

VLAAMSE
LAND
MAATSCHAPPIJ



Vlaanderen
is open ruimte

Authority:

Flemish Land Agency

Koning Albert II-laan 15, 1210 Brussels

Climate adaptive practices to reduce nutrient losses: a targeted exploration

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

Samenvatting / Summary

02/06/2021

Consortium:

Soil Service of Belgium, and

Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food



Soil Service of Belgium
W. de Croylaan 48, 3001 Leuven-Heverlee



Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek
Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food
Burg. Van Gansberghelaan 92, box 1, 9820 Merelbeke

Projectconsortium:

Bodemkundige Dienst van België vzw

Sophie Nawara, Wendy Odeurs, Pieter Janssens, Mia Tits en Annemie Elsen

ILVO

Thijs Vanden Nest

**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/ Climate adaptive practices to reduce nutrient losses: a targeted exploration, 02/06/2021, samenvatting/summary. Studie uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België en ILVO Plant in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. 37 pp.

Stuurgroepleden:

Veerle Verguts (VLM), Koen Desimpelaere (VLM), Sébastien Janssens (VLM), Sofie Rombouts (VLM), Luc Gallopyn (VLM), Monique van Oeckel (VLM), Bart Willaert (VLM), Stijn Overloop (VMM), Karoline D'Haene (Onderzoeksplatform duurzame bemesting), Georges Hofman (Onderzoeksplatform duurzame bemesting), Marian Debonne (LV-Beleidsadviseur), Toon Dekeukelaere (Boerenbond), Mark Wulfrancke (ABS), Joost Salomez (Dep. Omgeving-Afd. Vlaams Planbureau voor Omgeving), An Dewaele (Beleidsmedewerker Klimaat), Koenraad Holmstock (Beleidsadviseur), Laurens Demeyer (BBLV), Freek Verdonckt (Natuurpunt)

INHOUD/TABLE OF CONTENT

1	SAMENVATTING	4
1.1	Doel	4
1.2	Aanpak	4
1.3	Klimaatverandering en landbouw	5
1.4	Luik 1 – Map Bepalingen	5
1.4.1	Optimalisatie van N-bemestingspraktijken	5
1.4.2	Optimalisatie van de opvolging van N-bemestingspraktijken	6
1.4.3	Vanggewassen en teeltcombinaties	7
1.4.4	Mestopslag en stallen	8
1.4.5	Sluiten van de nutriëntencyclus	9
1.5	Luik 2 – Gefractioneerde bemesting in aardappelen en maïs	10
1.5.1	Overzicht bestaande technieken en mogelijkheden voor het fractioneren van bemesting.	10
1.5.2	Opstellen van afwegingskader om de technieken te evalueren.	12
1.5.3	Aanduiden van de best beschikbare fractioneringstechnieken voor aardappelen en maïs.	13
1.6	Luik 3 – Innovatie	14
1.6.1	Innovatie 1: Vlinderbloemigen	14
1.6.2	Innovatie 2: Bodemkwaliteit	15
1.6.3	Innovatie 3: Precisielandbouw	16
1.6.4	Innovatie 4: Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)	17
1.6.5	Innovatie 5: Robuuster teeltsysteem	18
1.7	Algemene conclusie	18
2	SUMMARY	21
2.1	Purpose	21
2.2	Approach	21
2.3	Climate change and agriculture	22
2.4	Part 1: measures from the Manure Action Programme (MAP)	22
2.4.1	Optimising N fertilisation practices	22
2.4.2	Optimising follow-up of N fertilisation practices	23
2.4.3	Catch crops and culture combinations	24
2.4.4	Manure storage and stables	25
2.4.5	Closing the nutrient cycle	26
2.5	Part 2: differentiated fertilisation in potatoes and maize	27
2.5.1	Review of current techniques and possibilities of differentiated fertilisation	27
2.5.2	Set-up of an evaluation framework for the techniques	29
2.5.3	Identification of the best-available fertilisation differentiation techniques for potatoes and maize.	29
2.6	Part 3: Innovations	30
2.6.1	Innovation 1: Legumes	30
2.6.2	Innovation 2: Soil quality	31
2.6.3	Innovation 3: Precision agriculture	32
2.6.4	Innovation 4: Tackling emissions at the source (in the ration)	33
2.6.5	Innovation 5: More robust cropping systems	34
2.7	General conclusions	34
3	Referenties/references.....	37

1 SAMENVATTING

1.1 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 klimaatadaptieve landbouw in Vlaanderen, om zo verder nutriëntenverliezen te beperken (luik 3).

1.2 AANPAK

Zowel voor de MAP-bepalingen met betrekking tot mestproductie en -gebruik (Luik 1) als voor potentiële innovaties (Luik 3) 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. De experts hebben op basis van deze groepsdiscussies vijf MAP-bepalingen en vijf innovaties gekozen die naar hun inzicht het meeste potentieel bieden voor een verdere beheersing van nutriëntenverliezen in een veranderend klimaat. Dit betekent niet dat niet gekozen innovaties/bepalingen geen positief effect zouden hebben naar nutriëntenverliezen bij een aanpassing ervan. Zo werd bijvoorbeeld voor de MAP-bepaling betreffende de uitrijregeling verkozen om deze niet mee op te nemen uit vrees dat een complexere wetgeving contraproductief zou zijn. Inzetten op sensibilisering vond men hierbij belangrijker. Voor de MAP-bepalingen gerelateerd aan mest werd gesteld dat het vooral belangrijk is om de huidige bepalingen beter uit te voeren, en dat het klimaat hiervoor een hefboom kan zijn. Ook bij de innovaties moest men een keuze maken. Zo gaven experts aan dat hydrocultuur en serre- en containerteelten wel geschikt zijn voor het sluiten van de nutriëntencyclus, maar dat er economische beperkingen zijn, en ook de toegang tot voldoende water kan hier een probleem zijn. Ook bodemstimulantia werden niet opgenomen, ondanks dat ze vaak goed presteren op laboschaal, omdat de stap naar het praktijkveld nog te moeilijk is.

In een tweede stap voerden de onderzoekers een diepgaande analyse uit via literatuuronderzoek van de vijf geselecteerde MAP-bepalingen en van de vijf geselecteerde innovaties. Op basis van deze diepgaande analyse werden conclusies getrokken naar beleid, naar kennishiaten, naar onderzoeksnoden, enz. In deze samenvatting worden de conclusies van het literatuuronderzoek voor de vijf geselecteerde MAP-bepalingen en de vijf innovaties besproken.

Voor de mogelijkheden voor fractionering van de stikstofbemesting bij aardappelen en maïs (Luik 2) 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.

1.3 KLIMAATVERANDERING EN LANDBOUW

Er wordt voorspeld dat klimaatverandering in Vlaanderen zal leiden tot een hogere gemiddelde jaartemperatuur, nattere winters (KMI, 2020) en droge zomers die gepaard gaan met intense neerslagevents (Willems, 2020).

Droogte kan leiden tot een verminderde gewasproductie, hetgeen kan leiden tot het niet opnemen van de toegevoegde nutriënten aan de bodem. Het effect van droogte op de totale biomassa-productie is sterk afhankelijk van het tijdstip van de droogte en de gewasontwikkelingsfase op dat moment. Zo zijn gewassen gevoeliger voor droogte tijdens de reproductieve dan tijdens de vegetatieve fase (Daryanto et al., 2017). De opgelopen schade is meestal onomkeerbaar. Hogere temperaturen in het najaar kunnen dan weer leiden tot een verlenging van het groeiseizoen. Zo kon men de laatste jaren steeds later op het jaar nog redelijke grassneden maaien, hetgeen ook gepaard gaat met een hogere stikstofopname. Klimaatverandering en meer extreme weersomstandigheden kunnen dus via verschillende wegen een invloed hebben op de biomassa-productie. De invloed op nutriëntenverliezen is bijgevolg moeilijk betrouwbaar in te schatten. Bovendien leiden verhoogde atmosferische CO₂-concentraties 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 de N-opname moeilijk in te schatten is. Klimaatverandering heeft ook een invloed op de plantbeschikbare stikstof doordat het de mineralisatie van organische stof in de bodem beïnvloedt.

1.4 LUIK 1 – MAP BEPALINGEN

1.4.1 Optimalisatie van N-bemestingspraktijken

Een aanpassing van de bemestingsnormen biedt geen antwoord op het reduceren van nutriëntenverliezen door klimaatverandering aangezien deze de gewasgroei, en bijgevolg de N-opname, minder voorspelbaar maakt. Zelfs bij een optimale bemestingshoeveelheid in functie van de teelt en het perceel kunnen ongunstige omstandigheden leiden tot een suboptimale N-opname door de plant. Het effect van droogte op de groei en N-opname van de plant zal sterk afhankelijk zijn van het tijdstip van de droogte en het ontwikkelingsstadium van de teelt op dat moment. Hierdoor kan op het einde van het teeltseizoen een hoger nitraatresidu opgemeten worden met een verhoogde kans op N-uitspoeling. Het toedienen van de totale N-bemesting in verschillende dosissen (bijbemesten) biedt wel potentieel om beter te bemesten volgens de gewasontwikkeling en rekening te houden met groeiomstandigheden en de kans op een verhoogd nitraatresidu door afwijkende weersomstandigheden te verkleinen. Bijbemesten wordt reeds toegepast in verschillende teelten: granen, groenten, suikerbieten (indien dosis > 160 kg N/ha) en grassen. Vooral in de aardappelteelt is nog vooruitgang te boeken om via bijbemesten verdere nutriëntenverliezen te vermijden, omwille van het grote areaal, omdat het gewas droogtegevoelig is en omdat bijbemesten in deze teelt op dit moment minder wordt toegepast. Aardappelen hebben relatief gezien een hoge N-bemesting nodig en hebben een lage N-benutting, waardoor deze teelt een hoger risico heeft op een hoog nitraatresidu. Het toepassen van een bijbemesting bovenop een aangepaste basisbemesting biedt voor deze teelt dus potentieel om nutriëntenverliezen te verminderen. Belangrijk bij het toepassen van een bijbemesting bij aardappelen is dat deze toegediend wordt vóór 60 dagen na opkomst, omdat nadien de N-opname door de aardappelplant daalt en het is uiteraard de bedoeling om de bemesting

bij te sturen op het moment dat de aardappelen nog veel N opnemen. Uit een analyse van bodemstalen in 2019 waar een tussentijds bodemstaal genomen werd, was bij 66% van de stalen reeds voldoende of meer dan voldoende N aanwezig en moest er niet bijbemest worden na het uitvoeren van het basisbemestingsadvies. Dit toont aan dat het nuttig is om de totale bemesting op te splitsen. Een staalname om te bepalen of een bijbemesting noodzakelijk is is nuttig bij zowel het gebruik van kunstmest en/of dierlijke mest bij de basisbemesting. Indien de basisbemesting (deels) gebeurd is door dierlijke mest stijgt het belang van een tussentijdse staalname, aangezien de exacte samenstelling van dierlijke mest meestal niet gekend is.

Indicatoren om te bepalen of bijbemest moet worden kunnen gewasgerelateerd (bv. stikstofreferentievenster, bladsteeltjesmethode,) of bodemgerelateerd zijn (op basis van een bodemstaalname). Aandachtspunten bij de bodemstaalname zijn het tijdstip van de staalname en de staalnamediepte, die verschillen afhankelijk van de teelt. Cruciaal bij het uitbouwen van bijbemesting is dat de adviessystemen hierin volgen. Hiervoor zijn er meerdere opties. 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 wellicht niet mogelijk en nodig is om op alle percelen en voor alle verbouwde teelten een staal te nemen, zowel praktisch als economisch gezien, is het een optie om per bedrijf beredeneerd stalen te nemen en in elke periode een aantal percelen te bemonsteren.

Een goede stikstofopname door de plant vereist ook voldoende water in de bodem. Met de toenemende droogte door de klimaatverandering verhoogt het risico op een suboptimale N-opname. Irrigatie tijdens droogteperiodes kan zorgen voor een betere N-benutting en bijgevolg voor een lager N-residu en dus minder risico op N-verliezen. Lokaal kan irrigatie een oplossing bieden voor de droogte. Niet alle regio's beschikken echter over voldoende watervoorraden om dit toe te kunnen passen. 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.

1.4.2 Optimalisatie van de opvolging van N-bemestingspraktijken

De meting van het nitraatresidu (1/10-15/11) op zich is klimaatrobuust. Het nitraatresidu is sterk afhankelijk van een aantal in- en outputfactoren van N in de bodem. Inputfactoren die mee het nitraatresidu bepalen zijn 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. Outputfactoren die mee het nitraatresidu bepalen zijn N-uitspoeling gedurende het teeltseizoen, vervluchtiging en denitrificatie, bewortelingsdiepte en N-opname door het gewas en bewortelingsdiepte en N-opname door vanggewassen. Deze factoren vertonen op zich reeds enige variatie onafhankelijk van de 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 organische stof in de bodem, de N-opname door het gewas en door vanggewassen, 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.

Deze literatuurstudie beschreef verschillende alternatieven om bemestingspraktijken te evalueren en aanvullingen ter verbetering van de relatie nitraatresidu – uitgevoerde bemestingspraktijken.

- Referentiepercelen waarop jaarlijks het nitraatresidu bepaald wordt, kunnen dienen om een nitraatlimietwaarde te bepalen per teelt en bodemtextuur (bv. systeem APL in Wallonië). Deze referentiepercelen ondergaan een correcte landbouwpraktijk en reflecteren de

praktijksituatie zowel op vlak van toegepaste technieken als van grondsoort, klimaat en perceelshistoriek. Door de diversiteit aan teelten en bodemtexturen in Vlaanderen zouden er een heel aantal percelen moeten opgenomen worden. Als alternatieve variant van deze regelgeving kan een nitraatlimietwaarde worden gedefinieerd op basis van een percentiel van de gemeten praktijkstalen (per teelt, per bodemtextuurklasse).

- Evaluatie van de juistheid van de landbouwpraktijken afhankelijk van klimatologische indicatoren (bv. droogte-indicator of neerslagoverschot). Hierbij varieert de nitraatresidudrempelwaarde waarmee perceelwaarden vergeleken worden afhankelijk van het klimaat van het afgelopen seizoen. Deze aanpak vereist nog verder onderzoek, zoals wat de exacte invloed is van droogte/regenval op de gewasproductie in Vlaanderen en hoe de nitraatresidudrempelwaarde varieert afhankelijk van de klimatologische indicatoren. Deze variatie in de nitraatresidudrempelwaarde op basis van de klimatologische indicatoren is dan louter ter evaluatie van de juistheid van de uitgevoerde landbouwpraktijken, en staat los van de vereiste nitraatresidudrempelwaarde waaraan voldoen moet worden ter compatibiliteit met de nitraatrichtlijn, hetgeen ook een belangrijk gegeven blijft.
- Een tussentijdse evaluatie van de bemesting is mogelijk door een bodemstaalname te doen vanaf vier weken na de bemesting (om zo de mineralisatie van dierlijke mest mee in rekening te brengen). Deze tussentijdse evaluatie van de bemesting wordt idealiter dan mee opgenomen in het kader van fractionatie van de bemesting en optimalisatie van de bemestingsadviezen.
- Er moet opgemerkt worden dat bewustmaking bij landbouwers een belangrijk punt blijft. Dit heeft onrechtstreeks invloed op nutriëntenverliezen. Een mogelijk instrument ter sensibilisering is de N-balans waarmee landbouwers doorheen het seizoen inzicht kunnen krijgen in het verwachte nitraatresidu. Het kan landbouwers helpen in een beslissing of een bijbemesting nog effectief gegeven moet worden.

1.4.3 Vanggewassen en teeltcombinaties

Vanggewassen reduceren het risico op stikstofverliezen door uitspoeling. Vanggewassen dragen ook bij aan klimaatmitigatie door het reduceren van N₂O-emissies en door extra C-sequestratie in de bodem. Het belang van vanggewassen voor het tegengaan van nitraatuitspoeling zal bij een veranderend klimaat toenemen. Hogere temperaturen in het najaar kunnen namelijk leiden tot meer mineralisatie en bijgevolg tot een hoger risico op nitraatuitspoeling. Bovendien worden er bij klimaatverandering nattere winters voorspeld hetgeen ook het risico op nitraatuitspoeling verhoogt.

Er wordt bij klimaatverandering verwacht dat er hogere temperaturen in de zomermaanden zullen zijn en dat ook de hittegolven zullen toenemen, ook in september. Deze extreme omstandigheden kunnen aanzienlijke implicaties hebben op de kieming en groei van vanggewassen, met nefaste gevolgen voor stikstofopname indien er onvoldoende gewasontwikkeling is. De auteurs denken dat de klimaatverandering eerder een beperkte invloed zal hebben op het eventueel verlaten van inzaaidata van vanggewassen (m.a.w. of later inzaaien mogelijk is) aangezien een volledige gewasontwikkeling beperkt kan worden door daglengte en lichtintensiteit, dewelke niet zullen wijzigen bij klimaatverandering. 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. 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. Zachtere winters verhogen ook de kans op het voorkomen van een vorstperiode gevolgd door een warmere periode waar mineralisatie van het doodgevroren gewas kan plaatsvinden met mogelijk extra nutriëntenverliezen als gevolg doordat de winters voorspeld worden natter te zijn.

Enkele zaken waar verder op kan ingezet worden ter beperking van nutriëntenverliezen zijn het gebruik van vanggewassen in september bij de vollegrondssierteelt, en het onder- of gelijk zaaien van een vanggewas bij maïs. Bovendien loont het om in te zetten op rotatiegerichte systemen waardoor de algemene bodemkwaliteit en de weerbaarheid van de gewassen en de bodem tegen klimaatverandering verhoogt, met een gunstig effect op de stikstofhuishouding van het bodemplantensysteem (bv. wintergranen na late aardappelen, een vanggewas na vroege aardappelen dewelke dan weer gevolgd kan worden door een graangewas,...). Ook het afstappen van de monocultuur maïs en het inzetten op vruchtwisseling heeft een positief effect op de bodemkwaliteit. Zo zorgt vruchtrotatie voor een stijging van het organische-stofgehalte van de bodem, is er minder stikstof nodig om eenzelfde opbrengst te behalen en zorgt het voor een verminderd verband tussen oogst en weersomstandigheden. Om vroege mineralisatie van afgestorven vanggewassen op te vangen, kan een combinatie van vorst- en niet-vorstgevoelige gewassen gebruikt worden.

Flexibiliteit in inzaaidata kan een oplossing bieden voor het toenemend risico op droogte tijdens de inzaaiperiode, waarbij steeds gestreefd moet worden naar een maximale N-opname door de vanggewassen. Een mogelijke optie ter flexibiliteit is om de uiterste zaaidata aan te houden, maar jaarlijks op basis van de weersomstandigheden te evalueren of deze datum opgeschoven zou moeten worden. Het is echter belangrijk om striktheid in de zaaidata aan te houden aangezien ze nog steeds tot doel hebben een maximale stikstofopname te realiseren. Daarom moet men niet tot het laatste moment wachten om vanggewassen in te zaaien.

1.4.4 Mestopslag en stallen

In het algemeen is de efficiëntie van de huidige maatregelen om nutriëntenverliezen te vermijden vanuit mest aanwezig in stallen of tijdens de mestopslag eerder beperkt onderhevig aan klimaatverandering. Er is nog verdere optimalisering mogelijk van de huidige technieken die nutriëntenverliezen verder kunnen reduceren, alsook een betere implementatie van de huidige technieken in de praktijk. Specifiek betreffende mestopslag en stallen kan klimaatverandering, en meer specifiek de hogere temperaturen, leiden tot meer hittestress bij dieren en bijgevolg tot stalaanpassingen (bv. vernevelingsinstallaties, meer ventilatoren), deze laatste kan leiden tot een verhoogd risico op ammoniakemissies. Piekregens kunnen leiden tot een hoger risico op puntverliezen bij de opslag van mest op kopakkers. Hogere temperaturen op zich kunnen uiteraard leiden tot meer emissies van broeikasgassen en ammoniak uit mest. In wat volgt wordt besproken hoe nutriëntenverliezen gerelateerd aan mestopslag en stallen verder gereduceerd kunnen worden.

Reductie van nutriëntenverliezen bij mestopslag

Ammoniakemissies tijdens de opslag van mengmest kunnen gereduceerd worden door: (i) Het verkleinen van het mestoppervlak. Dit is enkel mogelijk bij de bouw van een nieuwe opslagstructuur. (ii) Het afdekken van opslagplaatsen van mengmest: silo's en tanken met een deksel, dak of tentstructuur. Een minimale ventilatie blijft noodzakelijk zodat ontvlambare gassen zoals methaan zich niet opstapelen. (iii) 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. (iv) Het afdekken van grotere 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. (v) Het gebruik van opslagzakken. De zakgrootte is hierbij wel limiterend voor de hoeveelheid mest die opgeslagen kan worden. (vi) Een anaerobe vergistingsinstallatie. Echter, bij het uitrijden is er dan een hogere ammoniakemissie wat opgevangen moet worden door een aangepaste aanwendingswijze van de meststof.

Broeikasgasemissies bij de opslag van mest kunnen gereduceerd worden door te zorgen voor een aerobe opslag (met beluchting) van vaste mest en mengmest en door verdikking en afdekking van mesthopen. De opslag van mest op de kopakker kan mogelijk een groter risico op stikstofuitspoeling vertonen bij klimaatverandering door meer piekregens en nattere winters. Een verlenging van de periode van verplichte afdekking kan mogelijks 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 (Nelissen et al., 2015).

Afgesloten systemen buiten de stal zoals een externe mestopslag of mestsilos waarnaar de mest regelmatig doorgepompt worden kunnen gemakkelijk uitgerust worden met een lekdetectie, om zo nutriëntenverliezen sneller te detecteren en sneller in te grijpen om deze verliezen in te perken. Bovendien is in deze externe mestopslag homogenisatie van de mest gemakkelijker en worden emissies door ventilatie in de stal vermeden.

Reductie van nutriëntenverliezen uit stallen

Voor de reductie van broeikasgasemissies vanuit stallen wordt een mogelijkheid gezien in het frequenter verwijderen van de mest. Betreffende de optimalisatie van stallen ter reductie van ammoniakemissies wordt een onderverdeling gemaakt in rundveestallen, varkensstallen en pluimveestallen. 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 van deze mogelijkheid zijn de kost van water, de extra mestopslag, het groter uit te rijden volume mest (verdunningseffect) en putten die sneller vol zijn waardoor het risico op uitrijden op een minder gunstig moment voor gewas en bodem verhoogt. Verder kan men ook kijken naar het ventileren van stallen met luchtwassers. In varkenstallen kan ammoniakemissie gereduceerd worden door het emitterend 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 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 echter 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 een emissiereductie is.

1.4.5 Sluiten van de nutriëntencyclus

In Vlaanderen is er een nutriëntenoverschot. De intensieve veeteelt in Vlaanderen creëert een mestaanbod dat groter is dan de mogelijke mestafzet op Vlaamse landbouwgronden. Dit verhoogt het risico op oneigenlijk gebruik van mest op landbouwgrond, en dus het risico op nutriëntenverliezen. Het mestoverschot wordt mede veroorzaakt door de import van veevoeder, waardoor ook nutriënten geïmporteerd worden. 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. Deze laatste worden vervolgens uitgevoerd buiten Vlaanderen. Sinds 2008 is er een sterke stijging van de totale verwerking. Om de veestapel en de mestproductie niet verder te laten toenemen en om overbesteding te vermijden, werd het systeem van de mestbalans en nutriëntenhalte opgesteld. In de huidige implementatie (wijziging van nutriëntenhalte naar nutriëntenemissierechten) zijn er echter weinig linken met het risico op nutriëntenverliezen. De mestbalans die berekend wordt voor de landbouwbedrijven houdt bovendien enkel rekening met gewascondities bij gemiddelde

omstandigheden. Zoals hierboven reeds vermeld, kunnen aangepaste praktijken helpen een antwoord te geven bij een veranderend klimaat.

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 in de nabije omgeving geproduceerd wordt en niet van ver geïmporteerd wordt. Finaal bekomt men dan hoe groot de veestapel kan zijn om dit systeem aan te houden.

Inperken van de veestapel op Vlaamse of Europese schaal zonder dat er een daling in consumptie is, zal leiden tot een verplaatsing van de productie naar andere werelddelen hetgeen niet leidt tot een duurzame voedingsketen op wereldschaal. Zo gaat bijvoorbeeld de West-Europese efficiënte productie bij runderen gepaard met relatief weinig broeikasgasemissies per eenheid melk/vlees. Bovendien moeten bij elke keuze milieuaspecten, economische en sociale aspecten op elkaar afgestemd zijn. 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 kunstmeststof kan een belangrijke stap zijn in een circulaire economie omdat het zal leiden tot een lager gebruik van kunstmest. Voorgestelde criteria voor het gebruik van de Recovered Nitrogen from manURE (RENURE) als kunstmest zijn onder andere: i) dat het gaat over dierlijke mest, ii) dat de verhouding van minerale N op totale N groter dan of gelijk is aan 90% of de verhouding van totale organische koolstof (TOC) op het totale N-gehalte kleiner dan of gelijk is aan 3, iii) dat er niet meer dan 300 mg koper (Cu) per kg droge stof en 800 mg zink (Zn) per kg droge stof aanwezig is.

Het sluiten van de nutriëntencyclus zal bemoeilijkt worden bij klimaatverandering. Uit een Europese studie (Tostivint et al., 2016) blijkt dat verschillende maatregelen getroffen kunnen worden voor het beter sluiten van de nutriëntencyclus. Een belangrijk deel van de voorgestelde maatregelen wordt reeds voorzien in Vlaanderen (bv. vanggewassen, bemesten volgens de vier J's). Voor sommige maatregelen zijn er wel nog optimalisaties mogelijk, zoals bijvoorbeeld het verbeteren van het bemestingsplan voor N en P door het toepassen van fractionering, een aanpassing aan de veerantsoenen om broeikasgasemissies te verminderen, optimalisatie van de opslag van mest en van de stallen, die elk kunnen leiden tot verminderde nutriëntenverliezen via uitspoeling en/of luchtemissies.

1.5 LUIK 2 – GEFRACIONEERDE BEMESTING IN AARDAPPELEN EN MAÏS

1.5.1 Overzicht bestaande technieken en mogelijkheden voor het fractioneren van bemesting.

Een duurzaam en robuust nutriëntengebruik met beperkte nutriëntenverliezen en een efficiënte inzet van nutriënten wordt bereikt door nutriënten te voorzien wanneer de plant er nood aan heeft, op een voor de plant gemakkelijk bereikbare plaats en in een vorm die de plant kan opnemen en/of verliezen beperkt. Differentiatie van de bemesting in tijd en ruimte is met andere woorden een instrument om de stikstofbenutting te verbeteren en verliezen naar water en lucht te beperken.

Enkele oorzaken van een mindere benutting zijn een ondiep wortelstelsel, een beperkte worteldichtheid, een ruime rijafstand en het telen op ruggen. Al deze aspecten zijn van toepassing op aardappelen en maïs, waar ruimtelijke differentiatie van de bemesting mogelijkheden kan bieden.

Drie mogelijkheden voor ruimtelijke differentiatie worden uitgelicht.

- Rijenbemesting is de meest gekende methode van ruimtelijke fractionering. De nutriënten worden in of vlak naast de plantenrij toegediend; onder, boven of naast het zaad. Rijenbemesting in aardappelen geeft niet noodzakelijk hogere opbrengsten maar biedt mogelijkheden om de stikstofbemesting te verminderen. In maïs kan door rijenbemesting 25 % minder stikstof worden toegediend zonder effect op de opbrengst. Rijenbemesting gebeurt doorgaans nog met minerale N. Rijenbemesting met vloeibare dierlijke mest is mogelijk maar is nog geen gangbare praktijk. Een belangrijk voordeel van rijenbemesting is de emissiearme toediening en de mogelijkheden voor een kleiner nitraatresidu.
- Fertigatie is de gecombineerde en gelijktijdige toediening van meststoffen en water. Fertigatie is niet enkel een vorm van 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. Deze techniek biedt zeker in dergelijke teelten mogelijkheden. In aardappelen werden hogere opbrengsten waargenomen bij een lagere bemesting. Ook in maïs werd in Frankrijk en Italië een verhoogde stikstofefficiëntie door fertigatie aangetoond. Omwille van de kost is deze praktijk eerder in aardappelen dan in maïs economisch verantwoord.
- Bladbemesting is een derde en uiterste vorm 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 bemesting kan nooit volledig ingevuld worden via bladbemesting. In aardappelen kan het fungeren als onderdeel van de bemestingsstrategie. In maïs is bladvoeding nog eerder als een correctie in moeilijke omstandigheden beproefd. Toch blijkt bladvoeding in maïs in stressomstandigheden net minder effect te hebben dan in een vitaal gewas. Op een goed groeiend gewas kan bladvoeding in maïs wel tot hogere opbrengsten leiden.

Andere redenen die aangehaald worden voor een mindere stikstofbenutting zijn de teeltperiode, de opnamesnelheid en eventueel het opnamepatroon. Temporele differentiatie van de bemesting zorgt voor een aanbod wanneer de teelt er nood aan heeft.

De bemesting differentiëren in de tijd kan door de bemesting gesplitst toe te dienen. In aardappelen blijkt een hogere efficiëntie door de bemesting op te splitsen, mits de laatste gift tijdig, 60 dagen na opkomst, wordt toegediend. In maïs is dit weinig beproefd in Vlaanderen en bleek in de enkele proeven niet onmiddellijk een voordeel te rapen. In Nederland wordt gesteld dat een deling van de nutriëntengift in maïs geen voorkeur heeft. Toch is het toedienen van de stikstofbemesting in fracties in bijvoorbeeld Frankrijk een meer gangbare praktijk, onder andere in de rij toegepast.

Voor een in de tijd verdeelde bemesting moet de bemesting niet noodzakelijk in verschillende fracties worden toegediend maar kan ook geopteerd worden voor slow of controlled release meststoffen of kan gebruik gemaakt worden van nitrificatieremmers of urease-inhibitoren. De meerwaarde van slow of controlled release meststoffen in aardappelen is niet altijd duidelijk. Nitrificatieremmers toonden in Duitsland niet direct een hogere opbrengst of mogelijkheden voor een lagere stikstofbemesting maar toonden in maïs de mogelijkheid om in één fractie in plaats van twee fracties te bemesten. De Cultan-methode maakt ook gebruik van een vertraagde nitrificatie. Met de injectie van een hoge concentratie ammoniummeststoffen in de rij is het ook een bijzondere vorm van rijenbemesting. De Cultan-methode gaat uit van een éénmalige bemesting, zonder bijsturing tijdens het groeiseizoen. De resultaten zijn wisselend, proeven in Duitsland duiden op mogelijk hogere opbrengsten en lagere bemesting wat in Nederlands onderzoek niet bleek.

Wanneer de bemesting in meerdere keren wordt toegediend, wordt de basisbemesting beperkt. Voor de beslissing tot bijbemesten en de mate van bijbemesten kan gebruik gemaakt worden van een waaier aan mogelijkheden. Er kan uitgegaan worden van de bodem, het gewas of een combinatie van beide. Bodemgebaseerde adviessystemen gaan uit van een meting van de aanwezige minerale stikstof

in de bodem. Elk rekening houdend met bepaalde parameters en informatie, begroten ze wat de teelt nog nodig heeft voor een optimale productie en minimaal residu. Voor het gewas als beslissend middel zijn ook verschillende mogelijkheden. Het aanleggen van verschillende bemestingstrappen leidt tot stikstofvensters, die bij verschillen in gewasstand aangeven dat bijbemesting nodig is. Bij de bladsteeltjesmethode maakt de vergelijking van het stikstofgehalte in de bladsteeltjes met een rasafhankelijke normlijn duidelijk of er moet bijbemest worden. De vergelijking gebeurt vanaf 4 weken na opkomst en wekelijks gedurende 4 à 5 weken. De Jubil-methode in Frankrijk is vergelijkbaar. De Jubil-methode wordt ook in maïs gebruikt maar eerder als controle-instrument. Mits de mogelijkheid tot fertigatie zou deze methode ook sturend kunnen gebruikt worden in maïs. Andere gewasgerelateerde systemen zijn vaak gebaseerd op de interactie van licht en de plant. Op bladniveau wordt het chlorofylgehalte bepaald op basis van transmissie- of fluorescentiemetingen. Door de relatie tussen het chlorofylgehalte en het stikstofgehalte geven deze metingen informatie over de stikstofstoestand van het gewas. De chlorofylmeting op basis van transmissie, gebruikt in o.a. de Hydro-N-tester, neigt te laat een stikstoftekort aan het licht te brengen. Eén meetreeks is bovendien onvoldoende en een referentieplot blijkt noodzakelijk. Het chlorofylgehalte kan ook bepaald worden met behulp van fluorescentie. De fluorescentiemeting in combinatie met de absorptiemeting van de polyfenolen toont een hogere nauwkeurigheid. De snellere verandering in concentratie polyfenolen bij een gewijzigde nutriëntenstatus zorgt voor een snellere verandering in fluorescentie dan een verandering in chlorofylgehalte of Leaf Area Index. De gecombineerde meting van chlorofyl en flavonolen maakt een nauwkeuriger en vroeger onderscheid in N-status van aardappelen mogelijk. Ook in maïs kan met deze methode een onderscheid gemaakt worden tussen al dan niet stikstofdeficiënte planten. Dit zou al kunnen tussen 4- en 8-bladstadium. Een referentie biedt nog steeds de meeste zekerheid voor een correcte interpretatie van de metingen. Voordelen van de fluorescentiemeetmethode zijn de hoge gevoeligheid voor de stikstofstatus, de onafhankelijkheid van de biomassa en het niet interfereren van de bodem. Deze aspecten beïnvloeden wel reflectiemetingen, welke vanop grotere afstand van de plant gebeuren. Zowel op de tractor gemonteerde sensoren als meettoestellen op drones, UAV's of satellieten maken gebruik van reflectiemetingen. De reflectiemetingen worden gestandaardiseerd weergegeven met behulp van vegetatie-indices, waarvan de NDVI één van de meest bekende is. Enkele voorbeelden van tractorgemonteerde sensoren zijn de Yara-N-sensor, de Greenseeker en de Crop Circle. Deze worden allemaal geacht in staat te zijn de N-status van het gewas te kunnen bepalen. Metingen vanop drones, UAV's of satellieten zijn eveneens reflectiemetingen welke omgezet worden in vegetatie-indices. Deze moeten verder vertaald worden naar een advies, maar deze vertaalslag is doorgaans niet openbaar. De metingen vanop de tractor zouden kunnen leiden tot een on-line sturing van de bemesting, waarbij de bemesting onmiddellijk wordt aangepast aan de metingen. De metingen vanop de tractor, UAV of satelliet resulteren in perceelskaarten waarop de ruimtelijke variatie zichtbaar is. Deze maken met andere woorden precisiebemesting mogelijk. De reflectiemetingen geven echter geen informatie over de achterliggende reden of oorzaak van de waargenomen stikstofstatus. De beelden maken geen onderscheid tussen stikstofgebrek door een tekort aan stikstof in de bodem of stikstofgebrek door droogte. Ondersteunende bodem- en of gewaswaarnemingen zijn nog steeds onontbeerlijk voor een correcte interpretatie en besluitvorming.

1.5.2 Opstellen van afwegingskader om de technieken te evalueren.

De besproken technieken en systemen werden geëvalueerd op basis van de stikstofgebruiksefficiëntie, de mogelijke milieukundige voordelen, de praktische uitvoerbaarheid en haalbaarheid in Vlaanderen, de status van de technologie tot het in praktijk komen en de geschatte duur tot brede ingang in de praktijk. Voor de evaluatie van de fractioneringstechnieken werd een eenmalige, volveldse toediening van de volledige dosis gekeken als referentie gesteld. Voor de beslissingsondersteunende systemen werd bemesting tot de norm, zonder advies als referentie gesteld.

1.5.3 Aanduiden van de best beschikbare fractioneringstechnieken voor aardappelen en maïs.

Fertigatie is op basis van het afwegingskader een zeer geschikte methode. De beschikbaarheid van voldoende (kwaliteitsvol) water is echter de belangrijkste factor die de haalbaarheid van deze techniek op een groot areaal beperkt. Slow of controlled release meststoffen blijken omwille van onzekerheid over het moment van vrijkomen en de hogere kostprijs niet de best beschikbare techniek voor aardappelen of maïs. Bladbemesting is niet onbekend en heeft zeker potentieel. Het beperkt zich echter tot een deel van de totale bemesting. Bladmeststoffen kunnen onderdeel vormen van de best beschikbare bemestingsstrategie. Rijenbemesting is vooral in de maïsteelt en meer bepaald voor de minerale bemesting al ingeburgerd. Deze praktijk is ook in de aardappelen een geschikte techniek. Er zal wel nog enige tijd over gaan vooraleer rijenbemesting in aardappelen brede ingang vindt. Rijenbemesting met vloeibare dierlijke mest is mogelijk maar lijkt minder snel haalbaar. De gesplitste toediening vraagt geen investeringen, is geen volledig onbekende techniek in de aardappelen en heeft het potentieel om op de stikstofgift te kunnen besparen en in te spelen op de weersomstandigheden. Proefresultaten van een gesplitste toediening in maïs in Vlaanderen en Nederland zijn echter beperkt en weinig overtuigend. Het frequent gebruik van dierlijke mest tot de norm als basisbemesting in maïs beperkt enigszins de mogelijkheden van een beperkte basisgift.

Als beslissingsondersteunende systemen zijn reflectiemetingen, hetzij vanop de tractor, hetzij met satellieten vanuit de ruimte, de ideale techniek. Het moeilijk of niet onderkennen van de verschillende redenen voor een afwijkende stikstofstatus van het gewas en de nog moeilijke of onduidelijke vertaalslag van metingen naar adviezen, maken het voor deze technieken nog te snel/preliminair om als best beschikbare techniek naar voor geschoven te worden. Het gebruik van handsensoren is te tijdrovend en ook daar is een referentieplot nodig en moet erop toegezien worden dat het N-tekort tijdig wordt waargenomen. Gewasmetingen zoals de bladsteeltjesmethode zijn tijdrovend en leiden vaak tot een laattijdige reactie. Bodemanalyses geven één op één aan hoeveel stikstof nog voor handen is en kunnen begroten wat nog mag verwacht worden. Deze laatste blijft in deze vergelijking de best beschikbare beslissingsondersteunende techniek.

In de best beschikbare techniek is de basisbemesting gebaseerd op een bodemstaalname. Hierbij kan gekozen worden om percelen met vergelijkbare karakteristieken te groeperen tot “isopercelen” en staalname tot de aangeduide referentiepercelen te beperken om op grote bedrijven de kost te beperken.

Best beschikbare bemestingstechniek voor aardappelen

In aardappelen wordt 70 % van het advies als basisbemesting toegediend. Voor de basisbemesting krijgt rijenbemesting de voorkeur als deze met minerale meststoffen gebeurt.

Ongeveer 4 weken na poten wordt de bodemvoorraad opnieuw geëvalueerd en wordt bijkomende bemesting afgewogen. In functie van de nodige bijkomende bemesting verdient bladbemesting de voorkeur.

Best beschikbare bemestingstechniek voor maïs

Uitgaande van het gebruik van dierlijke mest voor de basisbemesting, wordt deze dosis beperkt tot hetzij het advies hetzij de norm van dierlijke mest, de meest beperkende van beide. Wanneer het advies hoger is dan de dierlijke norm, wordt het resterende deel van het advies ingevuld met kunstmest, toegediend in de rij.

1.6 LUIK 3 – INNOVATIE

1.6.1 Innovatie 1: Vlinderbloemigen

Vlinderbloemigen hebben de eigenschap dat ze dankzij een symbiose met N-fixerende bacteriën geen noodzaak hebben aan N-bemesting. Iedere kilogram N uit (kunst)meststoffen die kan uitgespaard worden, is een kilogram die niet kan verloren gaan door uitspoeling als nitraat, door emissie als ammoniak of lachgas (broeikasgas). Deze eenvoudige vaststelling geldt zowel vandaag als in een veranderend klimaat, want wanneer de potentiële bron van verliezen wordt beperkt, kan ook het verlies zelf worden verkleind. De vrees dat vlinderbloemigen als teelt aan sich meer nitraatverliezen in de hand werken blijkt ongegrond. Men kan onderscheid maken tussen de residu's van de teelt zelf, gewasresten van graanleguminosen zoals erwten, veldbonen, sojabonen en de gewasresten van meerjarig gemaaid leguminosen zoals klaver en luzerne. In de meeste studies werden geen hogere nitraatresidu's vastgesteld bij de teelt van leguminosen. De gewasresten van graanleguminosen geven tevens geen aanleiding tot hogere nitraatresidu's na de oogst. In echte akkerbouw-graanrotaties werd wel al vastgesteld dat het opnemen van een graanleguminese tot een beperkt hoger nitraatresidu kan leiden voor de winter, maar dit is volledig te voorkomen door het telen van een vanggewas. Bij meerjarige vlinderbloemige gewassen die gemaaid worden, is de periode van vernietigen en onderwerken van de teelt een periode waarin veel mineralisatie plaatsvindt en dus veel minerale N vrijkomt. Op zich moet hiermee rekening gehouden worden in de bedrijfsvoering en bij de bemesting van volgteelten, maar dit is niet verschillend van meerjarige tijdelijke graslanden die gescheurd worden. Dezelfde principes kunnen gehanteerd worden.

De productie van N-kunstmest kost erg veel fossiele energie, meestal onder de vorm van aardgas. Iedere kilogram N uit kunstmest kan ook een bron zijn voor lachgasemissies. Het gebruik van kunstmest leidt dus tweemaal tot de uitstoot van broeikasgasemissies. Voor iedere kilogram biologische N-fixatie kan men de productie van één of meer kilogrammen N-kunstmest achterwege laten. De kunstmest kan immers nooit 100% efficiënt ingezet worden. De stikstofrijke gewasresten kunnen in principe bij afbraak leiden tot bijkomende lachgasemissies vanuit de bodem, maar studies wijzen uit dat deze bijkomende emissie moeilijk te onderscheiden is van referentie-emissie van de naakte bodem en dat deze dan ook beperkt is.

Een aantal vlinderbloemigen hebben een bijkomend voordeel bij toenemende droogte in een veranderend klimaat. Ze zijn immers droogtetoleranter dan andere gewassen. Eigenschappen die planten droogtetoleranter maken zijn bv. een efficiënter watergebruik, dieper en/of intensiever wortelen, cruciale ontwikkelingsfasen uitstellen (bv. bloei) enz. De mate waarin ze tolerant zijn hangt wel sterk af van de soort en van hoe extreem de droogte is.

Vlinderbloemigen worden vandaag weinig ingezet in de landbouw omwille van meerdere knelpunten. Om de graanleguminosen financieel aantrekkelijker te maken zou de opbrengst omhoog moeten. Dit is ten dele een marktprobleem. Ook schommelt de opbrengst meer van jaar tot jaar dan bij andere gewassen zoals bv granen. In zowel opbrengst als opbrengststabiliteit heeft de veredeling nog een grote rol te spelen. De veredelingsactiviteit is historisch immers altijd een stuk lager geweest bij de vlinderbloemigen dan bij de 'grote' gewassen zoals granen, maïs of grassen. Een ander knelpunt is de kennis en ervaring van de landbouwer met vlinderbloemigen. Meestal is deze eerder beperkt. Ook de relatief goedkope stikstof uit kunstmest maakt dat (conventionele) landbouwers liever vertrouwen op de zekerheid van kunstmest in de bemesting en rotatie dan op de variabiliteit van de N-fixatie en nalevering van gewasresidu's.

We kunnen stellen dat vlinderbloemige gewassen zowel naar nutriëntenverliezen als broeikasgasemissies een aantrekkelijke groep gewassen zijn, zowel vandaag als in een veranderend

klimaat. De knelpunten op heden maakt de vlinderbloemigen momenteel echter minder aantrekkelijk om ze in areaal sterk te gaan uitbreiden. Knelpunten met betrekking tot kennis bij de landbouwer kunnen sneller aangepakt worden dan knelpunten betreffende opbrengst, kwaliteit en opbrengststabiliteit waar onderzoek en veredeling nodig is.

1.6.2 Innovatie 2: Bodemkwaliteit

Bodemkwaliteit is een moeilijk te omschrijven term en kan ook variëren naargelang de context. In deze studie gingen we er van uit dat bodemkwaliteit de mate weergeeft waarin de bodem veerkracht kan geven aan een gewas in extremere weersomstandigheden, van o.a. droogte, hitte en intensieve of overmatige regenval, evenals grote schommelingen in de weersomstandigheden. Wanneer de veerkracht van het gewas beter is, neemt ook de groei toe of wordt groei behouden in slechtere omstandigheden. Dit leidt ertoe dat het gewas efficiënter omgaat met de beschikbare nutriënten en dat er dus ook potentieel minder nutriënten verloren gaan. Als klassiek voorbeeld kunnen we stellen dat in een goede bodem een gewas beter en intensiever kan gaan wortelen. Hierdoor kan het gewas een groter aandeel van de bodemvoorraad aan nutriënten gaan bereiken. Wat wordt opgenomen, gaat niet verloren, en de nood aan overmaat om het gewas goed te laten groeien is minder. Extreme weersomstandigheden kunnen ook de bodemkwaliteit negatief beïnvloeden. Een toenemende incidentie van extreme neerslag kan de oogstwerkzaamheden of bodembewerkingen bemoeilijken en daardoor ook bodemverdichting in de hand werken.

De belangrijkste bodemparameters zijn bodemzuurtegraad en het bodemorganische-stofgehalte. Beide parameters moeten in de juiste range zitten om de bodemkwaliteit hoog te houden. Ze staan o.a. in voor de bodemstructuur en de beschikbaarheid van nutriënten en water. Toch moeten we enkele kanttekeningen maken. Een verhoging van de organische stof betekent dat er meer potentieel is aan N-mineralisatie. Enerzijds betekent dit dat er minder noodzaak is aan instant bemesting, anderzijds is het mineralisatieproces erg afhankelijk van vocht en temperatuur en dus van de weeromstandigheden. Meer organische stof kan paradoxaal dus ook leiden tot meer uitspoeling van nutriënten als het mineralisatieproces op het 'verkeerde' moment plaatsvindt. Naast zuurstofgebrek en N-beschikbaarheid, is een bron aan snel afbreekbare koolstof één van de factoren die lachgasemissies in de hand werkt. Werken aan de bodemorganische stof, betekent dat er ook meer organische stof op de bodem komt en dus potentieel mee leidt tot meer emissies. Anderzijds betekent opslag van bodemorganische stof ook het vastleggen van CO₂ in de bodem en is het dus een vorm van klimaatmitigatie. Het op peil brengen van de pH kan in het jaar van bekalken tot een iets hoger nitraatresidu leiden door een stimulans van de mineralisatie van bodemorganische stof, maar zal op langere termijn tot minder nitraatresidu's leiden door een betere gewasgroei. Het verhogen van de pH, verlaagt ook de lachgasemissie. Dankzij bodemorganische stof kan er meer plantbeschikbaar water in de bodem vastgehouden worden. In sommige studies wordt daar een belangrijk gewicht aan gegeven, in andere studies wordt getwijfeld of de zeer beperkte stijging in plantbeschikbaar water wel een significante bijdrage aan het gewas kan leveren. Dit vraagt meer detail en wordt ook beschreven in de tekst.

Er kan aan de bodemkwaliteit worden gewerkt door een verhoging van de bodemorganische stof, het bekalken van de bodem wanneer nodig, vruchtafwisseling en preventie en remediatie van bodemverdichting. Dit is op heden het geval maar zal niet anders zijn door klimaatverandering. Behalve dan dat de effecten van goede en slechte bodemkwaliteit groter worden. Waar de landbouwer moet naar streven is duidelijk, maar de stappen die moeten gezet worden zijn niet altijd even makkelijk. Zo zal in de vruchtafwisseling alleen voor koolstofopbouwende of alternatieve gewassen gekozen worden, indien deze gewassen voldoende inkomen kunnen genereren. Wisselbouw (meerjarig tijdelijk grasland in de akkerrotatie brengen) leidt tot meer bodemorganische stof, maar vertoont ook piekmomenten van N-mineralisatie die kunnen leiden tot verhoogde

nitraatuitspoeling. Met deze mineralisatiepiek dient zeker rekening gehouden te worden in de keuze van het volggewas en de N-bemesting van dit volggewas. Best wordt geopteerd voor een diepwortelend of intensief wortelend gewas dat veel N kan opnemen tot laat op het groeiseizoen en moet de N-bemesting rekening houden met de nalevering uit de omgeploegde zode.

1.6.3 Innovatie 3: Precisielandbouw

Precisielandbouw draait om het efficiënter gebruik van de productiemiddelen en het verhogen van de productiviteit. Dankzij precisielandbouw kunnen middelen gericht in plaats en tijd worden ingezet. Dit kan ook voordelen bieden in een veranderend klimaat, omdat beter kan ingespeeld worden op snel wijzigende omstandigheden. Bij bv. bemesting gespreid in tijd kan rekening gehouden worden met extreme weersomstandigheden tijdens het verloop van het groeiseizoen. En/of er kan ook rekening gehouden worden met de plaats specifieke eigenschappen van de bodem, waardoor sommige delen van percelen anders reageren op deze extreme omstandigheden dan andere delen van eenzelfde perceel. De technologie die daarvoor kan gebruikt worden is zeer uiteenlopend. In de context van deze studie gingen we echter uit van twee grote groepen van technologie, namelijk 'machine guidance' en 'variable nutrient rate technology'. Bij machine guidance wordt de chauffeur geassisteerd, maar worden ook bewerkingen zoals diepwoelen of gewasbescherming en andere aangepast aan de positie van de machine om overlap te voorkomen of de activiteit te variëren naargelang de ruimtelijke positie. Bij variable nutrient rate technology wordt de bemesting in ruimte en/of tijd aangepast naargelang de variatie in bodem, gewas en eventueel andere omgevingsfactoren. Door het uitsparen van nutriënten en fossiele brandstof op deze manier, wordt een stukje overmaat aan nutriënten die kunnen uitspoelen of emitteren en broeikasgasuitstoot weggenomen.

Hoewel deze technologie een grote hulp kan zijn voor de landbouwer moet deze met het 'gezond' verstand gehanteerd worden. Variatie die de technologie inbouwt in de werking en dosering van de machines moet stevast tijdens het gebruik ervan in vraag gesteld worden. Een eenvoudig voorbeeld kan zijn om te gaan controleren waarom een hogere bemestingsdosis op een bepaald deel van een veld wordt berekend. Is dit omdat de potentie van het gewas daar hoger is of is er iets mis op die positie waardoor een hogere dosis nodig is om dezelfde opbrengsten te halen. In dit laatste geval is een hogere dosis niet steeds de beste optie voor het milieu en/of de landbouwer.

Twee belangrijke knelpunten zijn de beslissingsmodellen en de te beperkte economische winst. De technologie evolueert zeer snel en veel toepassingen worden in de nabije toekomst mogelijk. Toch is enige voorzichtigheid aanbevolen bij variabele bemesting. Voor heel wat technologie zijn de modellen achter de berekende dosis nog onderwerp tot heel wat discussie. Net als bij klassieke bodemstalen met bemestingsadvies, worden een aantal parameters zoals mineralisatie ingeschat, die sterk kunnen schommelen en waarschijnlijk nog meer kunnen schommelen met extreme weersomstandigheden. Soms zijn de modellen die gebruikt worden in commerciële toepassingen niet openbaar, wat het moeilijk maakt om in te schatten in welke mate ze gecalibreerd zijn voor de situatie waarin de landbouwers ze wensen te gebruiken. De gebruikte technologie is ook relatief duur tegenover een beperkte meerwinst per hectare van het gewas. Voor veel situaties is de technologie gewoonweg niet rendabel of de investeringskost niet betaalbaar. Vooral de landbouwbedrijven met veel areaal en grote percelen kunnen de meeste winst boeken, evenals bedrijven met grote variaties binnen percelen (van hoog rendabele teelten).

Precisielandbouw kan ook starten bij het optimaliseren van de huidig gebruikte technologie. We denken hierbij vooral aan afstelling van kunstmeststrooiers en de kantbemesting met meerdere types toestellen. Op dit moment is de landbouwer zich daar niet altijd van bewust. Met de juiste tips en begeleiding bij het afstellen van de machines kan men al een heel eind komen, met zowel winst voor milieu als landbouwer. De technologie van variabele dosering begint stilaan ingang te vinden bij

bekalking op basis van taakkaarten uitgaande van bodemscans van de pH. Dit is zeker niet courant en meestal moet kostprijs ten opzichte van winst afgewogen worden. Ook voor kunstmeststrooiers begint variabele dosering ook op heel wat modellen mogelijk te worden, al blijft vandaag de vraag op basis van wat men gaat variëren. De toekomst zal hier raad moeten brengen.

Irrigatie zal in Vlaanderen op het gros van de percelen onmogelijk zijn omwille van een gebrek aan waterbeschikbaarheid. Toch zal meer aan irrigatie worden gedacht in de toekomst. Meer specifiek op percelen die grenzen aan een waterbron of buffer of die in een irrigatienetwerk zitten. Oordeelkundige irrigatie kan zeker positieve effecten hebben op de nutriëntenverliezen indien ofwel de opbrengst wordt verhoogd ofwel een droogteperiode wordt overbrugd die anders tot ernstige gewasderving zou leiden. Tijdstip en dosis van irrigatie kunnen in de toekomst ook op een aantal precisietechnieken gebaseerd worden. Verder is het ook noodzakelijk dat bemestingsadviesingsystemen het al dan niet irrigeren opnemen in de berekening van de adviesgift.

1.6.4 Innovatie 4: Emissies aanpakken aan de bron (rantsoenen)

In de expertenworkshop die aan het begin van deze studie werd georganiseerd, werd door de experten geoordeeld dat er nog heel wat mogelijkheden zijn om via het rantsoen van runderen de N-verliezen (voornamelijk via emissie) te beperken. Het gaat er vooral om, om de N-efficiëntie van het verteringsproces van runderen te verhogen. Dit zijn gedeeltelijk reeds gekende en bewezen technieken zoals het reduceren van het ruw-eiwitgehalte van het rantsoen of het beperken van de grasopname. Enkele andere technieken zoals bv. het gebruik van tannines zijn nog volop in onderzoek. Het klimaat heeft hier geen rechtstreekse invloed op, maar wel onrechtstreeks. Meer droogte en hitte kan bij dieren voor stress zorgen waardoor de voederopname en productie daalt. Meer intensieve regen (drassige grond) en hitte en/of stilvallen van de grasgroei kan er voor zorgen dat het vee meer wordt opgestald. Ten slotte kunnen landbouwers ook andere voederteelten gaan kiezen onder invloed van het klimaat.

In het rantsoenonderzoek dat tot nu werd gevoerd, was er steeds veel aandacht voor de N-emissie. Een wijziging van het rantsoen heeft ook effecten op de emissie van het broeikasgas methaan. Vandaag wordt bij rantsoenonderzoek meer en meer naar het gecombineerde effect op N en methaan gekeken. Dit zal in de toekomst kunnen uitwijzen welke mogelijkheden er zijn om winst te boeken op gebied van zowel reductie van N-emissie als broeikasgasemissies.

Kort samengevat kan men door een meer gebalanceerd voer en door meer naar eiwitkwaliteit en aminozuursamenstelling te kijken, de eiwitvertering efficiënter maken en de noodzaak aan ruw eiwit verminderen. Hierdoor vermindert de N-uitstoot van de dieren, zowel door een lager N-gehalte van het voer als door een efficiënter gebruik. Al is dit laatste afhankelijk van de techniek die men hanteert. Het is echter zeer moeilijk om systemen te bedenken waarmee de landbouwer wordt aangezet om de rantsoenen anders te gaan samentellen. Bepaalde parameters zoals het ruw-eiwitgehalte van het totaalrantsoen en het ureumgehalte van de melk zeggen nooit alles en houden geen rekening met de individuele verschillen tussen dieren en bedrijven. In plaats van opgelegde rantsoenmaatregelen kan men wel denken aan begeleiding van veehouders bij de samenstelling van het rantsoen. Het doel moet zijn dat veehouders meer voederen naar de behoefte van het dier. Iets wat daar sterk bij kan helpen zijn tools zoals de rantsoentool van ILVO-Dier die de landbouwer en adviseur kan helpen om de juiste rantsoensamenstelling te berekenen in functie van de melkgift. Anders is het voor stalmaatregelen waarbij men wel via opgelegde maatregelen kan werken. Dit wordt trouwens nu reeds gedaan, maar was geen onderwerp van deze studie. Dit kwam ook aanbod in luik 1 (paragraaf 1.4.4).

Het aspect grasland verdient echter meer aandacht dan nu het geval is, omdat het verregaande gevolgen kan hebben. Grasland is erg gewenst omdat het veel koolstof kan opslaan, erosie en afspoeling van nutriënten kan voorkomen, minder goede bodems toch in productie kan houden, van alle intensieve teelten het meeste biodiversiteit vertoont en omdat het, op het moment van scheuren na, ook weinig problemen vertoont met te hoge nitraatresidu's. Er is echter veel druk op het grasland omdat de waarde van grasland lager is dan deze van akkerland. Er zijn ook steeds meer gemengde bedrijven die de veehouderijtak ofwel laten vallen en dus geen nood meer hebben aan grasland ofwel specialiseren in hoog productief melkvee, waardoor ook de uitbating van het grasland wijzigt. Rantsoenmaatregelen kunnen de druk op grasland verder verhogen omdat ze bv. sturen in de richting van minder gras in het rantsoen, beperking van de beweiding en het meer opstallen zodat meer gebalanceerde rantsoenen in de stal kunnen gevoederd worden. Opstallen heeft echter ook negatieve effecten door N-emissies vanuit de stal. Omwille van de infrastructuur en het samenkomen van urine en faeces geven aanleiding tot meer ammoniakemissies. Het is dus duidelijk dat een beslissing in het management verregaande gevolgen kan hebben in andere aspecten van het grasland. Een wijzigende uitbating kan trouwens ook de koolstofopslag beïnvloeden. Het meeste koolstof wordt opgeslagen in grasland dat zich qua management intermediair bevindt tussen extensief (minimale bemesting en beperkt aantal snedes) en intensief uitgebaat grasland (hoge bemesting en hoog maairitme/veebezetting). Het is dan ook erg belangrijk dat meerdere scenario's worden doorgerekend die met alle aspecten van N-verliezen en broeikasgasemissies rekening houden.

1.6.5 Innovatie 5: Robuuster teeltsysteem

Het teeltsysteem robuuster maken is een logische stap om landbouwbedrijven klimaatweerbarder te maken, evenals nutriëntenverliezen te beperken. Het concept 'robuustheid' was echter te ruim om te onderzoeken in deze studie. Er werd geopteerd om dit beperkt te onderzoeken voor drie scenario's: een rundveebedrijf met veel gras en maïs, een akkerbouwbedrijf met groot areaal aardappelen en een intensief groentebedrijf. Er werd voor deze scenario's gekozen omdat ze een heel groot areaal beslaan van de Vlaamse landbouwpercelen en omdat ze tevens ook de teelten bevatten waar de hoogste nitraatresidu's worden vastgesteld. In elk theoretisch scenario werden de meest voorkomende klimaatgerelateerde problemen naar voor geschoven, die reeds vandaag worden vastgesteld en waarvan wordt aangenomen dat ze bij een veranderend klimaat problematischer gaan worden. Het was niet de bedoeling om allesdekkende scenario's te beschrijven. Voor meer details wordt verwezen naar de specifieke scenario's. De belangrijkste vaststelling is, dat er in sommige gevallen voor deze problemen oplossingen zijn die nog ingang moeten vinden op de landbouwbedrijven, maar dat in andere gevallen oplossingen praktisch en economisch dikwijls niet haalbaar zijn. Dit wordt in detail besproken in de tekst.

1.7 ALGEMENE CONCLUSIE

Welke aanpassingen van instrumenten, maatregelen en flankerend beleid zijn mogelijk om de mestproductie en het meststoffengebruik klimaatrobuster en –neutraler te maken met als doel nutriëntenverliezen te vermijden?

Enkele mogelijkheden hiervoor worden hieronder weergegeven:

- Het toedienen van de totale N-bemesting in verschillende giften (bijbemesten of fractioneren) biedt potentieel om beter te bemesten volgens de gewasontwikkeling en in te spelen op de groei- en weersomstandigheden, en om de kans op een verhoogd nitraatresidu door afwijkende weersomstandigheden te verkleinen. Vooral in de aardappelteelt is nog vooruitgang te boeken

om via bijbemesten verdere nutriëntenverliezen te vermijden, omwille van het grote areaal, omdat het gewas droogtegevoelig is en omdat bijbemesten in deze teelt op dit moment minder wordt toegepast.

- Ook irrigatie tijdens droogteperioden kan zorgen voor een betere N-benutting en bijgevolg voor een lager N-residu en dus minder risico op N-verliezen.
- Het gebruik van vanggewassen is aangewezen. Klimaatverandering kan in sommige jaren zorgen voor een lang groeiseizoen waardoor er langer mineralisatie is en vanggewassen mogelijk meer N kunnen opnemen. De daglengte verandert echter niet, waardoor een tijdige inzaai van vanggewassen essentieel is om deze opname ook effectief te kunnen realiseren en het gewas te laten slagen.
- Nitraatverliezen doorheen het seizoen kunnen beperkt worden door een tussentijdse evaluatie van de bemesting en door het gebruik van een N-balans ter sensibilisering van landbouwers.
- Het gebruik van vanggewassen bij de vollegrondssierteelt en het onder- of gelijk zaaien van een vanggewas bij maïs kunnen voor een verdere beperking van nutriëntenverliezen zorgen.
- Het loont ook om in te zetten op rotatiegerichte systemen om nutriëntenverliezen te vermijden (vb. afstappen monocultuur maïs), dit heeft bovendien een positief effect op de bodemkwaliteit.
- Om vroege mineralisatie van afgestorven vanggewassen op te vangen, kan een combinatie van vorst- en niet-vorstgevoelige gewassen gebruikt worden.
- Het beter toepassen van maatregelen omtrent mestopslag en stallen (optimalisatie van de mestopslag en een betere uitwerking van de technische vereisten van de staltypes) kan bijkomende nutriëntenverliezen beperken.
- Ook een externe mestopslag kan bij nieuwe constructies zorgen voor minder emissies en kan toelaten de mest te homogeniseren, zodat betere kennis van de samenstelling zorgt voor een meer precieze aanwending en minder risico op N-verliezen.

Algemeen gesteld kan men zeggen dat klimaatverandering het sluiten van de nutriëntencyclus zal bemoeilijken. Een belangrijk deel van maatregelen die het sluiten van de nutriëntencyclus bevorderen zijn reeds voorzien in Vlaanderen (bv. vanggewassen, bemesten volgens de vier J's. Het verder sluiten van de nutriëntencyclus vormt aldus een belangrijke uitdaging, waarbij de praktijken van de land- en tuinbouwers evenals algemene beschouwingen over de draagkracht van het Vlaamse landbouwsysteem moeten centraal staan.

Welke zijn de mogelijkheden voor het fractioneren van de stikstofbemesting in de teelt van aardappelen en van maïs in Vlaanderen?

Fractioneren kan in de tijd, in de ruimte of een combinatie van beide.

In aardappelen lijkt een combinatie van beide mogelijk. Fractioneren in de tijd, met andere woorden kiezen voor een verlaagde basisbemesting en bijbemesten na evaluatie biedt duidelijke mogelijkheden. Dit biedt de mogelijkheid om de bemesting verder af te stemmen op de voorliggende weers-, bodem- en teelttoestand. Dit vergroot de kans om verliezen te beperken. Rijenbemesting beperkt, door een gerichte plaatsing, het N-verbruik en beperkt verliezen door vervluchtiging. Voor aardappelen is de best beschikbare bemestingstechniek om 70 % van het advies als basisbemesting toe te dienen, bij voorkeur via rijenbemesting indien de bemesting met minerale meststoffen gebeurt. Ongeveer 4-6 weken na het poten wordt de bodemvoorraad opnieuw geëvalueerd en wordt bijkomende bemesting afgewogen. In functie van de nodige bijkomende bemesting verdient bladbemesting dan de voorkeur. Bladbemesting kan in aardappelen fungeren als een onderdeel van de bemestingsstrategie.

In maïs kan door rijenbemesting 25 % van de in de rij toegediende dosis bespaard worden zonder effect op de opbrengst. Rijenbemesting gebeurt doorgaans met minerale N. Rijenbemesting met

vloeibare dierlijke mest is mogelijk maar toont nog wat struikelblokken en is niet onmiddellijk verwacht een gangbare praktijk te worden. De bemesting spreiden in de tijd is in maïs weinig beproefd in Vlaanderen. In bijvoorbeeld Frankrijk is een bemesting in meerder fracties in maïs niet vreemd. In Vlaanderen is het fractioneren in de tijd nog niet aan te duiden als de best beschikbare bemestingstechniek en biedt rijenbemesting de grootste mogelijkheden.

Welke kansen biedt innovatie voor een klimaatadaptieve landbouw in Vlaanderen, om zo verder nutriëntenverliezen te beperken?

Nutriëntenverliezen kunnen beperkt worden. Verschillende paden kunnen daarvoor tegelijk bewandeld worden. Deze paden betreffen innovaties en gekende zaken, die verder ontwikkeld moeten worden en beter kunnen toegepast worden. Onderstaande geeft een kort overzicht.

- Vlinderbloemige gewassen hebben dankzij hun N-fixatie grote potentie om N-bemesting en ook N-verliezen te reduceren. Uitdagingen zijn de rendabiliteit, opbrengststabiliteit en te weinig ervaring van de landbouwer met de vlinderbloemigen. Ook veredeling van veel vlinderbloemigen staat op een laag pitje.
- Bodemkwaliteit zal in de toekomst steeds belangrijker worden. Hoge bodemkwaliteit biedt immers meer veerkracht aan het gewas in extreme weersomstandigheden.
- Precisielandbouwtechnieken kunnen dan weer helpen om efficiënter met energie en nutriënten om te gaan. De technologie ontwikkelt razendsnel, maar een goede inzet van de technologie verdient veel aandacht. Zo kunnen technische snufjes zeer precies meten en adviezen berekenen, maar het advies is maar zo goed als de zwakst ingeschatte parameter van de berekening. Bij bemesting kan bv. een voorspelling van de mineralisatie zo een zwakke schakel zijn. Bovendien is de technologie niet altijd even rendabel of de terugverdiëntijd zeer lang.
- Binnen de veeteelt kunnen N-emissies nog sterk gereduceerd worden door te sleutelen aan rantsoenen van herkauwers. Het sleutelen aan rantsoenen betekent echter ook een wijziging in keuze en arealen van akkerbouw- en voederteelten en grasland. Zo kan meer beweiding zorgen voor minder N-emissie door scheiding van urine en faeces, maar kan een lagere grasopname door beperking van weidegang dan weer ingezet worden om de efficiëntie van de eiwitvertering te verhogen en dus efficiënter met N om te gaan. Deze laatste maatregel betekent op zijn beurt nog meer druk om grasland om te zetten in akkerland, wat ook grote negatieve gevolgen kan hebben voor de nitraatresidu's van het gehele landbouwsysteem. Alles is heel sterk verbonden met elkaar. Er is dan ook absoluut nood aan een doorrekening van het totaalplaatje, dat niet alleen het effect van een techniek bekijkt, maar tevens alle gevolgen van het kiezen voor die techniek.
- Vandaag kunnen we reeds goed inschatten waar de knelpunten liggen qua nutriëntenverliezen. Vermoedelijk zullen deze knelpunten door klimaatverandering alleen maar groter worden. Het zal de kunst/uitdaging zijn met oplossingen te komen die niet alleen het nutriëntenprobleem aanpakken, maar die de landbouw rendabel houdt binnen de economische realiteit.

2 SUMMARY

2.1 PURPOSE

The goal of this desktop study is to determine – for policymaking and for practice – how to respond to changing and/or more extreme weather conditions, with the final goal being further control of nutrient losses. Therefore this study will:

- summarise whether legislative measures regarding manure production and use could become more robust to climate changes and more climate neutral, and then to propose possible adaptations to the instruments, measures and flanking policy (Part 1);
- evaluate the possibilities for fractionation of nitrogen fertilisation in maize and potatoes in Flanders (Part 2);
- determine the chances of innovation for a climate-adaptive agriculture in Flanders in order to further reduce nutrient losses (Part 3).

2.2 APPROACH

The same approach was used for both the measures from the Manure Action Programme (MAP) concerning the use and production of manure (Part 1) and the potential innovations (Part 3). A screening was performed based on literature research and expert advice. First, based on an online survey, group sessions were organised with about five experts per group. Based on these discussions experts chose five MAP (manure action plan) measures and five innovations with, according to their knowledge, the most potential to further control nutrient losses in a changing climate. This does not imply that the unchosen MAP measures and innovations would not be positively affected towards nutrient losses when adapted. For example, the MAP measure concerning the timing of manure spreading was not taken up in this study because experts feared that a more complex legislation could be contraproductive. The experts thought that focussing raising awareness would give better results. For the MAP measures concerning manure, it was stated that it is more important that current measures are better implemented than that an adaptation is needed, and the climate can be a lever for this better implementation. Choices also needed to be made to select the innovations. Experts indicated that hydroculture of greenhouse- and containercultures are theoretically suitable to close the nutrient cycle. However, in practice, there are economical constraints and also access to water can be problematic. Also soil stimulants were not selected as an innovation, despite that they often perform well on a lab scale, because the step to field conditions is still too difficult.

Second, the authors of this study thoroughly analysed the selected topics via a literature study. Based on this, conclusions for each topic were drawn. The conclusions are discussed below.

Another approach was used for the differentiated fertilisation in potato and maize. In a first step an overview of current technologies and possibilities to differentiate fertilisation was given. In a second step, an evaluation framework was set up to evaluate the technologies from the first step, in order to identify the best-available fertilisation differentiation techniques. In a last step, a code of best practices for the differentiated fertilisation in maize and potatoes was written.

2.3 CLIMATE CHANGE AND AGRICULTURE

It is predicted that climate change in Flanders will result in a higher average annual temperature, wetter winters (KMI, 2020) and drier summers with more intense precipitation events (Willems, 2020).

Drought may lead to decreased crop production, which may result in plants not taking up added nitrogen from the soil. The effect of drought on biomass production strongly depends on the timing of the drought and the stage of development of the crop during drought. Crops are more sensitive to drought during the reproductive than during the vegetative phase (Daryanto et al., 2017). The damage incurred is in most cases is irreversible. Higher temperatures during fall may lead to a prolongation of the growth season. In recent years has been observed that higher than usual grass yields were obtained, which also implies a higher nitrogen uptake. Climate change and more extreme weather conditions may thus impact biomass production in different ways. The influence on nitrogen losses is therefore difficult to predict reliably. Moreover, for C4 plants, increased CO₂ concentration may also result in an increased biomass production. However, this goes hand in hand with a decreased plant nutrient content (Soares et al., 2019; Uddling et al., 2018), which complicates the net effect on the N uptake. Climate change also influences the plant available nitrogen because changing weather conditions may influence the mineralisation of soil organic matter.

2.4 PART 1: MEASURES FROM THE MANURE ACTION PROGRAMME (MAP)

2.4.1 Optimising N fertilisation practices

Climate change will result in less predictable crop growth, and thus unpredictable crop N uptake. Even with an optimal amount of fertiliser based on crop and parcel, unfavorable weather conditions may result in suboptimal nitrogen uptake. Suboptimal crop growth might result in higher nitrate concentrations at the end of the growing season with an increased risk of nitrogen leaching.

Adding the total amount of nitrogen fertilisation in different doses spread over time (split fractionation) offers potential for a fertilisation strategy that takes crop development and growing conditions into account and reduces the risk on elevated nitrate residue levels due to varying weather conditions. Split fertilisation is already used in Flanders in the following cultures: cereals, vegetables, sugar beet (if total N fertilisation exceeds 160 kg N/ha) and grasses. Especially in potato cultivation, a drought sensitive crop, where split fertilisation is not frequently applied over the large potato cultivation area in Flanders, there is a large potential for reducing nutrient losses. In addition, potatoes need a relatively high N-fertilisation and have low N-utilisation compared to other cultivations, which increases the risk of nitrogen losses. When applying split application in potatoes, the second dose must be applied before 60 days after crop emergence. This because after this date, the N uptake of the plant decreases, and the intention is to correct the N fertilisation when potatoes are still taking up N. Data from soil samples in 2019, where an intermediate soil sample was taken, showed that 66% of the samples had enough nitrogen and didn't need a split fertilization, i.e. the split application advices by the Soil Service of Belgium were equal to zero. This indicates that it is useful to split the total fertilization of nitrogen. Soil sampling is useful for determining whether a second dose is necessary in all cases, i.e. independent on the choice of fertilizer (inorganic fertilizer and/or organic manure). If the main fertilisation is done with organic manure, the importance of an intermediate soil sampling increases, because often the exact composition of organic manure is not known.

Indicators to determine whether to add the second dose of a split fertilisation can be crop related (e.g. N reference window, etc.) or soil related (based on a soil sample). The soil sampling depth and time

of soil sampling, which are culture dependent, are important tools to determine whether a second dose of nitrogen application is needed. Fertilisation advice systems should also consider split fertilisation. Multiple options are possible. First, a soil sample at the start of the growing season can result in recommendations for both basic fertilisation as well as a second dose. Second, it is possible to take a soil sample during crop growth. Since perhaps it is impossible to take a soil sample for all parcels and cultivations, both practically and economically, one option is to take a fixed number of soil samples per farm, e.g. for each period (start / second dose) only sampling a few parcels.

Nitrogen uptake by the plant requires sufficient soil water. The risk of more frequent droughts due to climate change therefore increases the risk for a suboptimal N uptake. Irrigation during these drought periods may result in better N utilization, less soil N residue and less risk of nitrate leaching. In Flanders, irrigation can offer a solution for drought on a local scale; however, not all regions have enough water stock to irrigate. Of course it is of utmost importance that other soil factors, e.g. pH and % OC, are optimal to realize an optimal N uptake by the plant, with a low nitrate residue as a consequence.

2.4.2 Optimising follow-up of N fertilisation practices

The measurement of the nitrate residue (1/10-15/11) is climate robust. The nitrate residue value at the end of the growing season strongly depends on soil nitrogen input- and output factors. Nitrogen input factors that influence the nitrate residue are: organic fertilisation, mineral fertilisation, nitrogen mineralisation and nitrogen release from crop residues. The fertilisation history is also an important input factor, especially when fields have been fertilised for years with manure. Output factors during the growing season that influence the nitrate residue are nitrogen uptake by (catch) crops, rooting depth of (catch) crops, nitrogen leaching, volatilisation and denitrification. These input- and output factors already vary independent of weather conditions. Climate change may result in a higher variability of the value of these factors. The nitrate residue stays a good indicator of the environmental risk of the nitrate leaching, however, due to climate change an even more targeted fertilisation management is necessary to keep the nitrate residue low.

The literature review within this project provides some alternative methods to evaluate the fertilisation practices and some additional ways to improve the relationship between the nitrate residue and the fertilisation practices.

- One option is to use reference parcels on which the nitrate residue is determined annually. All of these measurements can then be used to determine a nitrate limit value per crop and soil texture (e.g. the ALP system in Wallonia (Belgium)). These reference parcels are subjected to a correct fertilisation and reflect the agricultural practices for the applied techniques, soil texture, climate and parcel history. Because of the diversity of crop cultures and soil textures in Flanders, a large number of parcels should be included. Alternatively, the nitrate limit value can be determined based on a percentile of all measured nitrate residue samples in Flanders (per culture and per soil type).
- Another option is to evaluate the correctness of the agricultural practices based on climatological indicators (e.g. drought-indicator or precipitation surplus). In this way, the nitrate residue limit value with which the nitrate residue value of parcels is compared depends on the climatological conditions of the past growing season. This approach requires further research, such as studying the exact influence of drought/precipitation on crop production in Flanders, and how the nitrate residue limit value should vary depending on the climatological indicators. It must be noted that this variation in nitrate residue limit value based on

climatological indicators is only for evaluating the correctness of agricultural practices, and is not related to the nitrate residue limit value needed to comply with the Nitrate Directive.

- Intermediate evaluation of the fertilisation is possible by taking a soil sample starting from four weeks after fertilisation (this way the mineralisation of organic N from manure is taken into account). Ideally, this intermediate evaluation is coupled with split fertilisation.
- Farmer education is important, as the farmer's choices indirectly influence nutrient losses. A possible instrument is the N balance, as it can give farmers insight into the predicted final nitrate residue even during the growing season. This can also help farmers to decide whether a second fertilisation is actually necessary.

2.4.3 Catch crops and culture combinations

Catch crops reduce the risk of nitrate losses. The importance of catch crops in reducing nitrate leaching will increase with a changing climate. Catch crops also contribute to climate mitigation by reducing N₂O emissions and by contributing to soil C sequestration. This because higher temperatures during fall may lead to more mineralization and consequently a higher risk of nitrate leaching. Moreover, wetter winters are predicted, which may also increase the risk of leaching.

It is expected that climate change will result in higher summer temperatures, with more frequent heat waves (including in September). Droughts during late summer can have considerable implications on the germination and growth of catch crops, with detrimental consequences on the nitrogen uptake when the crop development is insufficient. Higher temperatures can be favorable for the germination and emergence of catch crops. However, the authors of this study think that this has only a limited influence on a possible delay of the sowing dates of catch crops. This because the entire crop development may be limited by day length and light intensity, which will not change even as the climate does. Higher temperatures during fall and winter can result into a longer growth of catch crops and even to catch crops coming into seed again, and catch crops may no longer freeze off during winter. In the month of January in recent years, catch crops (e.g. white mustard) were still growing and producing biomass. This results in a postponed nutrient release during spring. Milder winters also increase the risk of frost periods followed by warmer periods, in which mineralisation of the frozen crop can occur, resulting in additional nutrient losses.

Further reduction in nutrient losses can be achieved by using catch crops in September in outdoor ornamental cultivation and by sowing a catch crop together with maize or during the cultivation of maize. It can also be important to focus on crop rotation, which increases the general soil quality and the resistance of crops and soil to climate change, with a positive effect on the nitrogen balance of the soil-plant system (e.g. using winter cereals after late potatoes, a catch crop after early potatoes followed by a cereal, ...). Furthermore, crop rotations with maize instead of a maize monoculture affect the soil quality. A crop rotation with maize increases the soil organic carbon content, it requires less nitrogen to obtain the same yield, and it reduces the relationship between harvest, production and weather conditions as compared to a maize monoculture. To avoid leaching of nutrients by early mineralization of catch crops, a combination of frost and non-frost sensitive crops can be used.

Flexibility in seeding data can be a solution for the increased risk of higher temperatures and droughts during the seeding period. whereby the ultimate goal is to obtain a maximal N uptake by catch crops. An option here is to evaluate the ultimate seeding data annually, based on the weather conditions, and if needed to prolong the seeding period. It is important, however, to not become too flexible with these dates, because the goal is still to realize a maximal nitrogen uptake. One should not wait until the last minute to sow catch crops.

2.4.4 Manure storage and stables

Regarding manure present in stables or the storage of manure, the efficiency to reduce nutrient losses of current measures is only limited subjected to climate change. However, further reductions in nutrient losses could be achieved by optimisation and better implementation of the current techniques in practice. This study focusses specifically on manure storage and stables. Climate change might lead to higher temperatures, which might lead to animal heat stress and consequently to adaptations in the stables (e.g. installation of nebulizers, more fans), the latter might increase the risk of ammonia emissions. Extreme precipitation events might lead to an increased risk for point losses due to the storage of manure on fields. Higher temperatures may also results into more emissions of greenhouses gasses and ammonia from manure. Below we present several possibilities to further reduce nutrient losses from manure storage and stables.

Reducing nutrient losses during manure storage

Ammonia emissions during storage of slurry can be reduced by: (i) Reducing the manure surface; this is only possible when new infrastructure is built. (ii) Covering silos and tanks filled with slurry with a lead, roof or tent structure. Minimal ventilation is required to avoid accumulation of inflammable gasses such as methane. (iii) Natural crust formation. This is only practically feasible when the manure is not mixed regularly, when new manure is added below the crust and when the manure forms an effective crust. (iv) Covered storage of larger basins and silo. Depending on the cover type one should pay attention to ruptures, wind, ventilation, drainage of rainwater and manure homogenization. (v) The use of storage bags. The bag size limits the amount of manure that can be stored. (vi) An anaerobic fermentation installation. However, this results in higher ammonia emission during manure spreading, which can be avoided by using an adapted method to apply the fertilizer.

Greenhouse gas emissions during storage of manure can be reduced by an aerobic storage (with aeration), and by compacting and covering manure heaps. Wetter winters and more intense rain events due to climate change may results into a higher nitrogen leaching risk when manure is stored on fields. An extension of the obligatory coverage period can possibly reduce further nutrient losses. However, research with solid cattle manure showed that covering manure heaps did not have effect on nutrient losses below the heap compared to non-covered heaps (Nelissen et al., 2015).

Locked systems outside stables like for example external manure storage or a manure silo to which manure is transferred regularly, can easily be equipped with leak detection to detect faster nutrient losses en to intervene faster to reduce nutrient losses. Another advantage of external manure storage is that manure can be homogenized more easily and that emissions due to ventilation in the stable can be avoided.

Reducing nutrient losses from stables

More frequent manure removal can further reduce greenhouse gas emissions from stables, where a distinction can be made between cattle stables, pig stables, and poultry sheds. For the grid floor of cattle stables, a slightly sloping floor can be cleaned by scrapers. Another option is to clean grids and floors with water. Disadvantages of the latter are the additional water cost, the additional manure storage, the larger volume for manure spreading and a risk on a faster exceedance of the manure storage capacity which increases the risk of manure spreading during unfavorable moments for crop and soil. Ammonia emissions can also be reduced by ventilating stables with air scrubbers. In pig stables, ammonia emission can be reduced by minimising the emitting surface, such as by installing an oblique plate that with overflow to the manure storage, or by using an odour trap. Manure can also be diluted with water to reduce emmsions. Further, balance balls in underground manure storage show some potential for ammonia reduction but in practice results have been suboptimal. In poultry sheds, a mobile eating and drinking line may reduce ammonia emissions. However, this system is

currently insufficiently optimised and comparable production results must be guaranteed. Conditioning the incoming air in broiler houses with a heat exchanger may reduce the ventilation debit and consequently reduce ammonia emission.

2.4.5 Closing the nutrient cycle

The intensive cattle breeding in Flanders results in a larger manure supply than can be disposed on Flemish agricultural fields (manure surplus). This increases the risk of improper use of manure on agricultural field, and thus the risk on nutrient losses. This manure surplus is partly caused by fodder import (i.e. also nutrient import) and this transportation also contributes to greenhouse gas emissions. The excess manure from Flanders is either exported (untreated), processed into nitrogen gas (biologically), or processed into soil improvers in manure processing plants and then exported out of Flanders. Manure processing has increased since 2008. To avoid a further increase in livestock and manure production, and to reduce over-fertilisation, a manure balance and “nutrient stop” have been set up in Flanders. However, once the latter was changed to nutrient emission rights, the system had almost no limiting factors to avoid expansion of the number of livestock. Moreover, the manure balance, calculated for farms, takes only crop production at average conditions into account. As mentioned above, adapted practices can provide an answer to a changing climate.

A theoretical calculation to close the nutrient cycle should start with the capacity of the Flemish agricultural system. This implies determining the possible acreage per subsector of the Flemish agriculture, since closing the nutrient cycle also implies that fodder is produced in the near environment so that it is not imported from far away. Finally, this results in an amount of livestock that will maintain the closed system.

Reducing the livestock amount on Flemish or European scale, without reducing the livestock consumption, will result in a relocating production to other parts of the world. This does therefore not lead to a more sustainable food system on a global scale. For example, the highly efficient West European livestock production emits a relatively limited amount of greenhouse gas per unit milk/meat. Moreover, for each decision the environmental, economical and social aspects must be coordinated. It is also important to examine the entire agro-food system to close the nutrient cycle.

Upgrading organic residual streams into mineral fertilisers is an important step in a circular economy because it will lead to lower use of mineral fertilisers. Proposed criteria for the use of this RENURE as fertiliser are among other things: (i) it is based on animal manure, (ii) the ratio of mineral N to total N should be larger than or equal to 90%, or the ratio of total organic carbon to the total nitrogen content should be smaller than or equal to 3, (iii) the copper concentration should not exceed 300 mg Cu/ kg dw and the zinc concentration should not exceed the value of 800 mg Zn/ kg dw.

Under a changing climate, the nutrient cycle will become more difficult to close. The European study of Tostivint et al. (2016) reports possible measures to better close the nutrient cycle. A major part of the proposed measures are already provided in Flanders (e.g. catch crops, fertilisation according to the 4 J's, etc.). Some measures, such as split fertilisation to improve the N and P fertilisation plan, adapted cattle rations, and optimized manure storage and stables would all help to reduce nutrient loss via leaching and/or emissions.

2.5 PART 2: DIFFERENTIATED FERTILISATION IN POTATOES AND MAIZE

2.5.1 Review of current techniques and possibilities of differentiated fertilisation

A sustainable and robust nutrient use with a limited nutrient loss and an efficient use of nutrients is accomplished by applying nutrients when plants actually need them, in an easily accessible place for the plants and in a bioavailable form. In other words, differentiated fertilisation, either in time or space, is an instrument to increase the nitrogen utilisation and to limit losses to the environment, water and air.

Inferior nitrogen utilisation may be due to a shallow rooting system, limited rooting density, a large row distance and a ridge cultivation method. All these aspects apply to potatoes and maize, crops for which a spatially differentiated fertilisation offers possibilities.

Three possibilities of **spatial differentiation** are discussed here.

- In-row fertilizer placement is the best known method of spatially differentiated fertilisation. The nutrients are dosed in or next to the row with plants, either under, above or next to the seeds. In-row fertilisation does not necessarily result in higher yields but offers the possibility to reduce the nitrogen dose. In maize the nitrogen dose can be reduced by 25% via in-row fertilisation without yield loss. In-row fertilisation is usually done by chemical fertilisers; although it is possible with slurry, this is not common practice.
An important advantage of in-row fertiliser placement is the low-emission application and a possible lower nitrate-N residue.
- Fertigation is the combined and simultaneous application of water and nutrients. Fertigation is both a spatially and temporally differentiated fertilisation. Drip irrigation makes it possible to split the fertilisation into multiple applications. Because of their small root systems, both potatoes and maize are prone to drought. This technique therefore has great potential for crops such as these. In potatoes higher yields were observed at lower nitrogen doses. Also in maize, fertigation led to a higher nitrogen use efficiency in France and Italy. Because of the cost, this practice is economically not sustainable in maize.
- Foliar fertilisation is an extreme form of spatial differentiation. The nutrients are not offered to the plant to or through the roots but rather through the leaves. Crop fertilisation cannot be realised solely by foliar fertilisation, however. For potatoes foliar fertilisation can be a part of the fertilisation strategy. In maize, foliar fertilisation is still considered as a correction in difficult conditions. Although foliar fertilisation appears to be less efficient in maize in stress conditions compared to optimal growing conditions, in a well-growing crop, foliar fertilisation can result in higher maize yields.

Inferior nitrogen utilisation can be caused by growing period, uptake intensity and the uptake pattern. **Temporal differentiation** of the fertilisation offers nutrients when needed by the crop. A temporally differentiated fertilisation can be achieved by splitting the application over time. In potatoes, a split application results in a higher efficiency, as long as the last application is applied at the correct time, approximately within 60 days after planting. For maize, split applications have barely been investigated in Flanders and the existing studies did not show any advantage. In the Netherlands they state that a split application of nutrients is not to be preferred in maize. In France, however, a split application in maize is more practiced, amongst other by in-row fertilisation.

To realise a temporally split nutrient offer, fertilisers do not necessarily have to be applied at different times or be physically separate. Slow or controlled release fertilisers and nitrification or urease

inhibitors can release and offer nutrients gradually, thus creating a temporal differentiation. For potato cultivation, the added-value of slow or controlled release fertilisers is not always clear. In Germany, nitrification inhibitors did not result in higher yields of maize or in a reduction of the nitrogen fertilisation but they did allow fertilisation with one application instead of two applications. The Cultan method, a one-time application, also relies on slower nitrification. By injecting a high concentration of ammonia-based fertilisers, the Cultan method is also a specific type of in-row fertilisation. The results are variable: German trials demonstrated possible higher yields and reduction of nitrogen fertilisation but this was not confirmed by Dutch research.

When the nitrogen fertilisation is split, the first application represents a reduced dose. Several instruments are offered to support the decision about either the necessity of or the dose of a possible second application. The supporting systems can be based on soil, crop, or both.

Soil-based advisory systems rely on sampling soil to determine the mineral nitrogen reserve. Each system takes specific parameters and information into account and quantifies how much nitrogen the crop still needs for an optimal production with a small nitrate-N residue left at the end of the season.

Crop-based systems are also diverse. Different levels of nitrogen fertilisation in smaller plots result in “nitrogen windows”, which indicate the need for adjustment when the crop status deviates. The petiole-method compares the nitrogen content of the petioles to a standard. The standard depends on the variety. Substandard values indicate that fertilisation should be adjusted. The method starts about 4 weeks after emergence and continues weekly during 4 to 5 weeks. A comparable method is the French Jubil method. In maize, however, the Jubil-method is rather used to control fertilisation. On fertigated parcels with maize this method can be used to adjust the fertilisation. Other crop-based systems often rely on the interaction between light and plant. The amount of chlorophyll in leaves is determined by measuring transmission or fluorescence. Because of the correlation between the chlorophyll content and the nitrogen content, those measurements indicate the nitrogen status of the plant. Determining the chlorophyll content by transmission, e.g. the Hydro-N-tester, tends to be too late in indicating nitrogen deficiency in potato, and one series of measurements is inadequate. For these reasons, additional measurement of a reference on the parcel is recommended. The chlorophyll content can also be determined by measuring fluorescence. Measuring both the fluorescence and the absorption of chlorophyll and polyphenols is more accurate. The concentration of polyphenols is greatly influenced by differentiation of the nutrient status. It reacts sooner than the chlorophyll content and the leaf area index. The combined determination of chlorophyll and flavonols ensures a more accurate and early detection of nitrogen deficiency in potatoes. Also in maize this method can detect nitrogen deficiency in an early stage (4 to 8 leaves). Still, a reference ensures the most correct interpretation of the measurements. Advantages of the fluorescence method are the high sensitivity to the nitrogen status and the independency of biomass and soil interference. Those aspects are important for reflection based measurements. Reflection is not measured at the leaf but at a larger distance from the crop. Reflection sensors can be tractor mounted but can also be found on drones, UAVs or satellites. Vegetation indices like NDVI are used to standardise the reflection measurements. Some examples of tractor mounted sensors are the Yara-N-sensor, the Greenseeker and the Crop Circle. These are all thought to be able to determine the nitrogen status of the crop. Measurements by drones, UAVs or satellites are also reflection measurements that are converted in vegetation indices. Those indices need to be further translated into recommendations. This last step is often not made public.

The tractor mounted sensors could lead to an on-line steering of the fertilisation, which means that fertilisation is immediately adapted to the measurements. Measurements from the tractors, drones, UAVs or satellites visualise and reveal the spatial variation. The resulting charts per parcel make precision management possible. However, reflection measurements give no information about the cause for deviations in nitrogen status; in other words, they do not distinguish nitrogen deficiency caused by drought or nitrogen deficiency because of an insufficient nitrogen reserve in soil. Supportive

and declarative measurements or observations on soil and/or the crop are still essential for correct interpretation and decision making.

2.5.2 Set-up of an evaluation framework for the techniques

The discussed techniques and systems were evaluated regarding nitrogen-use efficiency, environmental advantages, practicality and feasibility in Flanders, the technology readiness level and the time to wide implementation in practice. Two separate standards were defined to evaluate the differentiation techniques and the decision support systems. The reference or standard for the differentiation techniques was a one-time and widespread application of the total dose. The reference for the decision support systems is fertilisation without advice, based only on the Flemish fertilisation standards.

2.5.3 Identification of the best-available fertilisation differentiation techniques for potatoes and maize.

Based on the presented framework, fertigation appears to be a well-suited method. Water availability is the limiting factor for the feasibility of applying this technique on a large scale. Slow and controlled release fertilisers are not the best-available technique for potatoes and maize because of the uncertainty about the timing of nitrogen release and the higher price. Foliar fertilisation is already known by farmers and shows clear potential; however its N contribution is limited to only a part of the total nitrogen fertilisation. Nevertheless, foliar fertilisation can be an element of the best-available fertilisation strategy. In-row fertilisation is most known and practiced in maize, more specifically with the use of mineral fertilizers. This technique is also suitable for potato, although it will still take time before it is widely accepted by potato growers. In-row fertilisation with slurry is possible but seems less feasible. Split fertilisation does not require extra investments, farmers know about it, and it has the potential of reducing the nitrogen dose and adapting fertilisation to the weather.

Regarding decision support systems, the reflection measurements by tractor sensors, drones, UAVs or satellites are all ideal. However, because of the lack of identification of the cause of the divergent nitrogen status and the difficult or unclear translation of measurements into recommendations, it is too early to identify these measurements as the best-available technique. Handheld sensors take too much time, they still require a reference, and a timely identification of nitrogen deficiency is needed. Crop based methods like the petiole method are time-consuming and often result in a late identification of nitrogen deficiency. Soil analyses unambiguously indicate the mineral nitrogen reserve and can quantify how much mineral nitrogen can be expected. The latter technique is therefore the best-available decision support technique evaluated here.

For the best available technique, fertilisation starts with soil sampling. For that, parcels with similar characteristics can be grouped as “iso-parcels” and soil sampling can be restricted to the indicated reference parcels. This can limit sampling costs.

Best-available fertilisation technique for potatoes

In potatoes 70% of the recommended nitrogen dose, based on soil analysis, is applied at the start. If mineral nitrogen is used for the basic application, in-row placement is preferred. Approximately 4 weeks after planting the mineral nitrogen reserve in soil is evaluated by soil analysis to determine a next application. Depending on the amount for adjustment, foliar fertilisation can be preferred.

Best-available fertilisation technique for maize

Assuming the use of organic fertilisers for the basic fertilisation, the dose will be defined by the most limiting of the advice and the organic fertilisation standard. When the advice is higher than the organic fertilisation standard, the remaining part of the advice is completed by mineral fertilizers which are applied in the row.

2.6 PART 3: INNOVATIONS

2.6.1 Innovation 1: Legumes

Legumes do not need N fertilisation due to their symbiosis with N fixing bacteria. Every kilogramme of mineral N fertilisation that can be avoided, is a kilogramme that cannot be lost through ammonia emissions, N₂O emissions (greenhouse gas) or nitrate leaching. This is true today as well as in the future under a changing climate. There is no reason to believe that legumes lead to more nitrate leaching than other crops. We can differentiate nitrate residues at the end of the growing season, between the crop residues of grain legumes such as faba beans, peas and soybean and the crop residues of perennial mowed legumes such as clover and alfalfa. In most studies, no extra nitrate residues are detected at the end of the season as compared to non-legumes. However, in some studies in pure cereal rotations a slight increase in nitrate residue is detected when a grain legume is added to the rotation. This amount is so small, however, it can easily be solved by installing a catch crop. The crop residues of grain legumes are only a very small source for nitrate leaching. In contrast, the crop residues of plowed perennial legumes in a temporary grassland-arable crop rotation can lead to very high N mineralization and nitrate residues, although this is no different as compared to plowed grassland and therefore does not represent an effect of the legumes. Of course this needs to be incorporated in the fertilisation of the following crops.

Production of N fertilizer requires enormous amounts of fossil energy, mainly in the form of natural gas. N fertilizer is also a source of nitrous oxide after the application in the field. N fertiliser is therefore a double source of greenhouse gas emissions. For every kilogram of N fixation, a kilogramme or more of N fertiliser can be avoided, as N fertiliser is never 100% efficient in use. The N-rich legume residues could be a source of nitrous oxide emission. However, several studies have stated that the emission was quite small and could hardly be differentiated from the reference situation. The extra nitrous oxide emissions due to decaying legume crop residues as compared to other crop residues are expected to be very low.

An extra advantage of legumes in a changing climate is that some of them are drought tolerant. Characteristics for drought tolerant plant are for example a more efficient water use, a deeper and/or more intensive rooting system, the ability to delay crucial development phases etc. Of course the degree of drought tolerance is species specific and depends also on the severity of the drought stress.

Despite all of these advantages, legumes are rarely used in contemporary agriculture. There are several reasons for this. First of all, grain legumes are not as profitable as other crops. Crop yield stability also needs to increase, as variability in legumes is higher than that of cereals. Breeding will play an important role for both crop yield and crop yield stability. Historically, legumes have not been bred as aggressively as cereals, maize and grasses. Farmer inexperience with legumes is another important bottleneck. The relatively cheap N fertilisers make it more attractive to simply fertilise rather than cope with the variability of N fixation in the legumes and N mineralization of the legume crop residues.

Legumes clearly show great potential, both in terms of nutrient losses and greenhouse gas emissions, today and in a future changing climate. Resolving the above bottlenecks now will stimulate legume

cultivation. Bottlenecks related to the knowledge of the farmer can be tackled easier than bottlenecks concerning yield, quality and yield stability which requires research and breeding.

2.6.2 Innovation 2: Soil quality

'Soil quality' is difficult to define and the definition varies with the context. In this study we defined soil quality as the property of a soil to make a crop resilient under extreme weather conditions such as drought, heat and intensive or excessive rainfall, but also to extreme changes in conditions. When crops are more resilient, the crop growth can increase or at least be maintained under bad conditions. This leads to more efficient use of the available nutrients and therefore potentially fewer nutrient losses. The better the soil quality, the better the crop will root. This means that more of the soil nutrient stock becomes available for crop uptake and growth, and nutrients that are taken up cannot be leached. In addition, this results in less demand for additional nutrient applications to ensure crop growth.

Extreme weather conditions can also negatively affect the soil quality. An increasing number of extreme rainfall events can complicate soil tillage and harvest and therefore enhance soil compaction.

The most important soil parameters are soil pH and soil organic matter content. Both parameters need to be in a specific range to maintain optimal soil quality. Together they form the basis for optimal nutrient and water availability for crops. However, some important things must be kept in mind. An increase in soil organic matter means potentially more N mineralization. This means less need of instant nutrient supply by fertilisation. Unfortunately, the mineralization process is dependent on moisture and temperature and thus depends on weather conditions. Paradoxically, more organic matter can also lead to more nutrient leaching, if the mineralization occurs at the 'wrong' time. Besides low oxygen conditions and availability of N, a fast-decomposable C source is a factor to enhance nitrous oxide formation and emission. Measures that enhance the soil organic matter content can lead to more fast decomposing organic matter in the soil and more frequent decomposition times, thus increasing losses. In contrast, increased soil organic carbon content also uses the soil as a CO₂ sink and is thus a part of climate mitigation. Optimisation of soil pH by liming can lead in the short term to a small increase in nitrate residues by stimulating the mineralization of soil organic matter, but decreases the nitrate residues in the long-term by enhancing crop growth. Increasing soil pH can also reduce nitrous oxide emissions. Soil organic matter also increases the amount of plant-available water retained in the soil. Some studies show doubt about whether this increased amount is important enough to make a difference in extreme conditions. This needs more explanation; see the full text.

Soil conditions can be improved by increasing the soil organic matter, liming when needed, crop rotation and preventing and remediation of soil compaction. This is true today and will still be true under a changing climate – the main difference is that climate change can magnify the effects of a good and bad soil quality. The goal for farming is clear, but the steps that need to be taken are not easy. For example, alternative crops in the crop rotation will only be chosen if they provide enough revenue for the farmer. A crop rotation of temporary grassland with several years of arable crops can help to increase the soil organic matter of arable soils, but can also have temporary mineral N peaks that need to be handled. This should be taken in mind when choosing the next crop and determining the N fertilization. The best option is to choose an intensive and/or deep rooting crop that can take-up much N until late in season and the N fertilization should take into account the amount of N that mineralizes from the plowed grassland.

2.6.3 Innovation 3: Precision agriculture

Precision agriculture is about more efficient use of means of production and increased productivity. Due to precision agriculture resources can be used more targeted in time and place. This can also have advantages in a changing climate, because this way it is possible to respond more rapidly to changing weather conditions. For example, when manure is spreaded in time, one can take into account extreme weather conditions during the growing seasons and/or one can take into account the site specific soil characteristics which causes some parcel parts to react differently on extreme weather conditions than other parts of the same parcel. The technology can vary greatly. In the context of this study we differentiated in two groups of technology, 'machine guidance' and 'variable nutrient rate technology'. Machine guidance not only assists the driver but also automatically guides operations like deep tilling or crop protection to prevent overlap or to change activity according to the position in the field. With variable nutrient rate technology, fertilisation is adapted in space and/or time, depending on variations in soil, crop and sometimes other environmental conditions. By saving nutrients and energy, nutrient losses and greenhouse gas emissions can both be reduced.

Although this technology can be helpful for farmers, 'logical thinking' still has an important place. Variations in the way the technology works and the dosage automatically chosen needs to be questioned. For example, farmers need to check why certain parts of a field will get higher amounts of fertilizer. Is it because of an increased potential crop yield compared to the rest of the field or is something wrong (for example compaction) and is more fertilisation needed simply to achieve the average crop yield of this field? In the latter case, the farmer should question whether the 'problem' can be solved instead of increasing the fertilisation, which is not always the best option for the environment.

Two important bottlenecks with this technology are the decision models and economic factors. The technology is evolving very quickly, with many more actions becoming possible in the field in the near future. However, some caution is needed in case of variable nutrient rate technology. In some cases the calculations behind the dosage are still subject of discussion. Similarly to classical soil samples and the related fertilisation advice, some parameters such as mineralization are predicted, which can vary strongly and can vary even more with extreme weather conditions. Sometimes, the models used in commercial applications are not public, which makes it difficult to determine whether they are calibrated for the situation in which farmers want to use it. Furthermore, the technology is expensive in comparison to the extra revenue generated. In many situations, profitability is questionable or the investment is simply too high. This technology is mainly profitable on large scale farms with high acreage and large fields and on farms with large variability within fields with highly profitable crops.

Precision agriculture can also start by optimising the technology already in use today. For example, settings of fertiliser spreaders and a setting to fertilise field borders can already be optimised. Farmers do not always realize that their equipment is not optimally calibrated or that they are using it under suboptimal conditions. Simple tips and advice could already help both farmers and the environment greatly. Technology for variable liming according to soil pH variation in the field is already available to farmers, although this is not widespread and is not always profitable. Fertiliser spreaders with variable dosage are becoming more common, but the question remains what the variation is based on.

Irrigation of most of the fields in Flanders will not be possible due to a lack of available water. Nevertheless, it is expected that more irrigation will take place in the future, especially in fields that have a water source, are close to a water source or are part of an irrigation network. Irrigation can help to decrease nutrient losses by increasing crop yield or preventing crop yield losses during severe drought events. It will however be necessary to base the time and dosage of irrigation on precision techniques to use water as efficiently as possible. It is also important that fertilizing advice systems take into account whether the crop will be and/or was irrigated.

2.6.4 Innovation 4: Tackling emissions at the source (in the ration)

In the expert workshop organised at the beginning of this study, the experts agreed that there are many possible measures that can be taken to reduce the N losses (mainly emissions) through the roughage and ration management of cattle. The main idea is to enhance the N efficiency of the digestion process in cattle. Some of the measures are already known and proven, such as reduction of the crude protein content of the roughage and limiting the grass intake. Other measures (for example, the use of tannins) are still being studied. Climate and climate change do not have a direct influence on feed intake and additives. However, drought and heat can lead to animal stress and can indirectly decrease roughage intake and milk/meat production. More intensive and excessive rainfall, muddy pastures, high temperatures and/or poor grass growth can lead to less grazing. Changing climate conditions can also stimulate the farmers to choose different fodder crops.

Until now, research was mainly focused on N emissions. However, changes in ration composition will also change the emission of the greenhouse gas methane. Today, more and more research is being done to observe greenhouse gas and N emissions. This will help to choose the right ration composition to decrease both types of emissions.

In summary, a more balanced ration in combination with more attention to protein quality and amino acid composition can lead to more efficient protein use and less need for crude protein. This leads to less N emissions, both by a reduced N% of the fodder and by more efficient use by the animal. However, it is very difficult to set up systems to stimulate farmers to change their ration composition. Certain parameters such as crude protein content of roughage and urea content of milk are interesting parameters to gather information, but these can never include all the differences between farms and animals that should be taken into account. Instead of obligatory rules, one could also think about advisory systems for farmers to optimize their ration composition. The goal is that farmer feed more depending on the need of the animal. Tools, like for example the ration tool of ILVO-Dier, can help the farmer and advisor to calculate the right composition of the ration as a function of the milk yield. In contrast, measures to reduce emissions from stables are more easily regulated, and this is already being done (paragraph 1.4.4).

The aspect of grasslands needs more attention in this story. Grassland is very desirable because it can be a large C sink, it can prevent erosion and therefore nutrient losses, keeps less valuable soils in agricultural production, has more biodiversity than other intensive cropland and except for periodic renewal, it hardly contributes to elevated nitrate residues. Grasslands are under intense pressure, however, as they are worth a lot less money than arable land. An increasing number of farms are specializing in one sector instead of keeping a mixed farm. When a farm specialises in plant production, grassland loses its value to the farmer. Measures such as reducing the grass intake can further decrease the interest in grassland and stimulate a conversion into arable land. Interest in grassland can also be lost when grazing is reduced. Less grazing means that farmers have more control over the total ration and can implement more efficient actions simply by changing the ration. In contrast, grazing has the positive effect of splitting the urine and faeces and thereby reduces the N emissions. Clearly, the change in roughage and ration composition can have vast effects on the interest and management of grassland. A changing exploitation can also affect the carbon storage. Most carbon is stored in grassland with an intermediate management between an extensive (minimal fertilisation and limited grass cuts) and intensive exploited grassland (high fertilisation and high amount of grass cuts/ stocking density). It is therefore vitally important that a few scenarios should be calculated that contain ALL aspects of nutrient losses and greenhouse gas emissions, including changes in fodder crops and land use. This is still not being done for Flanders.

2.6.5 Innovation 5: More robust cropping systems

A more robust cropping system is a logical answer to reduce the influence of climate change on agriculture, and simultaneously to reduce nutrient losses. Because 'robust cropping systems' was too broad of a term for this study, we chose to discuss three farm scenarios: a cattle farm with mainly maize and grass, an arable farm with an important acreage of potatoes and an intensive vegetable farm. These scenarios were chosen because they apply to a large proportion of the Flemish agricultural acreage and because they contain the situations where the highest amounts of nitrate residues are detected. For each theoretical scenario, the climate related issues that are already detected today - and which are expected to worsen with climate change - were listed. The purpose of the study was not to make a complete list, but rather to give an idea. For specific details about the scenarios, the reader should directly consult the relevant chapter. The main conclusion in this chapter is that for some issues there are solutions that still need to be implemented on the farms, but also that several solutions are not practically or economically achievable by the farmer. This is discussed in detail in the complete text.

2.7 GENERAL CONCLUSIONS

Are changes in instruments, measures and flanking policy possible to make the policy measures concerning manure production and manure use more climate robust to avoid nutrient losses?

Yes, some adaptations to MAP measures are possible to further reduce nutrient losses due to climate change. An overview of possibilities is given below.

- Adding the total amount of nitrogen fertilisation in different doses spread over time (split fractionation) offers potential for a fertilisation strategy that takes crop development and growing conditions into account and reduces the risk on elevated nitrate residue levels due to varying weather conditions. Especially in potato cultivation, a drought sensitive crop, where split fertilization is not frequently applied over the large potato cultivation area in Flanders, there is a large potential for reducing nutrient losses. In addition, potatoes need a relatively high N-fertilisation and have low N-utilisation compared to other crops, which increases the risk of nitrogen losses.
- Irrigation during drought periods may result in better N utilization, less/lower soil N residue and less/lower risk of nitrate leaching.
- The use of catch crops is recommended. Climate change can result in a longer growing season in some years, promoting a longer mineralization which makes it possible that catch crops take up more N. However, the day length will not change, making a timely sowing necessary to ensure that this uptake can be realized.
- Nitrate losses during the growing season can be reduced by an intermediate evaluation of the fertilization and by the use of the N-balance as a sensibilisation tool for farmers.
- Using catch crops in outdoor ornamental cultivation and sowing a catch crop together with maize or during the cultivation of maize can further reduce nutrient losses.
- Applying crop rotations can also avoid nutrient losses (e.g. no monoculture maize), this also positively affects the soil quality.
- To avoid leaching of nutrients by early mineralization of catch crops, a combination of frost and non-frost sensitive crops can be used.
- Better application of measures concerning manure storage and stables (optimization of storage and better elaboration of the technical requirements of stables types) can further reduce nutrient losses.

- New constructions with an external manure storage reduces emissions and makes it possible to homogenise manure, so that a better knowledge of the manure content can result in a more precise application and a lower risk on nitrogen losses.

Generally, under a changing climate, the nutrient cycle will become more difficult to close. A major part of measures that promote closing the nutrient cycle are already provided in Flanders (e.g. catch crops, fertilisation according to the 4 J's). Further closing the nutrient cycle is an important challenge, where the practices of agri- and horticulture as well as the general consideration of the Flemish agricultural system should be central.

Which are the possibilities to split nitrogen fertilisation in the potato and maize culture in Flanders?

Splitting the fertilisation is possible in time, in space, or as a combination of both.

In potato, a combination of both is possible. Splitting the fertilization in time, i.e. choosing for a lower basic fertilization and a second application after a soil evaluation, offers clear possibilities. This way, the fertilization can be adjusted based on the current state of the weather, soil and culture. This increases the chance to reduce losses. Row fertilization reduces the amount of N used by a targeted placement and reduces losses by volatilization. The best available fertilization technique for potato is to apply 70% of the recommended nitrogen dose, based on soil analysis, at the start. If mineral nitrogen is used for the basic application, in-row placement is preferred. Approximately 4-6 weeks after planting the mineral nitrogen reserve in the soil is evaluated by soil analysis to determine a next application. Depending on the amount for adjustment, foliar fertilisation can be preferred. Foliar fertilization can be a part of the fertilization strategy in potato.

Row fertilization in maize can reduce the added fertilizer by 25% without affecting the yield. Row fertilization is usually done with mineral N. Row fertilization with liquid organic manure is possible but has still some bottlenecks, therefore it is not expected that this will become soon a common practice. Splitting the fertilization in time has not been tested extensively in Flanders. In contrast, in France splitting the fertilization in time is a more common practice. In Flanders, splitting the fertilization in time is not the best available technique yet, and row fertilization offers at this moment the greatest possibilities.

Which chances do innovations offer for a climate adaptive agriculture in Flanders, to further reduce nutrient losses?

Nutrient losses can be limited. Different strategies can be followed. These strategies include both innovations and 'old' knowledge that need further development and better implication. A short overview is given below.

- Thanks to their N-fixation, legumes have a great potential to reduce N fertilization and N losses. Challenges are their rendability, yield stability and the current limited experience of farmers with legumes. Also the breeding of legumes is at a low level.
- Soil quality will become more important in the future. A good soil quality offers more resilience to a crop in extreme weather conditions.
- Precision agriculture techniques help to handle more efficiently energy and nutrients. The technology is evolving rapidly, but applying the techniques adequately deserves a lot of attention. For example, techniques can measure very precisely and calculate advices, however, the advice is only as good as the weakest parameter in the calculation. For a fertilization advice for example,

the estimation of the mineralization can be a weak parameter. Another disadvantage of precision agriculture is that the technology is not always profitable or the payback time can be long.

- N emissions in cattle breeding can be reduced strongly by changing the rations of ruminants. However, this also implies a change in choice and acreage of arable crops and grassland. More grazing can result in less N emission due to a separation of urine and faeces, but a lower grass uptake by decreasing grazing can be used to increase the efficiency of the protein digestion and so a more efficient N use. This last measure increases the pressure to convert grassland into arable land, which can have negative consequences towards the nitrate residues of the entire agricultural system. There is a good overview needed, which does not only include the effect of a technique, but also the consequences of choosing for a certain technique.
- Currently, we have already a good indication of the bottlenecks concerning nutrient losses. Probably, these consequences will get bigger due to climate change. It will be an interesting exercise to come up with solutions that do not only tackle the nutrient problem, but that also keep agriculture profitable within the economic reality.

3 REFERENTIES/REFERENCES

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.

KMI - Koninklijk Meteorologisch Instituut van België. 2020. Klimaatrapport 2020 - Van klimaatinformatie tot klimaatdiensten. 92p.

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

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.

Tostivint, C. et al. 2016. Resource efficiency in practice – closing mineral cycles. Final report. Europese Commissie, april 2016. 418p. Online available on: https://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/Closing_mineral_cycles_final%20report.pdf.

Uddling, J., Broberg, M. C., Feng, Z., & Pleijel, H. (2018). Crop quality under rising atmospheric CO₂. *Current Opinion in Plant Biology*, 45, 262–267.

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.