook opgenomen door het dier. Dit betekent dat een verdere reductie van ruw eiwit in het rantsoen mogelijk is.
Reductie OEB-gehalte rantsoen	Omwille van onnauwkeurige schatting van OEB en dagschommelingen in OEB, wordt een overmaat aan OEB gevoerd. Deze overmaat reduceren leidt tot minder N in de mest (faeces + urine) doet de potentiële NH ₃ -emissie dalen. Dit kan bereikt worden door het rantsoen anders samen te stellen.
Nauwkeuriger voeren naar DVE-behoefte Dieren groeperen naar behoefte	Door nauwkeuriger te voeren naar de behoefte van het dier, wordt eiwit efficiënter ingezet. Door dieren samen te zetten op productieniveau of krachtvoer individueel te verdelen volgens de productie, kan het rantsoen veel juister worden samengesteld en is er minder eiwitoverschot over de hele kudde heen. Dit betekent minder N in de mest (faeces + urine) doet de potentiële NH ₃ -emissie dalen. Een nauwkeuriger voeren gebeurt best ook op basis van de eiwitwaardering (DVE/OEB) en niet louter op ruw eiwit.
Grasopname beperken	Laagproductieve koeien nemen in verhouding tot hun productie veel eiwitrijk gras op, waardoor veel N in de mest terecht komt. Toegang tot gras/grazen beperken van deze koeien kan de N-excretie doen dalen en doet dus ook de potentiële NH ₃ -emissie dalen.
Bijvoeren van maïs op de weide	Grazende koeien nemen tijdens het grazen veel eiwit op in verhouding tot energie. Het bijvoeren van maïs op de weide, kan de energie op peil brengen en inefficiënt eiwitverbruik beperken. Hierdoor daalt de N-excretie en tevens de potentiële NH ₃ -emissie.
Essentiële oliën	Bepaalde oliën stimuleren de N-efficiëntie van de koe door inwerking op het microbiële leven in pens en darm.
Tannines	Tannines in het ruwvoer of als voederadditief doen de NH ₃ -productie in de pens dalen, waardoor minder N in de urine terechtkomt met een lagere potentiële NH ₃ -emissie als gevolg.

⁶ 'Wateropname' werd niet opgenomen als techniek. Het onderzoek leert dat het voer kan bepalend zijn voor de wateropname en dat meer wateropname gelijk staat aan een verdunning van de urine. Dit is eerder louter een vaststelling en geen techniek.



Andere voederteelten (vlinderbloemigen, kruiden, andere grassen, bieten...)	Wanneer een rantsoen wordt gewijzigd (technieken hierboven) of wanneer een andere voederteelt interessanter wordt door wijzigende omgevingsomstandigheden, heeft dit ook weerslag op de N-verliezen, zowel via uitspoeling als via emissies. Dit is teeltafhankelijk en kan zowel positief als negatief zijn. Meer kuilmaïs en voederbieten leiden respectievelijk tot meer en tot minder N-uitspoeling. Voor gewassen zoals kruidenrijk grasland met bv. weegbree is dit nog niet voldoende uitgeklaard in de praktijk.
--	--

2. Bijdrage tot klimaatmitigatie

<u>Technieken:⁷</u>	<u>Toelichting:</u>
Reductie RE-gehalte rantsoen	Indien de verlaging van het ruw eiwitgehalte van het rantsoen wordt bewerkstelligd via een gereduceerde N-bemesting van bv. grasland, zullen ook minder fossiele brandstoffen nodig zijn voor de productie van kunstmest.
Pensbestendige aminozuren	Geen rechtsreeks verband
Reductie OEB-gehalte rantsoen	Het rantsoen anders samenstellen zal effect hebben op de enterische emissies door de koe. In welke richting dit evolueert hangt af van de voedersamenstelling, maar verwacht wordt dat meer vezelrijk gelijk staat met meer methaanemissie en meer energierijk gelijkstaat met minder methaanemissie. Het is ook zo dat het rantsoen anders samenstellen, mogelijk een wijziging teweeg brengt in de aanvoer van krachtvoerders die een andere impact hebben op het klimaat bij hun productie.
Nauwkeuriger voeren naar DVE-behoefte Dieren groeperen naar behoefte	Het rantsoen anders samenstellen zal effect hebben op de enterische emissies door de koe. In welke richting dit evolueert hangt af van de voedersamenstelling (zie hierboven).
Grasopname beperken	Verlaagt vermoedelijk de enterische emissies, onderzoek nog lopende bij ILVO-Dier
Bijvoeren van maïs op de weide	Verlaagt vermoedelijk de enterische emissies
Essentiële oliën	Momenteel niet duidelijk wat de invloed is op de enterische emissies
Tannines als additief/ tanninehoudende gewassen	Tannines verlagen de enterische emissies, maar onderzoek nog lopende met tannine additieven evenals effecten van voedergewassen die tannines bevatten
Andere voederteelten (vlinderbloemigen, kruiden, andere grassen, bieten...)	Teeltafhankelijk

⁷ 'Wateropname' werd niet opgenomen als techniek. Het onderzoek leert dat het voer kan bepalend zijn voor de wateropname en dat meer wateropname gelijk staat aan een verdunning van de urine. Dit is eerder louter een vaststelling en geen techniek.



3. Technology Readiness Level-score

<u>Technieken:</u> ⁸	<u>Toelichting:</u>
Reductie RE-gehalte rantsoen	Level 9 – Productie en product volledig operationeel (kandidaat BBT) Het is bewezen en kan in de praktijk.
Pensbestendige aminozuren	Level 9 – Productie en product volledig operationeel (kandidaat BBT) Het is bewezen en kan in de praktijk.
Reductie OEB-gehalte rantsoen	Level 9 – Productie en product volledig operationeel (kandidaat BBT) Het is bewezen en kan in de praktijk.
Nauwkeuriger voeren naar DVE-behoefte Dieren groeperen naar behoefte	Level 9 – Productie en product volledig operationeel (kandidaat BBT) Het is bewezen en kan in de praktijk.
Grasopname beperken	Level 9 – Productie en product volledig operationeel (kandidaat BBT) Het is bewezen en kan in de praktijk.
Bijvoeren van maïs op de weide	Level 9 – Productie en product volledig operationeel (kandidaat BBT) Het is bewezen en kan in de praktijk.
Essentiële oliën	Level 3 – experimenteel (proof of concept)
Tannines	Level 6 – technologie gedemonstreerd buiten labo
Andere voederteelten (vlinderbloemigen, kruiden, andere grassen, bieten...)	Afhankelijk van de teelt

⁸ 'Wateropname' werd niet opgenomen als techniek. Het onderzoek leert dat het voer kan bepalend zijn voor de wateropname en dat meer wateropname gelijk staat aan een verdunning van de urine. Dit is eerder louter een vaststelling en geen techniek.

4. Knelpunten?

<u>Technieken:</u> ⁹	<u>Toelichting:</u>
Reductie RE-gehalte rantsoen	Op veel bedrijven wordt momenteel meer ruw eiwit gevoederd dan nodig, dus in theorie kan de hoeveelheid ruw eiwit zeker naar beneden. Hoeveel is echter afhankelijk van rantsoen en bedrijf. Een bedrijf kan dit individueel doen, maar regelgeving is weinig haalbaar. In 2020 voerde men in NL hieromtrent een regelgeving in, maar nam gas terug nog voor de praktische toepassing omdat er ernstige vragen waren bij de haalbaarheid van 1 regel voor alle bedrijven samen.
Pensbestendige aminozuren	Dit is een extra kost voor de (melk)veehouder, zonder dat er noodzakelijk meer productie is
Reductie OEB-gehalte rantsoen	Minder marge om meetfouten en dagschommelingen op te vangen
Nauwkeuriger voeren naar DVE-behoefte Dieren groeperen naar behoefte	Bedrijven hebben niet altijd de mogelijkheid en ruimte om dit uit te voeren
Grasopname beperken	Begrazing is op veel bedrijven reeds beperkt
Bijvoeren van maïs op de weide	Vraagt extra werk en bovendien kan de voederplek een puntvervuiling van N-uitspoeling veroorzaken
Essentiële oliën	Nog te weinig duidelijkheid
Tannines	Kost als additief geld Te hoge gehalten doen de smakelijkheid van het voer afnemen en daardoor ook de opname
Andere voederteelten (vlinderbloemigen, kruiden, andere grassen, bieten...)	Niet iedere teelt is mogelijk op ieder bedrijf. Voor sommige teelten (bv. voederbiet) is slechts een beperkt areaal mogelijk. Niet alle teelten zitten evengoed in de vingers

⁹ 'Wateropname' werd niet opgenomen als techniek. Het onderzoek leert dat het voer kan bepalend zijn voor de wateropname en dat meer wateropname gelijk staat aan een verdunding van de urine. Dit is eerder louter een vaststelling en geen techniek.

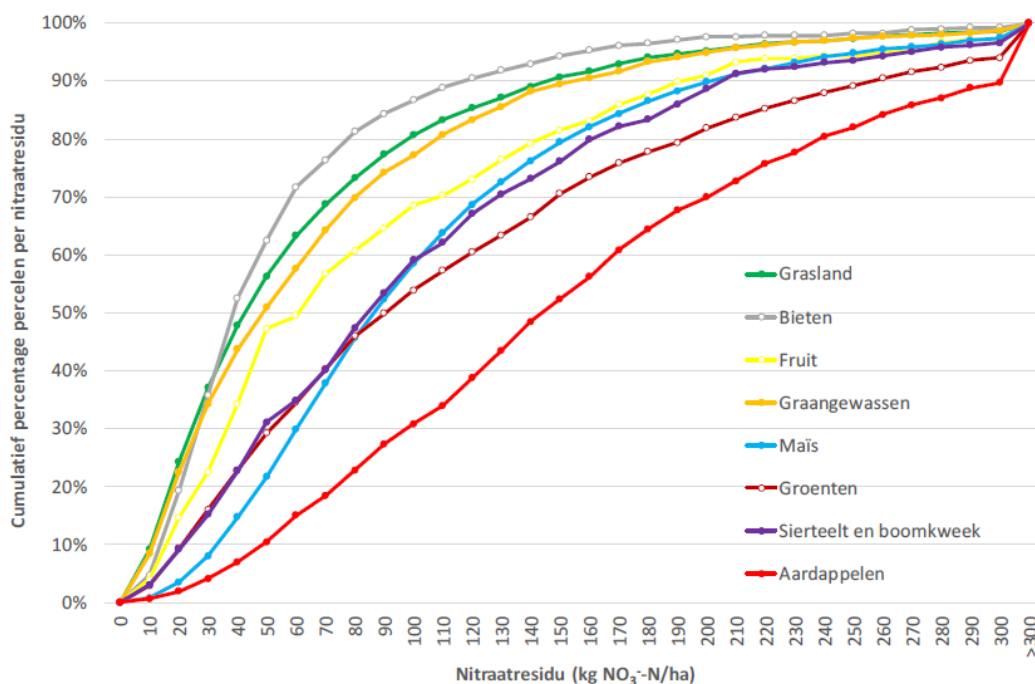


5. Kennishiaten en onderzoeksoportunities

<u>Technieken:</u> ¹⁰	<u>Toelichting:</u>
Reductie RE-gehalte rantsoen	Er zijn verschillende wijzen om het ruw eiwitgehalte te verlagen. Het effect van de verschillende wijzen op de enterische emissies van de koe zelf moet mogelijk nog verder bekeken worden.
Pensbestendige aminozuren	Momenteel kijkt men naar methionine en Lysine, zijn andere aminozuren ook relevant zijn? Wat is het effect op de enterische emissies van de koe zelf?
Reductie OEB-gehalte rantsoen	Wat is de OEB-behoefte van vleesvee op langetermijn? Wat is het effect op de enterische emissies van de koe zelf?
Nauwkeuriger voeren naar DVE-behoefte Dieren groeperen naar behoefte	Hoe kan dit praktisch aangepakt worden?
Grasopname beperken	-
Bijvoeren van maïs op de weide	-
Essentiële oliën	Welke oliën werken en welke niet? Wat is de winst naar N-emissie en wat is het effect op enterische emissies? Hoe moet men ze inzetten? Wat is de kostprijs?
Tannines	Welke voederteelten kunnen we inzetten om via het voer voldoende tannines aan te brengen? Welke tannine additieven zijn werkzaam? Wat is de winst naar N-emissie en wat is het effect op enterische emissies? Wat is de kostprijs?
Andere voederteelten (vlinderbloemigen, kruiden, andere grassen, bieten...)	Wat is het totaalplaatje van een teelt en van een aangekocht voer? (N-emissie, enterische emissie en N-uitspoeling) Alleen zo kunnen we teelten ten opzichte van elkaar afwegen Welke alternatieve teelten zijn interessant? Kloppen de resultaten uit het onderzoek nog steeds in de praktijk (bv. smalle weegbree)?

¹⁰ 'Wateropname' werd niet opgenomen als techniek. Het onderzoek leert dat het voer kan bepalend zijn voor de wateropname en dat meer wateropname gelijk staat aan een verdunning van de urine. Dit is eerder louter een vaststelling en geen techniek.

In Figuur 142 wordt de procentuele verdeling in functie van het gemeten nitraatstikstofresidu per gewasgroep in 2018 weergegeven. Het gaat hierbij om het nitraatstikstofresidu van dat deel van het profiel dat beworteld wordt door het gewas (niet noodzakelijk 0-90 cm dus). Hieruit komt zoals verwacht naar voor dat grasland, bieten en graangewassen, de groepen zijn met de laagste nitraatstikstofresidu's. Groenten en maïs, maar vooral aardappelen scoorden slecht. Bij aardappelen had grof geschat 75% van de bemonsterde percelen een nitraatstikstofresidu van >90 kg NO₃-N/ha. De groep van de groenten bevat heel wat verschillende groenten, inclusief groenten met een beperkte stikstofbemesting of groenten die weinig nitraatstikstofresidu achterlaten.



Figuur 142 Cumulatief percentage percelen dat voldoet aan een bepaald nitraatstikstofresidu per gewas, bij de stalnamecampagne van de Mestbank in 2018 (bron: VLM, 2019).

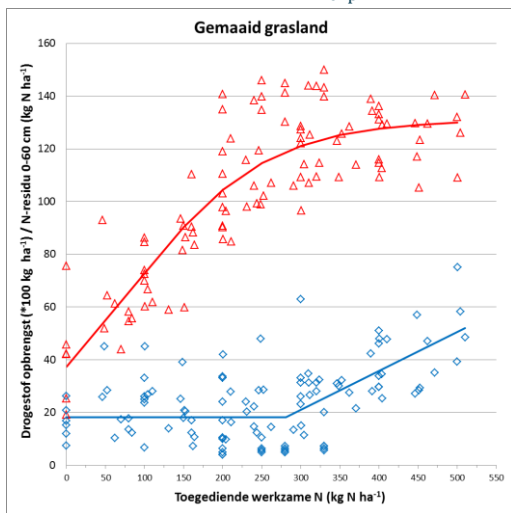
Figuur 143 geeft de relatie weer tussen gewasopbrengst en N-bemesting en tussen het nitraatstikstofresidu en de N-bemesting voor grasland, kuilmaïs, aardappelen, wintertarwe en suikerbiet op basis van de metastudie van D'Haene et al. (2014). Hieruit blijken een aantal zaken:

- De residuele N bij grasland is erg laag, maar ondanks een breekpunt rond 300 kg N/ha bemesting en een stijging in residuele N voorbij dit punt, blijft het residu laag.
- De residuele N na maïs neemt exponentieel toe met de N-bemesting. Bij een bemesting van 150 kg N/ha wordt reeds gemiddeld(!) een residuele hoeveelheid N verwacht van 60 kg N/ha.
- Bij aardappelen is de residuele N reeds vrij hoog bij lage bemesting en neemt deze toe met de bemesting. Voorbij een bemesting van 200 kg N/ha neemt deze nog veel sterker toe.

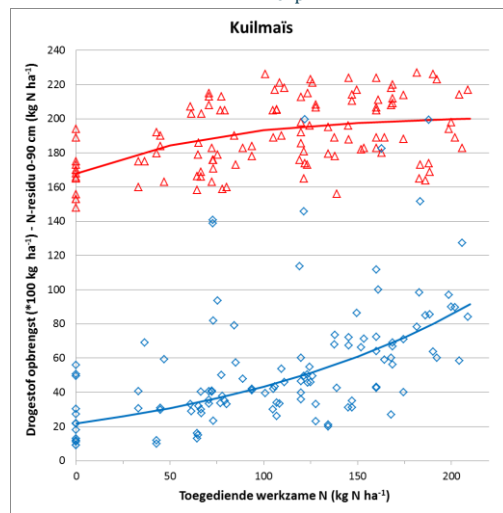
- De residuele N bij suikerbieten is laag binnen de range van de studie. Hogere N-beschikbaarheid dan deze range komen nauwelijks voor en worden vermeden omdat ze een negatief effect hebben op het suikergehalte en de extraheerbaarheid van suiker uit de bieten.
- De residuele N bij winterwe neemt toe bij stijgende N-bemesting, maar is gemiddeld gezien laag.

Het komt dus naar voor dat van de teelten met grotere arealen, aardappelen en maïs de grootste problemen kunnen geven naar residuele N en dus ook naar nitraatuitspoeling toe.

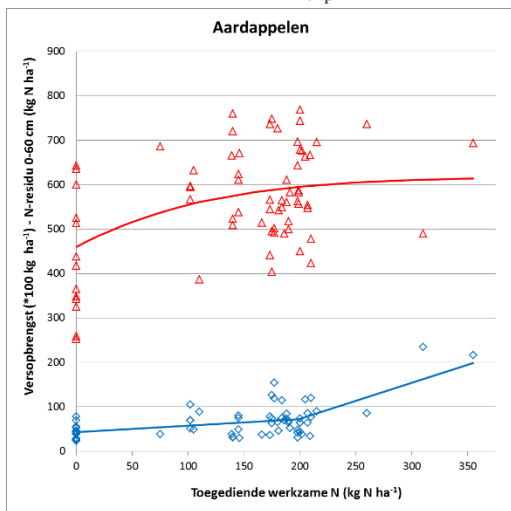
$$\text{Drogestofopbrengst} = \frac{13.1}{1 + \exp(0.92 - 0.011 \cdot N)}$$



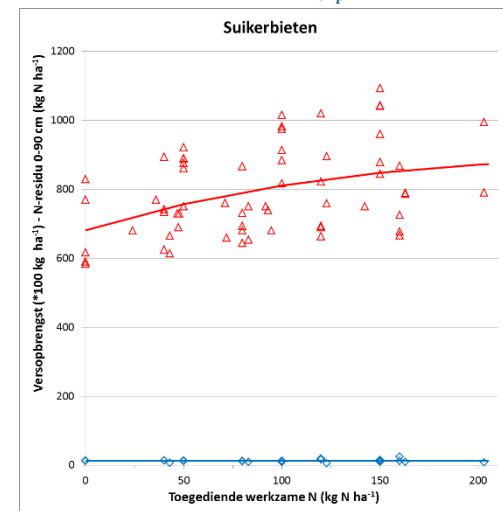
$$\text{Drogestofopbrengst} = \frac{20.1}{1 + \exp(-1.61 - 0.015 \cdot N)}$$



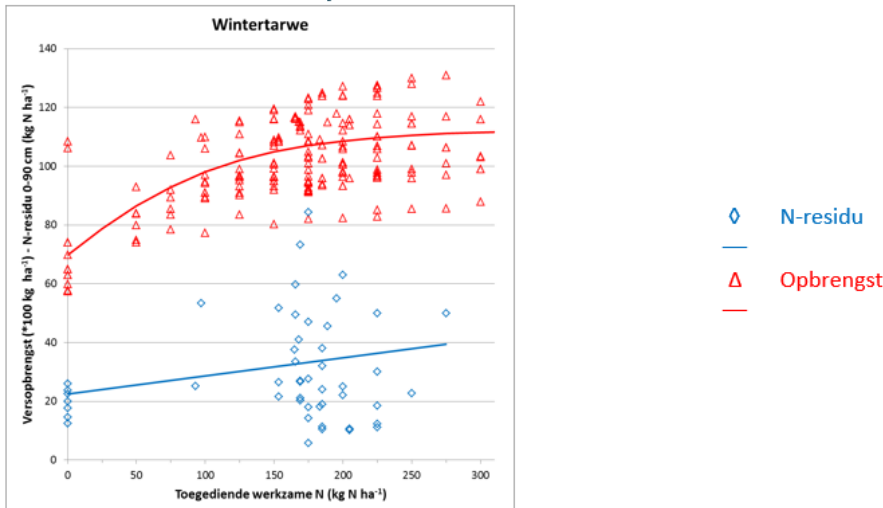
$$\text{Verse opbrengst} = \frac{61.8}{1 + \exp(-1.07 - 0.011 \cdot N)}$$



$$\text{Verse opbrengst} = \frac{90.9}{1 + \exp(-1.09 - 0.010 \cdot N)}$$



$$\text{Verse opbrengst} = \frac{11.2}{1 + \exp(-0.49 - 0.013 \cdot N)}$$



Figuur 143 Opbrengstresponscurve (droge stof voor gras en maïs, verse stof voor aardappelen, suikerbiet en wintertarwe) en lineaire regressies (voor maïs exponentiële regressie) voor de residuele minerale N aan het einde van de teelt (dus niet noodzakelijk in de sperperiode 1/10-15/11) in functie van de N-bemesting (bron: D'haene et al., 2014).

Op basis van Figuur 142, Figuur 143 en Tabel 76, gaan we er van uit dat de scenario's best de teelten maïs en aardappelen bevatten evenals een groente. We kozen hier voor prei. Prei maakt ongeveer 1/10^e van het groentenareaal uit en vraagt in het geval van herfst en winterprei (meest voorkomende prei in Vlaanderen) nog een hoge N-beschikbaarheid laat op het najaar, waardoor nitraatstikstofresidu's in veel situaties hoog zijn. Op basis van deze keuze stellen we 3 uitgangsscenario's voor, waarvoor tevens akkoord gegeven werd door VLM bij één van de werkvergaderingen van dit project.

Scenario 1: Veehouderij en voederteelten

- Rundveebedrijf
- Drijfmest en/of stalmest beschikbaar
- Enge rotaties met voornamelijk tijdelijk grasland en (kuil)maïs
- Ook percelen met 1 snede gras + kuilmaïs
- Blijvend grasland
- Andere teelten slechts in kleine arealen of in beperkte seizoenspacht

Scenario 2: Akkerbouw-aardappelen

- Rotatie van graangewassen, korrelmaïs, suikerbieten en aardappelen
- Specialisatie aardappelen

Scenario 3: Groenten-Prei

- Groot aandeel van het areaal in groenten
- Weinig of geen graangewassen

- Specialisatie prei

Per scenario geven we een niet-limitatieve lijst van knelpunten. Niet ieder knelpunt komt voor in iedere regio, bedrijf, perceel of jaar. Veel van deze knelpunten zijn vandaag de dag soms al een knelpunt, maar kunnen versterkt worden door een veranderend klimaat van aanhoudende droogte en/of toenemende intensieve regen. Per scenario geven we ook enkele suggesties die kunnen tegemoet komen aan de knelpunten. We baseren ons hiervoor op suggesties uit de literatuurstudie en de workshop die bij de start van het project werd georganiseerd. Deze suggesties zullen niet voor ieder bedrijf en op ieder perceel en in ieder jaar kunnen gehanteerd worden. De lijst is eveneens niet-limitatief.

17.5.2 Scenario 1: Veehouderij en voederteelten

17.5.2.1 Knelpunten en nutriëntenverliezen bij een veranderend klimaat

Derogatie op 1 snede gras + kuilmaïs

Veel rundveehouders maken gebruik van de mogelijkheid om 1 snede gras te telen, gecombineerd met kuilmaïs om van de derogatie gebruik te kunnen maken. Dit biedt de optie om een groter deel van de bemesting via organische mest in te vullen en bovendien ook grasruwvoer van de eerste –de belangrijkste snede qua opbrengst en voederwaarde- binnen te halen. Omdat veel bedrijven het maximale trachten te halen uit deze snede Italiaans raaigras, wachten ze lang met oogsten. Er wordt soms ook gewoon gewacht op de juiste weersomstandigheden om goed te kunnen voordrogen. Door deze verschuiving in de tijd blijft de evapotranspiratie onder het Italiaans raaigras doorgaan en droogt de bodem verder uit. Hierdoor kan de ontwikkeling van de maïs die vlak nadien wordt gezaaid vertraagd worden, wat op veel percelen enorm zichtbaar was in 2020 door de sterke voorjaarsdroogte. Door de vertraagde opkomst en groei, haalt de maïs zijn volle potentieel niet en vergroot dus ook de kans op een gereduceerde N-opname. In veel jaren zijn er ook ogenschijnlijk geen negatieve effecten (visueel), maar ligt de maïsoopbrengst en daardoor ook de N-export toch net iets lager in vergelijking met vroeg gezaaide maïs zonder voorafgaande snede raaigras. Hierdoor kan het nitraatstikstofresidu hoger zijn bij een maïsperceel voorafgegaan door een snede gras. Meestal wordt een beperkte minderopbrengst in de praktijk niet gedetecteerd omdat de opbrengsten niet worden gewogen. Het probleem kan versterkt worden via bemesting, bodembewerking en onkruidbestrijding.

Doordat het jonge Italiaans raaigras vroeg in het voorjaar dikwijls weinig draagkracht biedt, kiezen veel landbouwers ervoor het gras te bemesten met kunstmest en de drijfmest in te zetten vlak na het maaien. Indien er echter droogte toeslaat, kan de mineralisatie van het organische deel van de drijfmest stoppen en pas weer op gang komen bij voldoende vocht. In het geval van maïs kan dit gebeuren in de periode tussen het stoppen van de N-opname en de oogst, met meer nitraatstikstofresidu tot gevolg. Ook stalmest wordt regelmatig ingezet na het maaien en voor het zaaien.

Bij droge omstandigheden in het voorjaar kan de bodem snel gaan uitdrogen, zeker als reeds veel vocht werd getranspireerd door het gras en zeker in droge zandgronden. Wanneer te veel tijd zit tussen de bodembewerkingen en het zaaien en regen uitblijft, kan de bodem nog verder uitdrogen tot op een punt dat de maïs vertraagt in opkomst en groei of in extreme gevallen zelfs niet meer kiemt en als droog zaad in de bodem



blijft liggen op de droogste plekken van het perceel. Dit laatste resulteert in de praktijk in erg ongelijke opkomst over het perceel.

Door het wegvallen van heel wat herbiciden, valt de landbouwer steeds meer terug op bodemherbiciden. De werking van deze middelen is dikwijls veel slechter in droge omstandigheden, waardoor onkruiddruk een wezenlijk probleem wordt. Een aantal typische maïsonkruiden kunnen immers zeer goed met droogte om, zoals gierstgrassen, hanenpoot en melganzevoet. Dikwijls is de onkruiddruk hoger in de percelen met een enge maïsrotatie of monocultuur. Maïs verdraagt heel slecht concurrentie tijdens de jeugdgroei en opbrengstdervingen kunnen groter zijn.

Als door een veranderend klimaat de incidentie en lengte van droogteperiodes toeneemt in de periode van zaai van maïs, zullen bovenstaande knelpunten versterkt worden.

Blijvend grasland vernieuwen

De kwaliteit van de zode van blijvend grasland kan mettertijd achteruitgaan door winter- en droogteschade, door het ontstaan van blote plekken en het inslepen van onkruiden of ongewenste grassoorten zoals straatgras, struisgrassen, wollig zorggras en kweek. Scheuren en herinzaaien is dikwijls de beste oplossing om het probleem aan te pakken, tenminste als de oorzaak van het probleem ook wordt aangepakt, als het al aangepakt kan worden natuurlijk. Bij herinzaai in het voorjaar kunnen opbrengstdervingen tot 50% voorkomen in het jaar van zaaien, omdat de eerste meest productieve snedes verloren gaan. Hierdoor geniet najaarszaai bij landbouwers de meeste voorkeur. Wanneer half augustus wordt gescheurd, is de mineralisatie van de zode danig hoog dat het nieuwe gras dit onmogelijk allemaal kan opnemen. In het hoofdstuk 'Innovaties: Bodemkwaliteit' wordt de mineralisatie van (tijdelijk) grasland meer uitgebreid besproken onder het deeltje 'vruchtwisseling'. Uitstel naar een later tijdstip is de beste optie omdat in het najaar de mineralisatie lager zal zijn. Uitstel is echter maar beperkt mogelijk. Engels raaigras wordt best voor de eerste week van oktober gezaaid om nog enigszins groei voor de winter te hebben. Grassen zoals rietzwenkgras en kropaar hebben een trage start, waardoor ze best nog vroeger ingezaaid zijn. Het is dus een belangrijke afweging wanneer wordt gescheurd en heringezaaid. Door de klimaatverandering kan de droogteschade toenemen, waardoor de frequentie van scheuren ook toeneemt.

Tijdelijk grasland in de akkerrotatie

Tijdelijk grasland aanleggen is een zeer goede strategie om het koolstofgehalte van akkerland te verhogen. Dit wordt besproken in het hoofdstuk 'Innovaties: Bodemkwaliteit'. De landbouwer stuit echter voor een stuk op dezelfde problemen als bij 1 snede gras + maïs, indien er nog bijkomstig een snede gras wordt genomen van het grasland vooraleer het om te ploegen. Ook de rotatie vormt een probleem. Enkel voederbiet is echt in staat om de massa N die vrijkomt door mineralisatie van de 4-5 jaar oude zode te capteren en dus weinig nitraatstikstofresidu na te laten. Voederbiet kan dan wel aanwezig zijn op het bedrijf, maar gewoonlijk is het areaal dat kan gevoederd worden te beperkt om in de rotatie altijd voederbiet te telen na tijdelijk grasland. Een bijkomend probleem is dat, indien de landbouwer de eerste snede nog neemt, de mineralisatie door het vernietigen van het grasland wordt uitgesteld in de tijd, zeker indien er een droogteperiode mee samen valt.

Beweiding versus maailand

Een graszode kan het best in stand gehouden worden door maaien en beweiding af te wisselen. Indien een lagere frequentie van vernieuwen noodzakelijk is, neemt men ook de kans tot nitraatuitspoeling vlak na vernieuwen weg. Beweiding zorgt ook voor een gescheiden urine en mest uitscheiding door de dieren, waardoor urease minder kans heeft om ureum tot ammoniak af te breken en emissies te veroorzaken. Dit wordt uitgebreid besproken in het hoofdstuk 'Innovaties: Rantsoenen'. Beweiding of gecombineerd gebruik heeft echter als nadeel dat mest heterogeen verdeeld wordt over het perceel. Bovendien zorgen wandelpaden en bijvoeder-/drinkplaatsen voor vertrapping en lokaal voor piekuitspoeling. Door drijfmest homogeen emissiearm te spreiden, stelt dit probleem zich veel minder. Het is dus een berekening waard om te achterhalen wat nu uiteindelijk tot het meeste milieuwinst leidt. Bij een veranderend klimaat kan beweiding ook beperkt zijn. Bij hittegolven vertonen de dieren te veel hittestress, waardoor ze beter in de stal verblijven, door droogte kan de grasgroei volledig stilvallen, waardoor geen voeder meer in de wei staat, en door intense regenbuien kan de draagkracht van de bodem beperkt zijn, waardoor de zode te veel wordt vertrappeld. Een meer praktisch probleem is dat de oppervlakte van veel huiskavels te beperkt is op veel Vlaamse bedrijven om begrazing een prominent onderdeel van het voeder te maken.

Gewaskeuze

Momenteel wordt op veel rundveebedrijven vooral ingezet op maïs en tijdelijk en/of blijvend grasland. Maïs vormt het ruwvoer dat energie aanbrengt en gras het ruwvoer dat eiwit aanbrengt. Weinig andere voederteelten kunnen opbrengst en voederwaarde zo goed combineren met beperkte arbeidsintensiteit (en kosten) dan maïs. Het grote probleem met maïs is echter tweeledig. Maïs is erg gevoelig voor periodes van droogte en hitte tijdens de bloei. Wanneer droogte en hitte samenvallen met de bloei kan de kolf en korrelvorming sterk gehinderd zijn met ernstige opbrengstdervingen tot gevolg. Na het stoppen van de N-opname door maïs gaat de N-mineralisatie nog door, waardoor tegen de maïsoogst een aanzienlijk nitraatstikstofresidu in de bodem kan achterblijven. Dikwijls is de oogst te laat op het seizoen waardoor vanggewassen geen sterke ontwikkeling meer hebben voor de winter. Intense regen kan ook zorgen dat de oogst in moeilijke omstandigheden moet gebeuren of verder wordt uitgesteld richting de winter.

Gras heeft als gewas minder last van droogte op jaarbasis omdat de eerste 2 snedes in het voorjaar deze met de hoogste opbrengst en voederwaarde zijn. Droogte speelt op dit moment (meestal) een minder grote rol. De opbrengstderving kan daardoor heel wat beperkter zijn dan bv. bij maïs. De graszode kan echter wel schade oplopen door droogte waardoor herinzaai nodig is. Scheuren kan altijd leiden tot mineralisatie wanneer dat niet gewenst is. Zelfs wanneer geen scheuren nodig is kan door afsterven van een gedeelte van de zode in de zomer, gevolgd door hernieuwde regen, opnieuw mineralisatie plaatsvinden nog voor de hergroei echt in staat is veel van deze N op te nemen. Er zijn wel duidelijke verschillen in droogtetolerantie tussen grassoorten (zie verder). Gras heeft weinig last van intense regenbuien. In tegendeel, het gras kan helpen om erosie en run-off te verminderen zodat afspoeling van nutriënten wordt geminimaliseerd. De groei tot laat in het seizoen zorgt ook voor een late N-opname zodat weinig grasland hoge nitraatstikstofresidu's vertoont. Hevige neerslag kan wel de oogst van het gras bemoeilijken, zowel op vlak van voordrogen als bodemverdichting door machines.



Aandeel gras in het ruwvoer

Het aandeel gras verhogen in het ruwvoer en daardoor ook in het areaal is positief naar het nitraatstikstofresidu toe, omdat het andere voedergewassen (op voederbieten na) kan vervangen die gewoonlijk meer nitraatstikstofresidu nalaten. Grasland is ook een perfecte koolstofsink en stimuleert het bodemleven. Veel onderzoek om rantsoenen samen te stellen richting minder gasvormige N-emissies suggereert echter om het grasaandeel in het rantsoen te beperken (zie hoofdstuk 'Innovaties: Rantsoenen'). Gras kent verder ook een hoog kunstmestverbruik, met veel CO₂-uitstoot voor de productie van kunstmest tot gevolg, maar ook meer N₂O-uitstoot indirect door het gebruik van de kunstmest. Poeplau (2020) gaf aan dat in grasland bemest met NPK-meststoffen de koolstofvastlegging door het gras ongeveer compenseert voor de CO₂-emissie bij productie van de kunstmest en de uitbating. Wanneer enkel met PK-meststoffen wordt gewerkt, wordt veel meer koolstof vastgelegd door de zode dan dat er CO₂-emissie uitgestoten wordt. Eventueel kan een combinatie van dierlijke mest en vlinderbloemigen dan instaan voor de N-aanvoer. Poeplau (2020) gaf evenwel aan dat niet alle literatuur het daar over eens is. Er is dus duidelijke nood een balansberekening om dit in kaart te brengen.

Opslag van dierlijke mest

Op veel bedrijven wordt de drijfmest ingezet kort voor ploegen bij maïs en gespreid over de snedes in het grasland. Door een te beperkte draagkracht van de bodem in het vroege voorjaar is het dikwijls raadzaam geen zware drijfmestvaten te gebruiken op het grasland. Door het uitstel naar betere weersomstandigheden, is het gras dikwijls al te sterk ontwikkeld om de drijfmest nog uit te voeren. Er wordt geswitcht naar kunstmest voor deze eerste snede. Hierdoor wordt de drijfmest in latere snedes geplaatst richting zomer. Wanneer echter meer droogte en hitteperiodes voorkomen in een veranderend klimaat, zal het gras minder groeien en minder N opnemen. De mest kan zelfs het gras verbranden, dit is zeker het geval bij varkensdrijfmest. Als de mest opdroogt, kan dit ook leiden tot bevuilding van een volgende snede. En hoe later op het seizoen de mest wordt uitgereden hoe meer kans dat deze ook niet tijdig mineraliseert voor gewasopname en nog leidt tot een iets hoger nitraatstikstofresidu. De landbouwer voert een zomerbemesting in droge en hete omstandigheden soms toch uit, om de mestkelder leeg te maken voor de nakende winter.

Inzaai vanggewassen

Een vanggewas telen na maïs is moeilijk omwille van de oogst in het najaar. Grasachtige vanggewassen kunnen wel gezaaid worden, maar de ontwikkeling is gewoonlijk te beperkt om nog grote hoeveelheden nitraat uit de bodem te onttrekken. Dit is zeker het geval voor korrelmaïs die later wordt geoogst en waar het stro de zaai van het vanggewas bemoeilijkt. Hoewel italiaans raaigras nog steeds zinvol is om te zaaien, kan door de beperkte ontwikkeling die plaatsvindt niet veel nitraat meer worden ondervangen voor de winter. Indien de maïsoogst vroeger valt door de klimaatverandering kan dit positief zijn voor de ontwikkeling van de groenbedekker, als een eventuele droogte tenminste niet voor vertraagde opkomst van het vanggewas zorgt. Intense buien in de periode tussen de maïsoogst en het inzaaien van het vanggewas kunnen het zaaien van het vanggewas dan weer uitstellen, bemoeilijken of zelfs onmogelijk maken.

17.5.2.2 Opportuiniteiten

- Aanpassing van de teeltcombinatie 1 snede gras + maïs

Dit kan op meerdere manieren.

- Door het gras 2-3 weken vroeger te oogsten zal het minder water onttrekken aan de bodem en kan de organische bemesting ook vervroegd worden. De maïs zal kunnen starten in vochtiger omstandigheden en de kans op opbrengstderving bij maïs daalt. De keerzijde van de medaille is dat de lagere grasopbrengst moet gecompenseerd worden. Ook kan het zijn dat de maaidatum toch moet uitgesteld worden door de weersomstandigheden.
- Door het gras als groenbedekker te beschouwen en in maart onder te werken, kan de maïs tijdig gezaaid worden. De grasopbrengst moet wel elders gecompenseerd worden en derogatie is niet mogelijk.
- Er wordt soms geopperd om voor snijrogge te kiezen in plaats van Italiaans raaigras, omwille van een vroegere oogst van de snede. De teeltmethodes staat op punt en de roggerassen zijn beschikbaar, maar er is nood aan meer objectief onderzoek dat zowel opbrengst, voederwaarde, teelttechniek als maïsopbrengst na de snede vergelijkt.
- Moment van (tijdelijk) grasland scheuren vervroegen en geen 1^e snede nemen (en dus ook niet bemesten van deze snede)

Er wordt geen snede meer genomen van het gras in het voorjaar, maar de zode wordt tijdig vernietigd en ingewerkt. Op deze wijze komt de mineralisatie tijdig op gang en kan deze N leveren voor de volgende akkervrucht, vaak kuilmaïs. Indien de mineralisatie te laat start, komt een groot stuk van de N-vrijzetting te laat voor opname door maïs. Voederbiet neemt echter tot laat in het seizoen N op. Voederbiet is milieukundig de beste optie omdat ze alle N afvangt, maar kan omwille van arbeidsintensiteit, bewaring en plaats in het rantsoen slechts een beperkte oppervlakte beslaan. Ook kunnen rhizoctonia en ritnaalden zeer problematisch zijn.

- Moment van graslandvernieuwing juist kiezen

Vernieuwen in het voorjaar zou in principe geen problemen mogen geven, op de opbrengstderving na ten opzichte van najaarszaai. Vernieuwen in het najaar gebeurt best niet te vroeg om geen te sterke mineralisatie in de hand te werken die hoeveelheden N vrij zou stellen die niet meer kunnen opgenomen worden door het nieuw uitgezaaide gras. Scheuren en vernieuwen van grasland tussen half september en half oktober lijkt de beste optie om na te streven.

- Opteren voor andere grassoorten

Van een aantal grassoorten zoals kropaar en rietzwenkgras is bekend dat ze beter tegen de droogte kunnen. Hierdoor kan droogteschade beperkter zijn, met minder noodzaak om te vernieuwen. Deze soorten hebben echter een lagere voederwaarde en zijn minder of niet geschikt voor begrazing. In het VLAIO-LA-traject KLIMGRAS zullen ILVO en Universiteit Gent bekijken in welke mate met rietzwenkgras aan de slag kan gegaan worden in een veranderend klimaat.

- Opteren voor maïsrassen die vroeger kunnen geogst worden

Door het kiezen van vroegere rassen kan zowel de maïs oogst als de inzaai van de vanggewassen vroeger gebeuren. De weeromstandigheden van de laatste 4 jaren –reeds toe te schrijven aan de klimaatverandering of toevallig?– geven aan dat bij warmere en drogere zomers de afrijping van maïs ook sneller gaat. Er dient wel opgemerkt te worden dat op heel wat percelen de snellere afrijping eerder gerelateerd was aan verdroogde planten, slechte korrelzetting of zelfs de afwezigheid van de kolf. Dit geeft



dus enigszins een vertekend beeld. Ook dient gemeld te worden dat vroegere rassen gewoonlijk een lagere opbrengst halen.

- Opteren voor andere voedergewassen

Men kan gewassen opnemen in de rotatie die niet alleen de rotatie verruimen, maar tevens ook beter bestand zijn tegen droogte (rode klaver, luzerne, voederbieten e.a.), groeien in een periode waarin droogte minder voorkomt (veldbonen, mengteelt granen/veldbonen of erwten, gehele-plantsilage van wintergraan) of die tijdig worden geoogst zodat inzaai van vanggewassen of gras/klaver of gras/luzerne tijdig kan gebeuren (bv. granen). Het nadeel van veel van deze gewassen is dat ze inboeten aan opbrengst en/of voederwaarde ten opzichte van gras en maïs. Al blijft de kanttekening of we deze gewassen moeten vergelijken met maïs en gras in een 'normaal' of in een 'moeilijk' jaar. Gewasdiversificatie is vruchtwisseling, werken aan bodemkwaliteit en werken aan een verzekering op voldoende ruwvoer.

- Versnelde installatie van het vanggewas door onderzaai gras in maïs

Door het gelijkzaaien of het onderzaaien van gras als vanggewas in de maïs kent het vanggewas een veel snellere start na de oogst van de maïs dan indien het vanggewas dan nog moet gezaaid worden. Het gras kan ook draagkracht bieden bij de oogst in nattere omstandigheden. Hoewel het opportuniteiten biedt om meer biomassa te produceren en zo meer koolstof in de bodem te brengen en ook meer N af te vangen, is gelijk- of onderzaai niet haalbaar in percelen met probleemkruiden zoals knolcyperus, gierstgrassen en kweek. Een opbrengstderving in de maïs tot 10% in een geslaagde teelt is ook niet uit te sluiten.

17.5.3 Scenario 2: Akkerbouw-aardappelen

17.5.3.1 Knelpunten en nutriëntenverliezen bij een veranderend klimaat

Het klassieke akkerbouwbedrijf met granen, suikerbieten en aardappelen komt steeds meer onder druk omwille van de rendabiliteit van de teelten. Akkerbouwbedrijven specialiseren zich meer en meer in een bepaalde teelt om voldoende inkomen te genereren. Voor veel bedrijven zijn dit aardappelen, maar ook teelten zoals uien krijgen meer aandacht en stijgen in areaal. Een aantal akkerbouwers zijn ook gespecialiseerd in akkerbouwmatige groenten zoals wortelen, witloofwortelen, erwten en bonen, al lijkt het areaal van deze laatste teelten niet erg veel te veranderen.

Gewasverschuivingen

In de zoektocht naar meer rendabele gewassen zullen de minst rendabele het sterkst in areaal dalen. Momenteel staan vooral suikerbieten en graangewassen onder druk omwille van hun lage rendabiliteit. Beide gewasgroepen zijn groepen die weinig nitraatstikstofresidu's nalaten (zie figuur 131). Suikerbieten behoeven relatief weinig N-bemesting, granen wortelen intensief en beide teelten laten weinig nitraatstikstofresidu achter. Bovendien bieden granen de mogelijkheid om maximaal van het potentieel van vanggewassen gebruik te maken. Het netto effect op de nutriëntenverliezen zal dus bepaald worden door welke gewassen in de plaats komen. Dit staat op zich los van een veranderend klimaat, maar klimaatverandering kan het effect vergroten. Uien behoeven relatief weinig N-bemesting. Er kan dus verwacht worden dat er ook weinig nitraatuitspoeling is. Uien hebben echter een zeer trage opkomst, waardoor de bodem in de eerste weken quasi niet beschermd is tegen hevige buien. Op hellende percelen kan het afstromende water voor veel erosie zorgen en daarmee dus ook afspoeling van nutriënten.

Indien gekozen wordt voor meer ruggenteelten neemt de kans op erosie in hellende percelen toe. Indien voor gewassen gekozen wordt die laat in het najaar worden geoogst, neemt de kans op bodemverdichting toe en wordt het inzaaien van vanggewassen bemoeilijkt, zoniet onmogelijk gemaakt. Toenemende incidentie van droogte in het voorjaar kan de start van teelten bemoeilijken. Teelten zoals bv. witloofwortelen en wortelen zijn als gewas wel redelijk bestand tegen droogte, maar omwille van het kleine zaad en het ondiep zaaien is droogte bij de start een groot probleem. Toenemende incidentie van hevige regen in het najaar kan de oogst verder bemoeilijken.

Ook wanneer het aandeel graangewassen + vanggewas behouden blijft, kan klimaatverandering voor problemen zorgen. Bij aanhoudende droogte na de graanoogst kunnen de vanggewassen niet gezaaid worden of kiemen ze niet. Sommige schieten ook gewoon op (bv. gele mosterd). Hierdoor verkleint de groeiperiode van de vanggewassen. De opwarming op zichzelf en de zachtere winters leiden er natuurlijk wel toe dat de vanggewassen langer blijven groeien en minder snel doodvriezen dan wat voorheen het geval was. Al is dit natuurlijk begrensd. De klimaatopwarming heeft immers geen effect op de daglengte.

Aardappelen

Aardappelen behoren tot de groep met de hoogste nitraatstikstofresidu's (zie figuur 131). Het gewas heeft een beperkt wortelgestel dat ook niet bijzonder diep gaat. De intense 'bodembewerking' bij het rooien, waarbij de volledige rug wordt gezeefd en belucht, kan N-mineralisatie in de hand werken. Bij de oogst is het loof ook afgestorven en is al het bladmateriaal reeds volledig vergaan, waarbij ook N vrijkomt. Door de oogst in het najaar –op vroege aardappelen na (grof geschat 15% van het areaal aardappelen)- zijn vanggewassen meestal geen optie meer. Net als andere ruggenteelten op hellende percelen zijn aardappelen gevoelig voor erosie, met afspoeling van nutriënten tot gevolg. Landbouwers zijn wel verplicht actie te ondernemen om erosie te beperken o.a. door het aanleggen van drempeltjes tussen de ruggen om water te bufferen op de hellende percelen. Dit werkt positief. Veel akkerbouwers specialiseren in aardappelen omwille van de relatief grote rendabiliteit. Ook al is de rendabiliteit van dit gewas erg volatiel, is de gemiddelde rendabiliteit over de jaren heen hoger dan voor veel andere akkerbouwgewassen. Er lijkt momenteel wel een plafond bereikt te zijn en het areaal zal mogelijk terug dalen in de komende jaren in nasleep van de coronacrisis (VILT, 2020). Ook het wegvallen van Chloorprofam als bewaarmiddel maakt dat een aantal aardappeltelers met oudere bewaarloodsen mogelijk stopt met deze teelt. Al is het natuurlijk mogelijk dat dit areaal gewoon wordt overgenomen door andere aardappeltelers die onlangs investeerden in nieuwe bewaarsystemen.

De klimaatverandering kan de gevoeligheid van aardappelen voor nutriëntenverlies verder doen toenemen. Toenemende incidentie van hevige neerslag zal het nutriëntenverlies via run-off en erosie doen toenemen. Bij meer en langere droogteperiodes kan het gewas stoppen met groeien en zelfs doodvallen in de zomer, waardoor niet het volledige potentieel wordt gehaald waarvoor bemest werd en een deel van de nutriënten niet wordt opgenomen.

De incidentie van zowel hevige neerslag als aanhoudende droogte en hoge temperaturen kunnen ertoe leiden dat het rooien dient uitgesteld te worden in het najaar. In te natte omstandigheden is rooien niet mogelijk en/of wordt te veel aarde meegenomen. In te droge en warme omstandigheden, lukt het eveneens niet om in de



zwaardere gronden te rooien, maar is er ook meer kans op kwetsen tijdens het rooien, waardoor het rooien tot een later tijdstip –na regen- wordt uitgesteld. Het jaar 2020 geeft aan hoe het hier kan mislopen. Door de aanhoudende droogte werd het rooien uitgesteld tot de eerste regen kwam. De regen was echter zeer intens op korte tijd, waardoor op vele percelen het rooien al snel moest gestaakt worden.

Alternatieve bemesting

Bij akkerbouwers is er dikwijls nog plaatsingsruimte om dierlijke mest of verwerkte dierlijke mestproducten aan te voeren. Bij granen kan nog mest op de stoppel geplaatst worden voor de inzaai van het vanggewas, maar indien het vanggewas niet tijdig kan ontwikkelen (te droog, te laat gezaaid), neemt het gewas de extra aangebrachte N naast de residuele N en de N gemineraliseerd uit bodemorganische stof niet volledig op, met N-verliezen tot gevolg. Graantelers krijgen ook interesse om een deel van de N-kunstmestbemesting te vervangen door drijfmest of producten uit de mestverwerking die rijk zijn aan N en K zoals dunne fractie of rijk aan K zoals effluent. Best wordt dit ingezet ter vervanging van de 1^e of eventueel 2^e fractie en bespaart men op kunstmest. Het probleem stelt zich echter dat de draagkracht van de bodem onvoldoende is voor het berijden met zware drijfmestvaten of dat de drijfmest bij toedienen met sleepslangen van hellende percelen afstroomt (al dan niet bij hevige regen na toediening).

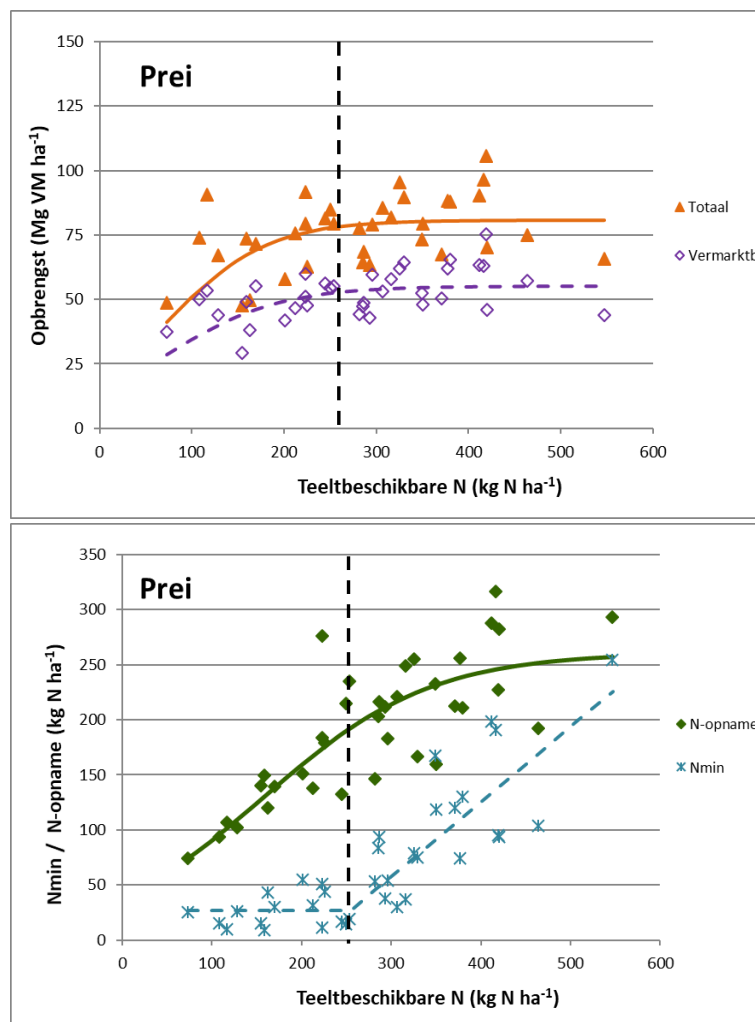
Oogstresten

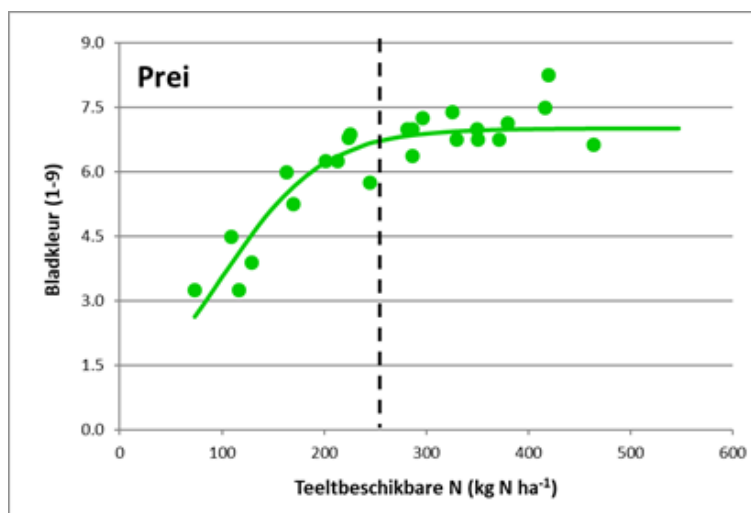
Een aantal akkerbouwteelten laten gewasresten na die snel mineraliseren en alsnog voor N-uitspoeling kunnen zorgen. Een voorbeeld daarvan is het verhakselde loof van bieten, cichorei, witloofwortelen enz. Ook het aardappelloof sterft af in het veld, maar dan meestal al voor de oogst. Als klimaatverandering leidt tot zachtere najaren en winters, kan de mineralisatie langer en sneller doorgaan met meer N-residu tot gevolg. Zeker ook in de laat geoogste teelten. Theoretisch gezien kan men gewasresten afvoeren, maar praktisch is dit dikwijls een probleem. Bij bietenrooiers zou het loof apart afgevangen en mee getransporteerd moeten worden. Er zijn ondertussen (prototypes?) machines beschikbaar die dit kunnen uitvoeren (figuur 144), maar deze vragen uiteraard extra investeringen en zijn (nog) niet geïmplementeerd in de praktijk. Bij aardappelen, waarbij in regel aan loofdoding wordt gedaan, zou loofdoden door klepelen of looftrekken moeten gebeuren en tegelijkertijd zou dit materiaal ook verzameld moeten worden. Zelfs al slaagt men er in dit mechanisch uit te voeren, dan blijft men nog met grote hoeveelheden groene, snel afbreekbare materialen zitten. Voor vergisting is de bevulling met grond van deze materialen mogelijk een probleem. Al zal dit voor het systeem zoals in Figuur 144 geen groot probleem vormen. Voor compostering moeten de landbouwers niet alleen uitgerust zijn, maar moeten er ook bruine (meer resistente) materialen worden aangevoerd. Dit is praktisch moeilijk te organiseren.



Figuur 144 Bietenrooier met gemonteerde afvoer voor gehakselde bietenbladeren (bron: www.trekkerweb.nl, 2020).

een beperkte kost vertegenwoordigt in het totale plaatje en een N-gebrek tot opbrengstdervingen kan leiden, zijn landbouwers niet geneigd de N-bemesting naar beneden toe bij te stellen. Een verhoogde bemesting kan echter de N-rest sterk verhogen en nitraatuitspoeling in de hand werken. Nochtans geeft D’Haene et al. (2018) aan, op basis van meerdere bemestingsproeven voor gewassen als spinazie, sla, spruitkool en prei, dat in principe de bemesting zo kan bijgesteld worden dat minstens 95% van de marktbaar potentiële opbrengst kan gehaald worden, zonder dat nitraatstikstofresidu’s problematisch worden. Voor prei illustreren we dit aan de hand van Figuur 145. In Figuur 145 wordt met een verticale stippellijn aangegeven welke hoeveelheid N ter beschikking moet zijn van het gewas om 95% van het marktbaar potentieel te halen. Deze hoeveelheid N valt samen met het breekpunt in de N-rest (RSMN), het punt waarop de nitraatstikstofresidu’s sterk stijgen door bijkomende bemesting. Bijkomende bemesting leidt tot hogere N-opname, maar zonder winst in kwaliteit onder de vorm van bladkleur.





Figuur 145 Totale en vermarktbaar preiopbrengst in verse opbrengst per hectare (boven), de N-opname en N-min (N-rest aan het einde van de teelt) (midden) en de bladkleur (onder) in functie van de beschikbare N voor het gewas. De verticale stippelelijn geeft telkens het punt aan waarop er 95% van de potentieel vermarktbaar opbrengst wordt gehaald (bron: D’Haene et al., 2018).

Dat het breekpunt van de N-rest en de 95% potentieel vermarktbaar opbrengst heel kort bij elkaar liggen, geeft enerzijds aan dat zowel een landbouwkundig als milieukundig optimale bemesting theoretisch tegelijk mogelijk zijn. Anderzijds, doordat deze punten kort bij elkaar liggen, resulteert een beperkte afwijking van dit punt al snel tot een lagere opbrengst of een te hoog nitraatstikstofresidu. Elke bijkomende opbrengst heeft natuurlijk een financiële meerwaarde, maar dit geldt ook voor de "maatschappelijke" minderwaarde van N-rest. Daarom is het belangrijk om met één bepaalde N-hoeveelheid een zo goed mogelijke opbrengst te bekomen (o.a. door waterbeschikbaarheid, bodemkwaliteit, tactiek van bijbemesten, ...).

Een aantal bijkomende risicofactoren voor groenten zijn afhankelijk van het groentetype, de intensiteit en diepte van beworteling, de oogstresten, het moment van bijbemesten en de oogstdatum. Prei wortelt relatief ondiep (0,5m) en heeft nood aan N laat op het najaar. Stikstof toegediend via bijbemesting kan daardoor al snel naar diepere lagen van het profiel uitspoelen, waar hij onbereikbaar wordt voor prei. Andere groenten zoals bv. kolen wortelen dieper en kunnen daardoor ook meer N afvangen. Veel groenten laten veel snel verteerbare N-rijke gewasresten na, die reeds enkele weken na de oogst vrijwel alle N vrijstellen (Tei et al., 2020). Gewoonlijk zijn oogstmachines niet in staat om ook de gewasresten te verzamelen. Bij prei is dit probleem kleiner omdat nagenoeg de volledige plant wordt geoogst. Preiresten van het kuisen dienen wel doordacht opgeslagen en/of verwerkt te worden. Sappen van de opslag kunnen puntverliezen veroorzaken. De resten in de winter onmiddellijk terug naar het veld brengen kan ook leiden tot snelle mineralisatie en N-verliezen door uitspoeling tijdens de winter. Veel groenten worden tot laat in het najaar of zelfs tijdens de winter geoogst –zoals winterprei- waardoor het inzaaien van een vanggewas niet meer haalbaar en nuttig is. Oogst in deze periode kan ook gepaard gaan met natte en zware omstandigheden, zodat verdichting plaatsvindt en water stagneert op de percelen. Dit kan leiden tot plaatselijk anaerobe omstandigheden en tezamen met snel verteerbare groentenresten leiden tot verhoogde N₂O-emissies. Bovendien kan de bodemkwaliteit in het gedrang komen. Het werd ook reeds vastgesteld dat percelen met een historiek van veel groenten in de rotatie en hoge bemesting ook een hoog mineralisatiepotentieel hebben (Tei et al., 2020). Omdat groenten dikwijls



geconcentreerd zitten op gespecialiseerde bedrijven die ook regionaal geconcentreerd zijn, kan het aandeel in de rotatie van teelten die dezelfde problemen vertonen groot zijn. Hierdoor wordt het aandeel gewassen die de bodem in rust laten, weinig N-rest nalaten en de mogelijkheid bieden voor het zaaien van vanggewassen net kleiner.

Bovenstaande knelpunten kunnen versterkt worden door de klimaatverandering. Door toenemende intensiteit van regenbuien kan de oogst verder bemoeilijkt worden, met meer structuurschade als gevolg. Laat toegediende N-meststoffen of nog resterende gewasbeschikbare N kunnen meer gaan uitspoelen. Ook erosie en run-off kunnen toenemen met oppervlakkige afspoeling van nutriënten als gevolg. Hitte en droogte kunnen er voor zorgen dat gewassen in de zomer minder N opnemen dan verwacht, maar kunnen voor sommige groenteteelten ook een sterke opbrengstderving met eveneens een lagere N-opnamen en hogere N-rest in de hand werken. Door een warmer klimaat kan de mineralisatie van de oogstresten nog sneller doorgaan, maar ook de mineralisatie van de organische stof in de bodem neemt toe. Hoewel dit theoretisch in mindering kan gebracht worden in het bemestingsadvies, zal het moeilijker worden om de N-mineralisatie in te schatten. Het bemestingsadvies zal beter moeten, enerzijds om de marge van overbemesting die nu dikwijls wordt gehanteerd te verkleinen, anderzijds om rekening te houden met de mineralisatie. Dit vraagt om gefractioneerde bemesting die ook gestaafd is door bodem- en/of gewasstalen, zoals ook in luik 2 voor aardappelen en maïs werd toegelicht. Een warmer klimaat kan vanggewassen wel langer doen doorgroeien, maar indien de groente te laat en/of in te natte omstandigheden wordt geoogst, blijft de zaai van vanggewassen onmogelijk. Bovendien verandert klimaatverandering niets aan de daglengte, wat tevens belangrijk is voor de fotosynthese en dus de groei van het vanggewas.

17.5.4.2 Opportuniteiten

- Een geoptimaliseerde bemesting

Voor groenten zoals prei is de juiste bemestingsdosis erg belangrijk. De 95% grens van potentieel vermarktbaar opbrengst en het breekpunt in N-rest liggen kort bij elkaar. Een iets te hoge bemesting leidt tot een sterke stijging van de residuele N, een iets te lage bemesting tot opbrengstderving. Hoewel het bemestingsadvies aan de start van de teelt goed en onderbouwd is, is het een statisch gegeven. Het houdt met een aantal bodemparameters en 'gemiddelde' weersomstandigheden rekening, maar niet met de werkelijke weersomstandigheden. Indien de klimaatverandering doorzet, kunnen de weersfenomenen een belangrijke invloed hebben, zowel rechtsreeks op de gewasgroei als onrechtstreeks via de mineralisatie. Een dynamisch advies waarbij niet alleen in meerdere fracties wordt gewerkt, maar ook fracties worden bijgestuurd op basis van de huidige en voorspelde omgevingsfactoren zoals gewasstand, maar ook weersomstandigheden, zou te prefereren zijn. De gewasstand kan vandaag meer en meer worden ingeschat aan de hand van sensoren (zie innovatie 3 – precisielandbouw), maar is zeker nog kostelijk. Een voorspelling van het weer voor meer dan enkele dagen is echter onmogelijk en is bovendien lokaal heel verschillend, zeker in hoeveelheid neerslag. Een eerste belangrijke stap naar een dynamisch systeem is om de basisbemesting sterk te verlagen en vervolgens een bijbemesting uit te voeren op basis van een bijbemestingsadvies. Een bijbemestingsadvies heeft het voordeel dat een deel van de teeltperiode al voorbij is en dat de voorbije gewasreactie mee kan opgenomen worden. Dit advies kan zowel op basis van gewas- als van bodemparameters geformuleerd worden. Dit wordt uitgebreid toegelicht in luik 2. Een (dynamisch) bijbemestingsadvies kan ook bijgestuurd worden in de tijd door het adviseringsorgaan en de landbouwer zelf. We geven een voorbeeld. Wanneer een staal wordt genomen voor bijbemesting maar de

weersomstandigheden ongunstig zijn (bv. te droog) zal de landbouwer beslissen om de bemesting uit te stellen. Mogelijk kan het advies ook bijgestuurd worden voor dit uitstel. Wanneer enkele weken dient gewacht te worden met bijbemesten, evolueert het gewas in groeifase, wat de vraag naar nutriënten kan wijzigen. De bijsturing zou kunnen gebeuren via een app. Het grootste probleem is echter dat dit ook voldoende moet onderbouwd zijn. Waar klassieke advisering gewoonlijk goed onderbouwd is, blijven de beslissingsmodellen bij meer modernere technologie vandaag nog steeds een te groot vraagteken. Men kan een dynamisch systeem ook uitbreiden met precisielandbouwtechnieken om variabel in ruimte en tijd te bemesten (uitgebreid besproken in het hoofdstuk 'Innovaties: Precisielandbouw'), maar ook hier zit de bottleneck nog steeds bij de vertaling tussen de detectie en de formulering van een goed onderbouwd advies. Bovendien is de kostprijs te hoog voor de huidige Vlaamse landbouwsector.

- Verzamelen van oogstresten

Zoals aangehaald zijn er weinig oogstresten van prei. Bij andere groenten zijn die er echter wel. Machinale constructies zijn reeds uitgedacht en sommigen werden reeds uitgeprobeerd, maar het blijft een praktisch probleem om het haalbaar te maken om de snel mineraliserende gewasresten van het veld te halen.

- Andere systemen en rotaties

Door de vruchtafwisseling te veranderen en meer gewassen zoals granen op te nemen, komen groenten minder frequent voor in de rotatie, waardoor de bodemkwaliteit beter beschermd wordt en de kans op hoge N-verliezen verkleind wordt. Hiermee worden de groenten –bij een constant areaal– meer verdeeld over een grotere oppervlakte en zijn de nutriëntenverliezen ook minder geconcentreerd.

Systemen van intercropping of strip cropping kunnen ook mogelijkheden bieden door groenten te combineren met stroken van vanggewassen of andere gewassen die de uitspoelende nutriënten ondervangen. Er zijn echter nog vele praktische vragen hieromtrent die meer onderzoek en/of pilootprojecten vragen.

17.5.5 Andere opportuniteiten

- Agroforestry

Tijdens de workshop werd agroforestry een aantal keer genoemd als mogelijk vernieuwend teeltsysteem dat in een veranderend klimaat kan gehanteerd worden. Het is een systeem dat zeker niet bruikbaar is op alle percelen, maar het kan in sommige situaties wel een meerwaarde bieden. Tsinkova et al. (2012) brachten in een review een aantal studies samen die er op wijzen dat bomenrijen door hun diepe wortels nutriënten kunnen afvangen die reeds te diep zijn uitgespoeld om nog bereikbaar te zijn voor de landbouwgewassen. Dankzij de tak- en bladval worden de nutriënten gerecycleerd naar de bouwvoor. De bomen dragen ook bij tot de vastlegging van koolstof zowel in de biomassa als in de organische stof in de bodem via takval, bladval en dode wortels. De bomen kunnen ook ammoniak afvangen uit de lucht via droge depositie (Brusselman et al., 2016) en ze werken tevens preventief tegen erosie, wat ook de oppervlakkige afspoeling van nutriënten afremt. De bomenrijen bij agroforestry hebben dus zowel een potentieel op gebied van klimaatmitigatie via vastlegging van koolstof als op gebied van het reduceren van nutriëntenverliezen naar lucht, bodem en oppervlaktewater. Naarmate de bomen ouder worden, verliest het landbouwgewas tussen de bodemrijen aan productie. Hoewel de bomen ook voor beschaduwing zorgen, wijzen Gillespie et al. (2000) er op dat de ondergrondse competitie tussen de bomen en het gewas de doorslag kan geven. Naargelang het systeem en de gewassen kan er een ruimtelijke en tijdsgebonden variatie zijn in beschikbaarheid van water. Er kan dankzij de bomen minder of net meer toegang zijn tot



water (Tsinkova et al., 2016). Omwille van de verlaging in de productie van het landbouwgewas kiest men na enkele jaren gewoonlijk voor gras als gewas tussen de bomen. Dit kan gemaaid of begraasd worden. In het geval van begrazing bieden de bodem ook schaduw aan de dieren, waardoor ze minder hittestress hebben en meer dagen per jaar buiten de stal kunnen gaan, wat ook een vorm van klimaatadaptatie van de veehouderij is. Deze vorm van landbouw, ook wel pastorale landbouw genoemd, is meer gebruikelijk in meer Zuid-Europese landen, maar zou mogelijk ook in Vlaanderen aan ingang kunnen winnen. Al kan de hoge kostprijs en versnippering van de percelen een sterke rem zijn op het introduceren van agroforestry. Het blijft daardoor een systeem voor specifieke situaties en percelen. ILVO en de Bodemkundige Dienst van België werken al heel wat jaren samen in een VLAIO-LA-traject en een vervolgttraject betreffende dit topic, evenals in meerdere grote en kleine projecten in samenspraak met heel wat andere partners waaronder de Universiteit Gent en Inagro. Meer informatie over de onderzoeksresultaten zijn terug te vinden op <https://www.agroforestryvlaanderen.be/>

- Mengteelten

De meest gehanteerde mengteelt die momenteel –al dan niet succesrijk- het grootste areaal beslaat is gras/klaver, gevolgd door gras/luzerne en veldbonen/granen. De mengteelten met vlinderbloemigen worden besproken in het hoofdstuk ‘Innovaties: Vlinderbloemigen’. Vlinderbloemigen worden in de eerste plaats toegevoegd omwille van de N-fixatie, maar mengteelten kunnen ook de veerkracht van teelten verhogen. Naargelang de weersomstandigheden kan de ene of de andere component gaan domineren. Mengteelten kunnen ook een voordeel bieden bij kolonisatie van het gewas door ziekten en plagen. De grote uitdaging is echter om mengteelten in de huidige gemechaniseerde landbouw te kunnen uitvoeren. Voor gewascombinaties als gras/klaver en veldbonen/granen is dit meer voor de hand liggend dan bv. voor combinaties met groenten. Ook strokenteelt biedt mogelijkheden, maar wordt hier verder niet behandeld.

- Rustgewassen en rotaties

Landbouwers zijn zich sterk bewust van het belang van rotaties. Vruchtafwisseling en wisselbouw worden besproken in het hoofdstuk ‘Innovaties: Bodemkwaliteit’. In de rotatie kunnen gewassen opgenomen worden die de bodem meer in rust laten en die minder intensieve bewerking en/of bemesting en eventueel minder chemische gewasbescherming nodig hebben. Deze gewassen kunnen bijdragen aan de duurzaamheid van de landbouwproductie, zowel een specifiek deelaspect als er voor zorgen dat de vruchtbare bodems vandaag nog steeds vruchtbaar zijn voor een volgende generatie. Granen kunnen hier een voorbeeld van zijn, maar evengoed andere gewassen die toelaten om op tijd groenbedekkers (met functies als groenbemester, vanggewas, bodembedekking e.a.) te zaaien en te laten ontwikkelen in goede omstandigheden. Groenbedekkers kunnen trouwens ook een belangrijke rol spelen in zowel klimaatmitigatie als –adaptatie, zo bleek uit de uitgebreide review van Kaye en Quemada (2017). Het probleem is echter dat deze gewassen gewoonlijk geen cash-crops zijn en dat de landbouwer steeds minder financiële ruimte heeft om gewassen op te nemen die wel goed zijn voor de rotatie, maar weinig rendabiliteit hebben.

- Nieuwe en alternatieve gewassen

In de voorbije jaren zowel als op dit moment passeerden heel wat ‘nieuwe’ teelten de revue of werd de draad van heel wat teelten terug opgenomen in het onderzoek. Enkele voorbeelden zijn: vezelhennepe,

taraxacum, calendula, miscanthus, quinoa, sorghum, soja e.a. Veel van deze teelten hebben potentieel, ook in het kader van klimaatadaptatie of –mitigatie, maar hebben het moeilijk met de afzet van het product en/of een aangepaste teeltwijze in Vlaanderen ten opzichte van het oorsprongsgebied. Er werd beslist in de workshop om deze niet verder uit te werken in de literatuurstudie, maar ze zijn vermeldenswaardig omdat ze potentieel vertonen, maar het lastig hebben om een kritisch areaal te bereiken.

17.5.6 Conclusies

In tegenstelling tot de andere innovatiehoofdstukken van luik 3 geven we hier geen beoordeling van technieken. We wensen er via de hierboven beschreven scenario's en voorbeelden enerzijds op te duiden dat sleutelen aan een bestaande situatie een complex gevolg heeft voor meerdere andere aspecten van de bedrijfsvoering, maar anderzijds ook dat de financiële situatie van de Vlaamse landbouw een rem is op een aantal aspecten. Verder weten we ook wat theoretisch de gevolgen zijn van een veranderend klimaat op nutriëntenverliezen, maar kunnen gevolgen sterk verschillen naargelang de weersfenomenen die zich voordoen. Met een veranderend klimaat zal ook de variabiliteit toenemen. Het is wel duidelijk dat bij ingrijpende veranderingen aan de bedrijfsvoering best het totaalplaatje van zowel nutriëntenverliezen als klimaatimpact wordt doorgerekend. Voor de berekening van de klimaatimpact van een bedrijfsvoering verwijzen we naar het huidig lopende KLIMREK VLAIO-LA-traject waarin volledige LCA's (life cycle analysis) worden opgesteld en doorgerekend kunnen worden per bedrijf. Het project focust op melkvee, varkenshouderij en akkerbouw-aardappelen. Om terug te komen op een voorbeeld dat meermaals werd aangehaald in luik 3: wanneer het maïsaandeel in het rantsoen van melkvee wordt verlaagd ten voordele van het grasaandeel, om meer areaal te bekomen van een gewas met minder nitraatstikstofresidu, dan dient ook de impact van de N-emissie door het veranderend rantsoen en de klimaatimpact van het melkveebedrijf doorgerekend te worden. Kortom, dit is een warme oproep om bij nieuwe onderzoeksprojecten meer naar het totale plaatje van de landbouwbedrijven te kijken en niet naar deelaspecten. Dit werd ook sterk naar voor gebracht tijdens heel wat discussies in de workshops.

18.

LUIK 3 – INNOVATIES: CONCLUSIES

Voor de conclusies wordt verwezen naar de conclusie per Innovatie.

//
//

19.

LUIK 3 INNOVATIES: REFERENTIES

19.1 Innovatie 1 - Vlinderbloemigen

Angus JF, Gaul RR, Peoples MB, Stapper M, van Hawarden AF (2001). Soil water extraction by dryland crops, annual pastures and Lucerne in south-eastern Australia. *Aust J Agric Res* 52, 183–192.

Aulakh MS, Khera TS, Doran JW, Bronson KF (2001). Denitrification, N₂O and CO₂ fluxes in rice–wheat cropping system as affected by crop residues, fertilizer N and legume green manure. *Biol Fertil Soils* 34, 375–389.

Bélanger G, Michaud R, Jefferson P G, Tremblay G F, Brégarde A (2001). Improving the nutritive value of timothy through management and breeding. *Can J Plant Sci* 81, 109–119.

Bertelsen F, Jensen ES (1992). Gaseous nitrogen losses from field plots grown with pea (*Pisum sativum* L.) or spring barley (*Hordeum vulgare* L.) estimated by ¹⁵N mass balance and acetylene inhibition techniques. *Plant Soil* 142, 287–295.

Bloor JMG, Pichon P, Falcimagne R, Leadley P, Soussana JF (2010). Effects of warming, summer drought, and CO₂ enrichment on aboveground biomass production flowering phenology, and community structure in an upland grassland ecosystem. *Ecosyst* 13, 888–900.

Braum SM, Helmke PA (1995). White lupin utilizes soil phosphorus that is unavailable to soybean. *Plant Soil* 176, 95–100.

Cordain L (1999). Cereal grains: humanity's double-edged sword. In: Simopoulos, AP (Ed.), *Evolutionary Aspects of Nutrition and Health. Diet, Exercise, Genetics and Chronic Disease*. Karger, Basel, Switzerland, 19–73.

Crépon K (2006). Protein supply in Europe and the challenge to increase grain legumes production: a contribution of sustainable agriculture. In: AEP (Ed.) *Grain legumes and the environment: how to assess benefits and impacts*, Zurich, November 18–19, 2004. AEP & FAL, Paris, Frankrijk, 13–16.

De Vliegheer A, Vanden Nest T (2019). Vlinderbloemigen zaaien in het voorjaar. ILVO-mededeling 252 56p.

Dijkgraaf A (2020). Bier en boor beter dan Boch (en Haber). C2W, <https://www.c2w.nl/nieuws/bier-en-boor-beter-dan-bosch-en-haber>, geraadpleegd op 29 september 2020.

Dobbie KE, Smith KA (2003). Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67, 37–46.

Dosch P, Gutser R (1996). Reducing N losses (NH₃, N₂O, N₂) and immobilization from slurry through optimized application techniques. *Fertilizer Research* 43, 165–171.

Drinkwater LE, Snapp SS (2007). Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Adv Agron* 92, 163–186.

Dryanto S, Wang L, Jacinthe PA (2017). Global synthesis of drought on cereal, legume, tuber and root crops production: a review. *Agric water manag* 179, 18-33.

Entz MH, Bullied WJ, Forster DA, Gulden R, Vessey JK (2001). Extraction of subsoil nitrogen by alfalfa, alfalfa-wheat, and perennial grass systems. *Agron J* 93, 495-503.

European Environment Agency (2019). Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. 04/2019, 112p.

Fillery IRP (2001). The fate of biologically fixed nitrogen in legumebased dryland farming systems: a review. Aust J Exp Agric 41, 361–381.

Firestone MK, Davidson EA (1989). Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: Andreae M.O. and Schimel D.S. (eds) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop, Berlin, 7–21. Chichester, Verenigd Koninkrijk: Wiley.

Graham PH, Vance CP (2003). Legumes: importance and constraints to greater use. Plant Physiol 131, 872–877.
Gregorich EG, Drury CF, Baldock JA (2001). Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. Can J Soil Sci 81, 21–31.

Groenestein C.M. and Van Faassen H.G. (1996) Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. J Agric Eng Res, 65, 269–274.

Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2001). Interspecific competition, N use and interference in pea-barley intercropping. Field Crops Res 70, 101–109.

Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2003). The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. Nutr Cycl Agroecosyst 65, 289-300.

Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlman C, Dibet A, von Fraenkenstein P, Pristeri A, Monti M, Jensen ES (2009). Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. Field Crop Res 113, 64-71.

Hofer D, Suter M, Haughey A, Finn JA, Hoekstra NJ, Buchmann N, Lüscher, A (2016). Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summerdrought. J Appl Ecol, 53, 1023–1034.

Hopkins A, Del Prado A (2007). Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. Grass forage sci 62, 118-126.

IPCC (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Inst. for Global Strategies (IGES), Hayama

IPCC (2007) Climate change 2007: Synthesis report. Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Jacqmin G (2020). Resultaten officiële rassenproeven wintertarwe België, CRA-W Gembloux, België.

Jantalia CP, dos Santos HP, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR (2008). Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the south of Brazil. Nutr Cycl Agroecosyst 82, 161–173.

Jarvis SC (2005). N flow and N efficiency in legumes base systems: a system overview. In Wachendorf M, Helgadóttir, Parente G (eds) Workshop on sward dynamics, N-flows and forage utilization in legume-based systems, November 10-12 2005, Grado, Italy.



Jenkinson DS (2001). The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate agriculture. *Plant Soil* 228, 3–15.

Jensen ES, Hauggaard-Nielsen H (2003). How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant Soil* 252, 177-186.

Jensen ER, Peoples MB, Boddey RM, Gresshoff PM, Hauggaard-Nielsen H, Alves BJR, Morrison J (2012). Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron Sustain Dev* 32, 329-364.

Kayser M, Müller J, Isselstein J (2010). Nitrogen management in organic farming: comparison of crop rotation residual effects on yield, N leaching and soil conditions. *Nutr Cycl Agroecosyst* 87, 21-31.

Kirkegaard J, Christen O, Krupinsky J, Layzell D (2008). Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Res* 107, 185–195.

Komainda M, Küchenmeister K, Küchenmeister F, Breitsameter L, Wrange-Mönnig N, Kayser M, Isselstein J (2018). Forage legumes for future dry climates: Lower biomass losses of minor forage legumes compared to trifolium repens under conditions of periodic drought stress. *J agron crop sci* 205, 460-469.

Kumar K, Goh KM (2000). Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Adv Agron* 68, 197–319.

Latré J. (2020). Voedererwten en veldbonen. Presentatie voor de studiekering van rundveehouders Kester, Hogeschool Gent, 30 januari 2020, Kester, België.

Ledgard SF (2001). Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant Soil* 228, 43–59.

Lemke RL, Zhong Z, Campbell CA, Zentner RP (2007). Can pulse crops play a role in mitigating greenhouse gases from North American agriculture? *Agron J* 99, 1719–1725.

Macadam XMB, Del Prado A, Merino P, Estavillo JM, Pinto M, Gonzalez-Murua C (2003) Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N₂O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. *Journal of Plant Physiology*, 160, 1517–1523.

McCallum MH, Kirkegaard JA, Green T, Cresswell HP, Davies SL, Angus JF, Peoples MB (2004) Improved subsoil macroporosity following perennial pastures. *Aust J Exp Agric* 44, 299–307.

Monteny G, Bannink A, Chadwick D (2006) Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agric Ecosyst Env*, 112, 163–170.

Mosier A (2001) Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. *Plant Soil* 228, 17–27.

Nemecek T, Erzinger S (2005). Modelling representative life cycle inventories for Swiss arable crops. *Int. J. LCA* 10, 68–76.

- Nemecek T, von Richthofen JS, Dubois G, Casta P, Charles R, Pahl H (2007). Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Euro J Agronomy* 28, 380-393.
- Pannecouque J, Van Meensel J (2018). Rendabiliteit van sojateelt in Vlaanderen. ILVO-mededeling 242, ILVO, Merelbeke, België, 38p.
- Pannecouque J (2020). Sojateelt in Vlaanderen: een stand van zaken, presentatie tijdens de gebruikersgroepvergadering van het VLAIO-LA-traject Soy2Grow, ILVO, 16 januari 2020, Gent, België.
- Parkin TB, Kaspar TC (2006). Nitrous oxide emissions from corn–soybean systems in the Midwest. *J Environ Qual* 35, 1496–1506.
- Peoples MB, Baldock JA (2001). Nitrogen dynamics of pastures: nitrogen fixation inputs, the impact of legumes on soil nitrogen fertility, and the contributions of fixed nitrogen to Australian farming systems. *Aust J Exp Agric* 41, 327–346.
- Peoples MB, Boyer EW, Goulding KWT, Heffer P, Ochwoh VA, Vanlauwe B, Wood S, Yagi K, Van Cleemput O (2004). Pathways of nitrogen loss and their impacts on human health and the environment. In: Mosier AR, Syers KJ, Freney JR (eds) *Agriculture and the nitrogen cycle, the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*. Island, Coveloo, 53–69.
- Peoples MB, Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES (2009). The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. In: Emerich DW, Krishnan HB (eds) *Agronomy Monograph 52. Nitrogen Fixation in Crop Production*, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., and Soil Sci. Soc Am. Madison, Wisconsin, USA, 349–385.
- Pinto M, Merino P, Del Prado A, Estavillo JM, Yamulki S, Gebauer G, Piertzak S, Lauf J Oenema O (2004). Increased emissions of nitric oxide and nitrous oxide following tillage of a perennial pasture. *Nutrient Cycling in Agroecosyst*, 70, 13–22.
- Plaza-Bonilla D, Nolot JM, Raffailac D, Justes E (2015). Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations 212, 1-12.
- Pypers P, Huybrighs M, Diel J, Abaidoo R, Smolders E, Merckx R (2007). Does the enhanced P acquisition by maize following legumes in a rotation result from improved soil P availability? *Soil Biol Biochem* 39, 2555–2566.
- Rathke G-W, Wienhold BJ, Wilhelm WW, Diepenbrock W (2007). Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil Tillage Res* 97, 60–70.
- Rochette P, Janzen HH (2005). Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutr Cycl Agroecosyst* 73, 171–179.
- Rochester IJ, Peoples MB, Hulugalle NR, Gault RR, Constable GA (2001). Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems. *Field Crops Res* 70, 27–41.
- Ruz-Jerez BE, White RE, Ball PR (1994). Long-term measurement of denitrification in three contrasting pastures grazed by sheep. *Soil Biol Biochem* 26, 29–39.



Schjoerring JK, Mattsson M (2001). Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: measurements over two complete growth cycles of oil seed rape, wheat, barley and pea. *Plant Soil* 228, 105–115.

Schjoerring JK, Nielsen NE, Jensen HE, Gottschau A (1989). Nitrogen losses from field-grown spring barley plants as affected by rate of nitrogen application. *Plant Soil* 116, 167–175.

Siddique KHM, Johansen C, Turner NC, Jeuffroy MH, Hashem A, Sakar D, Gan Y, Alghamdi SS (2012). Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agron Sustain Dev* 32, 46-64.

SOPA (2020). World soybean production (<http://www.sopa.org/statistics/world-soybean-production/>), geraadpleegd op 29 september 2020.

Soussana JF, Tallec T, Blanfort V (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4, 334–350.

Stehfest E, Bouwman L (2006) N₂O and NO emissions from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutr Cycl Agroecosyst* 74, 207–228.

van Dijk W, van Eekeren N, van Middelkoop J, Velthof G (2020). Stikstofdynamiek bij maïs en gras in vruchtwisseling. Presentatie op de themadag Mais en gras: in vruchtwisseling of continueelt, Commissie bemesting grasland en voedergewassen, 10 februari 2020, Nijkerk, Nederland.

von Richthofen JS, Pahl H, Nemecek T, Odermatt O, Charles R, Casta P, Sombrero A, Lafarga A, Dubois G (2006). Economic interest of grain legumes in European crop rotations. GL-Pro Report, WP3.

Wagner-Riddle C, Thurtell GW, Kidd GK, Beauchamp EG, Sweetman R (1997). Estimates of nitrous oxide emissions from agricultural fields over 28 months. *Can J Soil Sci* 77, 135–144.

Whitehead DS (1995). *Grassland nitrogen*. CAB International, Wallingford, UK, 397p.

Willems P (2020). Urbanisatie en klimaatverandering: zowel meer droogte als meer overstromingen in Vlaanderen. Presentatie verzorgd in het kader van de studienamiddag Water Wijs op het Proefstation voor de Groenteteelt te Sint-Katelijne-Waver, KULeuven, 21 januari 2020.

Zentner RP, Lafond GP, Derksen DA, Nagy CN, Wall DD, May WE (2004). Effects of tillage method and crop rotation on nonrenewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian prairies. *Soil Tillage Res* 77, 125–136.

19.2 Innovatie 2 - Bodemkwaliteit

Altieri MA (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ* 74, 19–31.

Agneessens L, Vandecasteele B, Van De Sande T, Goovaerts E, Crappé S, Elsen A, Willekens K, De Neve S (2014). 'Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP4): Hoofdrapport', studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 149p.

Aziz I, Mahmood T, Khandakar RI (2014). Impact of long-term tillage and crop rotation on concentration of soil particulate organic matter associated carbon and nitrogen. Pak J Agri Sci 51, 827-834.

Bodemkundige Dienst van België (2020). Cslim 2.0. <https://bdbnet.bdb.be/pls/apex/f?p=131:48>

Bouwman AF, Boumans LJM, Batjes NH (2002). Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. Global Biogeochem Cycles 16, 1058.

Bremer E, Janzen HH, Ellert BH, McKenzie RH (2008). Soil organic carbon after twelve years of various crop rotations in an aridic boroll. Soil Sci Soc Am J 72, 970-974.

Chamen, WCT, Mowey AP, Towers W, Balana B, Hallett PD (2015). Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. Soil Tillage Res 146, 10-25.

Colombi T, Kirchgeßner N, Walter A, Keller T (2017). Root tip shape governs root elongation rate under increased soil strength. Plant Physiol 174, 2289–2301.

Colombi T, Torres LC, Walter A, Keller T (2018). Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – a vicious circle. Sci Total Environ 626, 1026-1035.

Degani E, Leigh SG, Barber HM, Jones HE, Lukac M, Sutton, P, Potts SG (2019). Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. Agric Ecosyst Environ 285.

De Waele J, Odeurs W, Elsen A, Vandecasteele B, De Vliegheer A, Haesaert G, Derycke V, Verlinden G, Bries J, Wittouck D, De Neve S (2014a). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/vanggewassen. Literatuurstudie. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 91 p.

De Waele J, De Vliegheer A, Vandecasteele B, Odeurs W, Elsen A, Haesaert G, Derycke V, Verlinden G, Bries J, Wittouck D, De Neve S (2014). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/vanggewassen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 164 p.

D’Hose T (2015). The effect of farm compost and crop rotation on chemical, physical and biological soil quality and crop yields. Phd thesis, Ghent University, Gent, België, 165p

De Clercq T (2017). The effect of long-term organic fertilization on the soil nitrogen and carbon dynamics. Phdthesis, KULeuven, Leuven, België, 124p.

//
//

De Neve S (2000). Modelling and non-destructive real-time monitoring of nitrogen mineralization from vegetable crop residues and from soil organic matter. Phd thesis. Ghent University, Gent, België, 181p.

Elsen F, Beckers V, Diels J, Van Orshoven J, Wauters S, Huybrechts M (2014). Praktijkonderzoek naar de toepassing van preventieve en remediërende maatregelen tegen bodemaantasting door bodemverdichting. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Overheid, Dep. Leefmilieu, Natuur en Energie, Afd. Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, door de Bodemkundige Dienst van België, het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (KU Leuven) en Thomas More (KU Leuven Associatie). 314p.

Gaudin ACM, Tolhurst TN, Ker AP, Janovicek K, Tortora C, Martin RC, Deen W (2015). Increasing crop diversity mitigates weather variations and improves yield stability. PLoS ONE 10.

Haunz FX, Maidl FX, Fischbeck G (1992). Effect of soil compaction on the dynamics of soil and fertilizer nitrogen under winter wheat. Z Pflanz Bodenkunde 155, 129–134.

Hoyt PB (1981). Improvement in soil tilth and rape seed emergence by lime application on acid soils in the Peace River region. Can J Soil Sci 61, 91–98.

Kollas C, Kersebaum KC, Nendela C, Manevski K, Muller C, Palosuo T, Armas-Herrera M, Beaudoine N, Bindi M, Charfeddine M, Conradt T, Constantin T, Eitzinger J, Ewert F, Ferrise R, Gaiser T, de Cortazar-Atauril IG, Giglio L, Hlavinka P, Hoffmann H, Hoffmann MP, Launay M, Manderscheid R, Mary B, Mirschel W, Moriondo M, Olesen JE, Ozturk I, Pacholskij A, Ripoche-Wachter D, Roggero PP, Roncossek S, Rotter RP, Ruget F, Sharif B, Trnka M, Ventrella D, Waha K, Wegehenkel M, Weigel HJ, Wu L (2015). Crop rotation modelling – A European model intercomparison. Europ J Agronomy 70, 98-111.

Johnston AE, Dawson CJ (2005). Phosphorus in agriculture and in relation to water quality. AIC, UK, 71p.

Johnston AE, Poulton PR (1992). The role of phosphorus in crop production and soil fertility: 150 years of field experiments at Rothamsted, United Kingdom. In: Schultz JJ (ed). Phosphate Fertilizers and the Environment. International Fertilizer Development Centre, Muscle Shoals, USA, 45-64

Johnston AE, Poulton PR, Coleman K (2009). Soil organic matter: It's importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. Adv Agron 101, 1-57.

Keller T, Sandin M, Colombi T, Horn R, Or D (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil Tillage Res 194, 104293.

Kristensen HL, Deboz K, McCarty GW (2003). Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. Soil Biol Biochem 35, 979-986.

Lin BB (2011). Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. Bioscience 61, 183–193.

Lucas RE, Davis JF (1961). Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients; Soil Sci 92, 177-182.

Maeda M, Zhao B, Ozaki Y, Yoneyama T (2003). Nitrate leaching in an Andisol treated with different types of fertilizers. Environ Pollut 121, 477–487.

Mengel K, Kirkby EA (1982). Principles of plant nutrition. 3rd Edition, International Potash Institute, bern, Zwitserland, 655p.

Minasny B, Mcbratney AB (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. Eur J Soil Sci 69, 39-47.

Mulier A, Nevens F, Meul M, Hofman G. (2005.) Indicatoren voor bodemkwaliteit. Ontwikkeling van een raamwerk en verkenning van de mogelijkheden voor monitoring op beleids- en bedrijfsniveau. Publicatie 16. Steunpunt Duurzame Landbouw, Gontrode, België, 32p.

Nash PR, Gollany HT, Liebig MA, Halvorson JJ, Archer DW, Tanaka DL (2017). Simulated soil organic carbon responses to crop rotation, tillage and climate change in North Dakota. J Environ Qual 47, 654-662.

Nevens F, Reheul D (2001) Crop rotation versus monoculture; yield, N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization. Netherlands J Agric Sci 49, 405-425.

Nevens F, Reheul D (2002). The nitrogen- and non-nitrogen-contribution effect of ploughed grass leys on the following arable forage crops: determination and optimum use. Europ J Agronomy 16, 57-74.

Nevens F, Reheul D (2003). The consequences of wheel-induced soil compaction and subsoiling for silage maize on a sandy loam soil in belgium. Soil Tillage Res 70, 175-184.

Nosalewicz A, Lipiec J (2014). The effect of compacted soil layers on vertical root distribution and water uptake by wheat. Plant Soil 375, 229-240.

Odeurs W, Vandervelpen D, Elsen A, De Vliegheer A, Ruyschaert G, D'Hose T, Bries J, Vandendriessche H (2019). Derogation monitoring network of farms under Directive 2008/64/EG (MAP 5) Final report: Period January 2016-May 2020. Study carried out under the authority of the Flemish Land Agency by the Soil Service of Belgium and Institute for Agricultural and Fisheries Research. 441p.

Pan G, Smith P, Pan W (2009). The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. Agric Ecosyst Environ 129, 344–348.

Ren L (2020). Evaluation of soil compaction : effects, prevention, alleviation and detection. Phd thesis, ghent University, Gent, België, 265p.



Reubens B, D'Haene K, D'Hose T, Ruyschaert G (2010). Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie. Bodembreed Interreg, ILVO, Merelbeke, België, 203p

Shcherbak I, Millar N, Robertson GP (2014). Global meta-analysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. *Proc Natl Acad Sci USA* 111, 9199–9204.

Soane BD, van Ouwerkerk C (1995). Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil Tillage Res* 35, 5–22.

Van de Ven G, Latré J, Tits M, Elsen F (2018). Demo 2015-2: Richtsnoeren voor een betere bodemvruchtbaarheid door het doorbreken van de monocultuur maïs, Bijlagen. Landbouwcentrum Voedergewassen vzw, Geel, België, 26p.

Vanden Nest T, Van de Sande T, De Boever M, Dekeyser D, Ruyschaert G (2019). Brongerichte erosiebestrijdingstechnieken bij groenten en maïs. Proefveldresultaten van het GOMEROS-project 2018. ILVO-mededeling 251, 243p.

Van Eekeren N, de Boer H, Hanegraaf M, Bokhorst J, Nierop D, Bloem J, Schouten T, de Goede R, Brussaard L (2010). Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. *Soil Biol Biochem* 42, 1491-1504.

Van Eerd LL, Congreves KA, Hayes A, Verhallen A, Hooker DC (2014). Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen. *Can J Soil Sci* 94, 303-315.

Vervoort L, Tits M, Vancampenhout K, Van de Ven G (2020). Van houtkant tot in de bodem. Praktijkgids in kader van het project Koester de Kempense Koolstof, uitgevoerd door Agrobeheercentrum Eco², Bodemkundige Dienst van België, Hooibeekehoeve en KU Leuven Campus Geel, met de financiële steun van LEADER Kempen Oost en de gemeenten Balen, Oud-Turnhout, Ravels en Retie.

White JW, Hoogenboom G, Kimball BA, Wall GW (2011). Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Res* 124, 357–368.

White CA, Sylvester-Bradley R, Berry PM (2015). Root length densities of UK wheat and oilseed rape crops with implications for water capture and yield. *J Exp Bot* 66, 2293–2303.

Willekens K (2016). Nitrogen dynamics in relation to soil management and soil quality in field vegetable cropping systems. Phd thesis, Ghent University, Gent, België, 176p.

Whitmore AP, Whalley WR, Bird NRA, Watts CW, Gregory AS (2010). Estimating soil strength in the rooting zone of wheat. *Plant Soil* 339, 363–375.

Zuber SM, Behnke GD, Nafziger ED, Villamil MB (2018). Carbon and nitrogen content of soil organic matter and microbial biomass under long-term crop rotation and tillage in Illinois, USA. *Agriculture* 8, 37.

19.3 Innovatie 3 – Precisielandbouw

Anoniem (2018). Toonpunt: Variabel bekalken op basis van bodemscan en GPS, Agreon, <https://www.agreon.be/nl/toonpunt/v/7/Variabel%20bekalken%20op%20basis%20van%20bodemscan%20en%20GPS/>

Anoniem (2020). What is the difference between precision, digital and smart farming?, Agrocares, <https://www.agrocares.com/en/news/precision-digital-smart-farming/#:~:text=Unlike%20with%20PA%2C%20the%20focus,used%20in%20a%20smart%20way.>

Argento F, Anken T, Abt F, Vogelsanger E, Walter A, Liebisch F (2020). Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. Precision Agriculture.

Blackmore BS, Wheeler PN, Morris J, Morris RM, Jones RJA (1994). The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Precision Agriculture. edited by P C Robert, RH Rust, WE Larson. (ASACSSA-SSSA. Madison, WI, USA) 773–793.

Bradbury S, Mackenzie C, Mackenzie J, Hedley C (2013). Precision irrigation as a tool to reduce nutrient leaching and runoff. University of New Zealand, Farmed Landscapes Research Centre, 5p.

Coopman F, Vandaele B, Cool S, Nuyttens D, Dekeyser D (2019). Correct bemesten met kunstmeststoffen. Brochure, 22p.

Cropwatch, extension service of the University of Nebraska-Lincoln. <http://cropwatch.unl.edu/>

FAO (2006). Belgium irrigation areas. <http://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/irrigation-by-country/country/BEL>

Griepentrog HW, Kyhn M (2000). Strategies for site specific fertilization in a highly productive agricultural region. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture. Edited by PC Robert, RH Rust and WE Larson. (ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA).

Haverkort AJ en Hillier JG (2011). Cool Farm Tool – Potato: Model Description and Performance of Four Production Systems. Potato Res 54, 355-369.

Janssens P, Reynaert S, Piccard I, Pauly K, Garré S, Dumont G, von Hebel C, Van Der Kruk J, Neumann Andersen M, Manevski K, Peng J, Kørup K, FASTERHOLT Maskinfabrik, Kamp J, Booij J (2020). Variable rate irrigation and nitrogen fertilisation in potato; engage the spatial variation (potential). 90 p.

Jin Z, Archontoulis SV, Lobell DB (2019). How much will precision nitrogen management pay off? An evaluation based on simulating thousands of corn fields over the US Corn-belt. Field Crops Res 240, 12-22.



Larson W, Lamb J, Khakural B, Ferguson R, Rehm, G (1997). Potential of Site-Specific Management for Nonpoint Environmental Protection. In: The State of Site-Specific Management for Agriculture. edited by F Pierce, E Sadler, (ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, 1997), Chapter 15, 337–367.

Leiva FR, Morris J, Blackmore BS (1997). Precision Farming Techniques for Sustainable Agriculture. Proceeding of the 1st European Conference on Precision Agriculture. edited by J. V. Strafford (BIOS Scientific Publishers Oxford, UK).

Marinello F, Gatto S, Bono A, Pezzuolo A (2017). Determination of local nitrogen loss for exploitation of sustainable precision agriculture: approach description. Engineering for Rural Development, 713-718.

Mollenhorst H, de Haan MHA, Oenema J, Kamphuis C (2020). Field and crop specific manure application on a dairy farm based on historical data and machine learning. Comput Electron Agric 175, 105599.

Morari F, Meggio F, Lunardon A, Scudiero E, Forestan C, Farinati S, Varotto S (2015). Time course of biochemical, physiological, and molecular responses to field-mimicked conditions of drought, salinity, and recovery in two maize lines. Front Plant Sci 6, 1-15.

PCG/PCA (2019). Irrigatiegids. Werktuigendagen 21-22 september 2019, 20p.

Redulla C, Havlin J, Kluitenberg G, Zhang N, Schrock M (1996). Variable N management for improving groundwater quality. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture. edited by PC Robert, RH Rust, WE Larson. (ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA) pp. 1101–1110.

Reindsen H (2018). Water op wielen, winst bij aardappelen weg. Nieuwe oogst, <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2018/08/03/water-op-wielen-winst-bij-aardappelen-weg>.

Roberts R, English B, Mahajanashetti S (2001). Environmental and economic effects of spatial variability and weather. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture. Edited by S. Blackmore and G. Grenier (AGRO, Montpellier, France). 545–550.

Schwalbert RA, Amando TJC, Reimche GB, Gebert F (2019). Fine-tuning of wheat (*Triticum aestivum*, L.) variable nitrogen rate by combining crop sensing and management zones approaches in southern Brazil. Precision Agric 20, 56-77.

Shiratani E, Tohara Y, Shikasho S, Inoue H (1997). Modeling of Nitrogen Discharge from a Barley Field. Rur Environ Engin 33, 37-53.

Smets S en Dillen J (2020). Leader Haspengouw 'Blik op de bodem', eindrapport. Rapport uitgegeven door PIBO-Campus vzw (promotor) en Bodemkundige Dienst van België vzw (partner) binnen LEADER-project 'Blik op de bodem' (HAS17/GG/LEA/05). Rapport, 2020/06/30, 43p.

Soto I, Barnes A, Balafoutis A, Beck B, Sánchez B, Vangeyte J, Fountas S, Van der Wal T, Eory V, Gómez-Barbero M (2019). The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 447p.

Tavernier G (2019). Waterkwaliteit en kostprijsberekening beregening, Demo beregeningstool. Presentatie bij bedrijfsbezoek 'Druppelirrigatie, diepdrainage en waterkwaliteit' 1 augustus 2019. <https://www.waterportaal.be/PUBLICATIES/Actueelnieuws/TabId/257/ArtMID/730/ArticleID/125/Presentatie-s-bedrijfsbezoek-Druppelirrigatie-diepdrainage-en-waterkwaliteit-2019.aspx>

Thrikawala S, Weersink A, Kachanoski G, Fox G (1999). 'Economic feasibility of variable rate technology for nitrogen on corn'. Am J Agric Econ 81, 914–927.

Tissot S, Miserique O, Mostade O, Huyghebaert B, Destain JP (2002). Uniformity of N-fertiliser spreading and risk of groundwater contamination. Irrig drain 51, 17-24.

Tits M., Coussement T, Nuyttens D, Amery F, Foqué D, Elsen F (2018). Bemestingsvrije stroken langs waterlopen. Bodemkundige Dienst van België vzw en Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek i.o.v. de Vlaamse Landmaatschappij. Eindrapport, 265p.

Torfs M (2020). Welk klimaat heeft België in 2100? 5 graden warmer, veel nattere winters en intensere hittegolven, waarschuwt KMI. NWS, 15 oktober 2020. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/10/14/klimaatrapport-kmi/>

Vaerten J (2018). Efficiëntie en uniformiteit van beregening in akkerbouwmatige teelten. Presentatie bij bedrijfsbezoek 'Druppelirrigatie, diepdrainage en waterkwaliteit' 1 augustus 2019. <https://www.waterportaal.be/PUBLICATIES/Actueelnieuws/TabId/257/ArtMID/730/ArticleID/125/Presentatie-s-bedrijfsbezoek-Druppelirrigatie-diepdrainage-en-waterkwaliteit-2019.aspx>

Vaerten J, Janssens P, Luys L, Palmans S (2020). Precisieberegening maakt waterbesparing mogelijk. Boer & Tuinder jaargang 126, N°44, 38-40.

Van Cauter C (2020). Politiebesluit betreffende het captatieverbod onbevaarbare waterwegen, provincie Oost-Vlaanderen 24 september 2020.

VILT (2019). Precisiebemesting: de toekomst van mest? <https://vilt.be/nl/nieuws/precisiebemesting-de-toekomst-van-mest>

19.4 Innovatie 4 - Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)

Anoniem (2020). Regeling eiwit in rundveevoeders: beperkte verbetering van N-benutting ten koste van productie, gezondheid en duurzaamheid, Schothorst feed Institute, 18 juni 2020.



<https://www.schothorst.nl/nl/nieuws/regeling-eiwit-in-rundveevoeders-beperkte-verbetering-van-n-benutting-ten-koste-van-productie-gezondheid-en-duurzaamheid/75>.

Burgos MS, Senn M, Sutter F, Kreuzer M and Langhans W (2001). Effect of water restriction on feeding and metabolism in dairy cows. *Am Journal Physiol-Reg I* 280, R418-R427.

Broderick GA, Brito AF and Colmenero JJO (2007). Effects of feeding formate-treated alfalfa silage or red clover silage on the production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 90, 1378-1391.

Broderick GA, Stevenson MJ, Patton RA, Lobos NE and Colmenero JJO (2008). Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 91, 1092–1102.

Brusselman E, Beck B, De Campeneere S, Demeyer P, Goossens K, Kerselaers E, Maertens L, Millet S, Reubens B, Riebbels G, Vandaele L, Vangeyte J, Zwervaegher I (2016). Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig van landbouw. Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek, 123p.

Carlton AJ, Cameron KC, Di HJ, Edwards GR, Clough TJ (2018). Nitrate leaching losses are lower from ryegrass white clover pastures containing plantain than from ryegrass white clover forages under irrigation. *New Zeal J Agr Res* 62, 150-172.

Castillo AR, Kebreab E, Beever DE, France J (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *J Anim Feed Sci* 9, 1-32.

Cheng L, Judson HG, Bryant RH, Mowat HA, Guinot L, Hague H, Taylor S and Edwards GR (2017). The effect of feeding cut plantain and perennial ryegrass white /cover pasture on dairy heifer feed and water intake, apparent nutrient digestibility and nitrogen excretion in urine. *Anim Feed Sci Technol* 229, 43-46.

Cohen DC (2001). Degradability of crude protein from clover herbages used in irrigated dairy production systems in northern Victoria. *Austr J Agric Res* 52, 415-425.

Cohen DC and Doyle PT (2001). Effect of sample preparation on in situ estimates of protein degradability for white clover herbages. *Aust J Exp Agric* 41, 619-624.

Curial S, De Boever J, De Campeneere S, De Cuyper C, Delezie E, Goossens K, Millet S, Molnar A, Vandaele L (2018). Mestproductie reduceren via voedermaatregelen. Stikstof- en fosfaatexcretie reduceren via voedermaatregelen bij rundvee, varkens en pluimvee in de context van de maximale actielijst ter verbetering van de waterkwaliteit 24.04.2018. Vlaamse landmaatschappij en Instituut voor Landbouw en Visserij- en Voedingsonderzoek, 79p.

de Boer HC, Zom RLG, Meijer GAL, (2006). Haalbaarheid vervanging soja in Nederlandse melkveerantsoenen. Lelystad: Animal Science Group / Veehouderij.

De Brabander D (2012). Wat kan je met melkureum? *Management en Techniek* 5, Boerenbond, 9 maart 2012.

De Brabander D, De Campeneere S, Ryckaert I, Anthonissen A (2012). Melkveevoeding. ILVO-Mededeeling 101, Vlaamse overheid, Beleidsdomein Landbouw en Visserij, 112p.

De Campeneere S, De Brabander DL and Vanacker JM (2006). Milk urea concentration as affected by the roughage type offered to dairy cattle. *Livest Sci* 103, 30-39.

De Vliegheer A, Vanden Nest T (2019) Vlinderbloemigen zaaien in het voorjaar. ILVO-mededeeling 252 56p.

Dijkstra J, Oenema O and Bannink A 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle : implications for methane emissions. *Curr Opin Env Sust* 3, 414–422.

Goossens K, Curial S, Van Overbeke P, Brusselman E, Vangeyte J, De Campeneere S (2018). Ammoniakemissie sturen via de eiwitvoorziening. Management en Techniek, boerenbond, 12 februari 2018.

Herremans S, Vanwindekens F, Decruyenaere V, Beckers Y, Froidmont E (2020). Effect of dietary tannins on milk yield and composition, nitrogen partitioning and nitrogen use efficiency of lactating dairy cows: A meta-analysis. *J Anim Physiol Anim Nutr* 0, 1–10.

Hristov AN, Hanigan M, Cole A, Todd R, McAllister TA, Ndegwa PM, Rotz A (2011). Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Can J Anim Sci* 91, 1-35.

Jayanegara A, Leiber F, Kreuzer M (2012). Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *J Anim Physiol Anim Nutr* 96, 365-75.

Judson HG, Fraser PM, Peterson ME, Edwards GR (2018). Specific genotypes of plantain (*Plantago lanceolata*) vary in their impact on sheep urine volume and nitrification in the urine patch. *Journal of New Zealand Grasslands* 80, 125-128.

Judson HG, Stewart AV, Moorhead AJ, Fraser TM, Peterson M, Kemp PD, Edwards GR (2019). The use of *Plantago lanceolata* to reduce nitrate leaching from the urine patch. In: Huguenin-Elie O, Studer B, Kölliker R, Reheul D, Probo M, Barre P, Feuerstein U, Roldán-Ruiz I, Mariotte P, Hopkins A (eds.) *Grassland science in Europe, Vol.24 – Improving sown grassland through breeding and management. Extended abstracts of the Joint symposium of EGF and EUCARPIA 24-27 June 2019.*

Kröber T, Külling D, Menzi H, Sutter F and Kreuzer M 2000. Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission from slurry. *J Dairy Sci* 83, 2941–2951.

Middelkoop J (2019). Hoger of juist lager eiwit in de graskuil: wil dat niet of kan dat niet? Presentatie op jaarlijkse themamiddag van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (CBGV): ‘Sturen op ruw eiwit in gras is mogelijk’, 8 februari 2019.

Min BR, Hart SP (2003). Tannins for suppression of internal parasites. *J Anim Sci* 81, 102-109.



Misselbrook TH, Powell JM, Broderick GA, Grabber JH (2005). Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *J Dairy Sci* 88, 1765-1777.

Navarrete S, Rodriguez MJ, Kemp PD, Hedley MJ, Horne DJ, Hanly JA (2018). The potential of plantain-based pastures to reduced nitrogen losses from dairy systems. In: Currie LD, Christensen CL (eds.) *Farm environmental planning – Science, policy and practice*. Occasional Report No. 31. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand. 7p.

Nijssen JMA, Schreuder R (1998). *Economie van droogte-tolerante gewassen. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden*. Lelystad-Nederland, 24p.

O'Connell CA, Judson HG, Barrel GK (2016). Sustained diuretic effect of plantain when ingested by sheep. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 76, 14-17.

Peyraud JL, Astigarraga L and Faverdin P (1993). The Digestion of Fresh Perennial Ryegrass Fertilized at 2 Levels of Nitrogen in Lactating Dairy-Cows. *Annales De Zootechnie* 42, 138-138.

Spek JW, Dijkstra J, Van Duinkerken G and Bannink A (2013). A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *J Agri Sci* 151, 407-423.

Steg A, Vanstraelen WM, Hindle VA, Wensink WA, Dooper FMH and Schils RLM (1994). Rumen Degradation and Intestinal Digestion of Grass and Clover at 2 Maturity Levels During the Season in Dairy-Cows. *Grass For Sci* 49, 378-390.

Tamminga S, Van Straalen WM, Subnel APJ, Meijer RGM, Steg A, Wever CJG, Blok MC (1994) The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. *Livest Prod Sci* 40, 139-155.

Vandaele L, Vandekerckhove E, Van Wesemael D, De Boever J, Ampe B, De campeneere S, Goossens K (2020). The effect of a low proteind iet, with and without amino acid supplementation, on the performance of lactating Holstein cows. Presentatie op ADSA Virtual Annual Meeting 22-24 juni 2020.

van den Bogaert T, Boussey K (2020). Ammoniakemissiereductie in rundveestallen 29.06.2020. Departement landbouw en Visserij D/2020/3241/219, 62p.

van der Schans DA (1998). *Ruwvoederproductie bij droogte: Kies voor zekerheid! Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt, themaboekje nr 21*, Lelystad-Nederland, 61p.

van Dijk (2020). Voermaatregel is van de baan. Melkvee 19 augustus 2020. https://www.melkvee.nl/artikel/361345-voermaatregel-is-van-de-baan/?tid=TIDP397598X862923057C4D4CF1BC9FFF785EC1A39AYI5&utm_campaign=2020_MV_Nieuwsbrief_wk34&utm_medium=Email&utm_source=E-mail&utm_content=20200820_MV_NB

Van Duinkerken G, Andre G, Smits MCJ, Monteny GJ and Sebek LBJ (2005). Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *J Dairy Sci* 88, 1099-1112.

Van Rossum, 2019. Smalle weegbree remt uitstoot broeikasgas. *Nieuwe Oogst*, 19 december 2019. <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2019/12/19/smalle-weegbree-remt-uitstoot-broeikasgas>

van Vuuren AM, Van Der Koelen CJ, Valk H, De Visser H (1993). Effects of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *J Dairy Sci* 76, 2982-2993.

Verhagen FJM, Laanbroek HJ, Woldendrop JW (1995). Competition for ammonium between plant roots and nitrifying and heterotrophic bacteria and the effects of protozoan grazing. *Plant Soil* 170, 241.

Whitehead DS (1995). *Grassland nitrogen*. CAB International, Wallingford, UK, 397pp

Wilgenhof S (2020). Inspelen op regeling minder eiwit in krachtvoer. *Elite*, 12 juni 2020. <https://www.vakbladelite.nl/2020/06/12/inspelen-op-regeling-minder-eiwit-in-krachtvoer/>

19.5 Innovatie 5 - Robuuster teeltsysteem

Brusselman E, Beck B, De Campeneere S, Demeyer P, Goossens K, Kerselaers E, Maertens L, Millet S, Reubens B, Riebbels G, Vandaele L, Vangeyte J, Zwertvaegher I (2016). Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig van landbouw. Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek, 123p.

Departement Landbouw en Visserij (2020). Voorlopige arealen landbouwteelten uit de verzamelaanvraag 2020. <https://lv.vlaanderen.be/nl/nieuws/voorlopige-arealen-landbouwteelten-uit-de-verzamelaanvraag-2020>

D'Haene K, Salomez J, De Neve S, De Waele J, Hofman G (2014). Environmental performance of nitrogen fertiliser limits imposed by the EU Nitrates Directive. *Agri Ecosyst Environ* 192, 67-79.

D'Haene K, Salomez J, Verhaeghe M, Van de Sande T, De Nies J, De Neve S, Hofman G (2018). Can optimum yield and quality of vegetables be reconciled with low residual soil mineral nitrogen at harvest? *Sci Hortic* 233, 78-89.

Gillespie AR, Jose S, Mengel DB, Hoover WL, Pope PE, Seifert JR, Biehle DJ, Stall T, Benjamin TJ (2000). Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. *Agroforest Syst* 48, 25-40.

Kaye JP en Quemada M (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agron Sustain Dev* 37, 17p.

Koninklijk Meteorologisch Instituut (2019). Klimatologische overzichten van 2018. <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimatologisch-overzicht/2018/zomer>

////////////////////////////////////
//

Nawara S., Vanden Nest T., Janssens P., Tits M., Odeurs W., Elsen A. (2020) Klimaatadaptieve praktijken voor het terugdringen van nutriëntenverliezen: een gerichte verkenning. Studie uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België en ILVO Plant in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. Eerste tussentijds rapport, resultaten van de workshop MAP-bepalingen en Innovaties, 20 mei 2020. 49 pp.

Poeplau C (2020). Grassland soil organic carbon stocks as affected by management intensity and climate change. Grassland Science in Europe, 25 – Meeting the future demands for grassland production, 375-383

Tei F, De Neve S, de Haan J, Lakkenborg Kristensen H (2020). Nitrogen management of vegetable crops. Agric water Manag 240, 106316.

Tsinkova P, Böhm C, Quinkenstein A, Freese D (2012). Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in temperate region: a review. Agroforest Syst 85, 133-152.

VILT (2020). Aardappelareaal moet volgend jaar met 15pct omlaag. VILT 26 oktober 2020, <https://vilt.be/nl/nieuws/aardappelareaal-moet-volgend-jaar-met-15-pct-omlaag>

Vlaamse Landmaatschappij (2019). Mestrapport 2019. 242p.