



Vlaanderen
is open ruimte

PLATTELAND EN MESTBELEID

Code goede bemestingsadviezen

VLM -2021

EINDRAPPORT

Code goede bemestingsadviezen

Datum rapport: 10/03/2022

Projectconsortium:



Vakgroep Omgeving

Onderzoeksgroep SoFer



Opdrachtgever: Vlaamse Landmaatschappij

VLM bestek nr.: BESTEK APLM/2021/1

Looptijd: 01/08/2021-31/03/2022

Te citeren als:

DE NEVE S., KREKELBERGH N., FRANÇOYS A., MENDOZA O., SLEUTEL S., VANDERMOERE S., DE WAELE J. (2022). CODE GOEDE BEMESTINGSADVIEZEN. STUDIE UITGEVOERD DOOR UNIVERSITEIT GENT - VAKGROEP OMGEVING - ONDERZOEKSGROEP SOFER EN PROEFCENTRUM VOOR DE AARDAPPELTEELT IN OPDRACHT VAN DE VLAAMSE LANDMAATSCHAPPIJ. EINDRAPPORT, 31 MAART 2022.

INHOUD

Inleiding	10
Doel van de opdracht	10
Summary.....	11
1 Analyse en vergelijking van bestaande adviessystemen	13
1.1 Oplijsten en categoriseren bestaande adviessystemen	13
1.2 Contacten adviesverlenende instanties/wetenschappelijke instellingen in binnen- en buitenland	14
1.3 Selectie simulatiemodellen voor geschiktheid als N bemestingsadviestool	16
1.4 Enquête bij landbouwers en landbouwvoorlichters omtrent bemestingsadviesystemen (Luik 3)	16
1.4.1 Contacten	17
1.4.2 Inhoud enquête	17
1.4.3 Uitsturen en opvolgen enquête	17
1.4.4 Resultaten enquête	17
1.5 Matrices voor vergelijking N en P bemestingsadviesystemen	19
1.6 Gevoeligheidsanalyse	21
1.6.1 Op basis van de kwalitatieve (of semi-kwantitatieve) gegevens: N bemesting	22
1.6.2 Gevoeligheidsanalyse op basis van modelsimulaties: N bemesting	29
1.6.3 Op basis van de kwalitatieve gegevens: P bemesting	34
1.7 Voorbeelden van adviezen uit het buitenland	35
1.7.1 Denemarken	35
2 Vergelijking van adviezen via praktijktoetsen.....	38
2.1 Opgevraagde adviezen	38
2.2 Berekening van adviezen via computersimulatiemodel	39
2.2.1 Methodiek	39
2.2.2 Perceel 1: rode kool: 10 kg N	41
2.2.3 Perceel 2: witte kool na gras: 0 kg N	43
2.2.4 Perceel 3: bloemkool na snijrogge: 40 kg N	45
2.2.5 Perceel 4: bloemkool na snijrogge: 0 kg N	46
2.2.6 Perceel 5: prei na tagetes: 40 kg N	48
2.2.7 Perceel 6: knolselder: 0 kg N	49
2.2.8 Vergelijking met de adviezen gegenereerd door het consortium	51
2.3 Evaluatie en vergelijking van de adviezen	51
2.4 Klimaatrobustheid van adviezen en adviessystemen	56
2.4.1 Link met klimaatrobustheid binnen bestaande adviessystemen	56
2.4.2 Binnen de benchmarking	57
2.4.3 Aanzetten tot het verhogen van klimaatrobustheid van adviessystemen in de toekomst	57
3 Focusgroep 1: Het 'ideale' bemestingsadviesysteem	61
3.1 Algemeen en doelgroep	61
3.2 Thema 1: Welke gegevens hebben we nodig om een gedegen bemestingsadvies te formuleren	63
3.3 Thema 2: Hoe worden het bemestingsadvies en de invulling ervan het best geformuleerd	64
3.4 Thema 3: Wat motiveert een teler om een bemestingsadvies op te vragen en op te volgen	66
3.5 Finale bedenkingen uit focusgroep 1	67
4 Juiste dosis en andere J's voor N en P.....	69
4.1 Literatuurstudie bestaande adviessystemen	69

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

4.1.1	De Nmin methode	70
4.1.2	De KNS-methode en het N-expert systeem	73
4.1.3	De N-balans methode (N balance sheet method)	76
4.1.4	VLM Demetertool	80
4.1.5	Het RB209-systeem van Engeland en Wales	80
4.1.6	Methoden op basis van gewasanalyses	81
4.1.7	Computersimulatiemodellen en beslissingsondersteunende systemen (DSS)	84
4.2	Parameterwaarden voor N en P in bemestingsadviesystemen	91
4.2.1	Parameterwaarden voor N	92
4.2.2	Parameterwaarden voor P	116
4.3	De 4 J's: juiste dosis - tijdstip - type - plaatsing	126
4.3.1	Juiste dosis	127
4.3.2	Juiste tijdstip	134
4.3.3	Juiste type	136
4.3.4	Juiste plaats	140
4.3.5	Klimaatrobustheid en bodemkwaliteit	142
4.4	Categoriseren van door adviesstelsel te stellen vragen (inlichtingenformulier)	150
4.4.1	Vragen voor N adviezen	150
4.4.2	Vragen voor P adviezen	154
5	Focusgroep 2	154
6	vormelijke aspecten van het bemestingsadviesrapport	154
6.1	Conclusies omtrent vormelijke aspecten uit Luik 1	154
6.2	Voorstel vormgeving N bemestingsadvies	155
6.3	Voorstel vormgeving P bemestingsadvies	162
6.4	Economische aspecten	164
6.5	Mogelijkheden tot nazorg	164
7	conclusies	165
7.1	Algemene conclusies	165
7.2	Beleidsuggesties	167
7.3	Verder onderzoek	168
7.4	Welke suggesties/maatregelen met voorrang te implementeren?	169
8	Referenties	171



FIGUREN

Figuur 1: Evolutie van het minerale N gehalte in de bodem en de N opname van de bloemkool op een zandleembodem, als vertrekpunt voor de gevoeligheidsanalyse.	30
Figuur 2 Opbrengst en residuele minerale N in functie van de toegediende bemesting bij bloemkool op een zandleembodem.....	30
Figuur 3: Berekening van de correctiefactor voor de bodem P-toestand op basis van het gehalte aan Olsen-P (in mg 100 g ⁻¹ bodem) in het P model van MarkOnline, Denemarken.....	37
Figuur 4: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel PB_ rode kool	42
Figuur 5: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel PB_ rode kool	42
Figuur 6: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel PB_ witte kool	44
Figuur 7: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel PB_ witte kool.....	44
Figuur 8: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel ID_ bloemkool_ hoog.....	45
Figuur 9: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel ID_ bloemkool_ hoog	46
Figuur 10: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel ID_ bloemkool_ laag	47
Figuur 11: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel ID_ bloemkool_ laag	47
Figuur 12: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel BD_ winterprei	48
Figuur 13: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel BD_ winterprei	49
Figuur 14: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel DM_ knolselder	50
Figuur 15: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel DM_ knolselder	50
Figuur 16: Adviezen bekomen via PCA (enkel groenten): vergelijking van de door vijf instanties (Labo's 1, 2, 3, 4, 5) geleverde N bemestingsadviezen met de door het consortium (Consort) berekende adviezen op basis van de N balansmethode. Negatieve adviezen duiden op een overschot op de N balans vóór N bemesting.	54
Figuur 17: Adviezen bekomen via VLM: vergelijking van de door drie instanties (Labo's A, B, C) geleverde N bemestingsadviezen met de door het consortium berekende adviezen op basis van de N balansmethode (blauw: door consortium berekend; oranje: advies door labo; grijs: verschil in N advies). Negatieve adviezen duiden op een overschot op de N balans vóór N bemesting.	56
Figuur 18: Relatie tussen de Nmin voorraad in de bodem en de optimale N bemesting voor aardappelen op zandbodem op basis van 49 veldproeven in verschillende regio's in Nederland.	71
Figuur 19: Cumulatieve N-opname door het gewas (A) en streefwaarde voor de hoeveelheid minerale N in het bodemprofiel (B) als functie van de tijd voor een typische bloemkoolteelt.....	74
Figuur 20 Variatie in veronderstelde volledige gewas N-opname door groenten waarvoor minimaal 4 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde.	95
Figuur 21 Variatie in veronderstelde volledige gewas N-opname door akkerbouw- en voedergewassen waarvoor minimaal 4 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde.	96
Figuur 22: Standaardafwijking op een compilatie van gewas N-opname cijfers gerapporteerd door verschillende bronnen; het aantal beschikbare kengetallen staat steeds per gewas aangegeven	97
Figuur 23: Variatie in gerapporteerde N-nalevering aan de teelt in het opvolgende jaar waarvoor minimaal 3 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde.	102
Figuur 24: Variatie in gerapporteerde N-nalevering bij inwerken in het voorjaar van groenbemesters waarvoor minimaal 3 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde	104

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

Tabel 21: Mate waarin de timing van de bemesting (eenmalige bemesting aan het begin van het groeiseizoen versus gefractioneerde bemesting) invloed heeft op factoren die de N beschikbaarheid doorheen het groeiseizoen bepalen (- en + : respectievelijk negatieve en positieve invloed).....135



INLEIDING

Doel van de opdracht

Het doel van deze opdracht is om te komen tot een kwaliteitsvol, transparant, uniform en een voor de landbouwer duidelijk stikstof- en fosforbestedingsadvies dat de 4J's bewerkstelligt.

Dit wordt bereikt door enerzijds de opmaak van een benchmark van de adviezen die aan Vlaamse landbouwers en aan landbouwers uit omliggende landen of regio's gegeven worden, waaruit gelijkenissen en verschilpunten blijken van deze adviezen, en anderzijds de opmaak van een code voor goede bestedingsadviezen die aangeeft waaraan bestedingsadviezen zouden moeten voldoen. Het gaat om:

- de berekeningen, de aannames, de onderbouwing van het advies;
- de communicatie met de landbouwer, zowel om gegevens te bekomen voor de opmaak van het advies als de tastbare voorstelling van dit advies zoals afgeleverd aan de landbouwer.

Deze opdracht slaat dus expliciet op zowel N als P adviezen, maar conceptueel gesproken is er een fundamenteel onderscheid in bestedingsadviessystemen voor beide nutriënten. Adviessystemen voor N moeten alle omzettingsprocessen van N op zeer korte termijn in rekening brengen, omdat de N beschikbaarheid cruciaal door deze processen bepaald wordt (mineralisatie, immobilisatie, denitrificatie, uitspoeling, depositie, ...). N bestedingsadviessystemen moeten daarom per definitie erg dynamisch zijn. Alle adviesystemen voor P werken op langere termijn (jaren), en het in rekening brengen van kortetermijn processen is voor P niet relevant, gezien de zeer trage veranderingen in de P toestand van een bodem. P adviesystemen zijn dan ook veel eenvoudiger dan N adviesystemen. De echte uitdaging bestaat erin de P beschikbaarheid correct in te schatten. Om die reden focussen we ons in dit projectvoorstel vooral op de N bestedingsadviesystemen, gezien de dynamische aard en de grote verscheidenheid, ook (en wellicht vooral) in complexiteit. P bestedingsadviezen worden ook expliciet meegenomen, maar vereisen een veel minder diepgaande analyse.

Dit eindrapport beslaat de volledige projectperiode, en omvat dus zowel het voortgangsrapport 1 dat op 1 december werd opgeleverd, als het rapport van alle projectactiviteiten tot en met 31 maart 2022.



SUMMARY

The objective of this project was to arrive at a high-quality, transparent, uniform nitrogen and phosphorus fertilisation recommendation that is clear to the farmer and that achieves the 4Js. For this purpose, a benchmark had to be drawn up of the advice given to Flemish farmers and to farmers from surrounding countries or regions, in order to identify the similarities and differences. Also, a code for good fertilisation advice had to be drawn up, indicating what this fertilisation advice should contain. It is about the calculations, the assumptions, the substantiation of the advice, and the communication with the farmer, both to obtain data for the layout of the advice and the tangible presentation of this advice. This project mainly focused on the N-fertilisation advice systems, given their dynamic nature and great variety. P fertilisation recommendations were also explicitly included, but required a much less thorough analysis.

We listed, analysed and compared existing fertilizer advice systems by performing a survey via a very broad list of contacts, active in the development and formulation of fertilisation recommendations, both in the country and abroad. A questionnaire was prepared and sent out asking which fertilisation systems were used and whether more extensive information could be sent about them. Within the study, one simulation model was also selected to calculate fertilisation recommendations, and the consortium chose the EU-Rotate_N model for this purpose. A survey was also set up for farmers and agricultural extension agents to gauge their attitude with regard to applying and following fertilisation recommendations. The survey proved to be very successful and was completed by 227 respondents, 86% of which were farmers.

For the systematic comparison of the various advisory systems (similarities and differences), matrices were drawn up that include all important points that can occur within an N and P fertilisation recommendation, or ideally should occur. We also carried out a sensitivity analysis on the parameters that have a possible (or expected) (large) effect on the nitrogen demand of and the nitrogen availability for the crop, and thus on the formulated fertilisation advice. The sensitivity analysis was done both qualitatively (or semi-quantitatively), and fully quantitatively based on model simulations with the EU-Rotate_N model.

We systemtically compared fertilizer advices (advice systems) from different advisory bodies for a limited number of practical situations, and to do this as in other practical cases, i.e. without mentioning the context of this project. In addition, recommendations were also calculated via the EU-Rotate_N model for the fields collected by the consortium. All these advices were also compared with advices formulated by the consortium based on a detailed N balance. From the comparison of the figures of the various advisory bodies with those obtained by the consortium, the following important conclusions could be drawn:

- the information provided in the information forms is often very sketchy and does not allow for the formulation of a good advice;
- there is no clarity regarding the calculation methods and the parameter values used
- far too much P is still advised, even in high soil P conditions

Although certain parts of the recommendations can be seen as an indirect possible contribution to climate resilience, there were no explicit links to climate resilience in any of the advices. A number of suggestions were made to make fertilizer advice systems more climate resilient in the future.

In the second project part, the collected knowledge of existing systems and their mutual comparison and performance, the knowledge from the literature, and the expectations of the farmers were integrated to come to criteria that high-performance advisory systems should meet.

An extensive literature study was carried out into existing advisory systems. The emphasis was placed on the computer simulation models and decision support systems, for which a considerable amount of research is still being done and for which there is a large amount of recent international literature. Also, for all important processes (especially N content and N mineralisation from all possible organic N sources) target values of these parameters (further also called parameter values) were collected together with a typical range, and the same was done for P. If a central database with parameter values for fertilizer recommendations would be established, the values collected here would already form a first good basis.

All collected information was combined to come to concrete proposals for an optimal system of fertilizer recommendations, with two important parts: which parameters and processes need to be incorporated in an optimal fertilizer recommendation, and which information needs to be requested from farmers in order to be able to provide such optimal recommendations. This was done in the first place by a thorough analysis of the so-called 4 R's (right dose - time - type - placement). It is crucial to realize that these 4 R's are very much interrelated and the choice for a particular R automatically has an impact on other R's.

Based on the matrix for N advisory systems, the information from Focus Group 1, the sensitivity analysis and the literature study, a maximum list of possible data to be requested by advisory systems was drawn up. Then, a prioritisation of data was implemented and it was checked whether certain data could not be obtained in alternative ways. For P fertilisation, the request for data is limited to the phosphate status of the soil (P-AL) and the crop to be grown. This was therefore not further analysed during the focus groups. Next, a proposal was made of how a N- and P-fertiliser recommendation could look like in order to make it more attractive and, if necessary, better implemented by farmers and this proposal was discussed extensively with the commissioner, the steering committee and the advisory bodies.

The interaction with the stakeholders took place mainly through the organisation of two focus groups, which were directed towards i) the information that needs to be obtained from farmers for formulating a fertilizer advice and ii) how a motivating fertilizer advice should look like.

Finally, the important conclusions from this project, suggestions towards policy, and priorities for further research were formulated.



Luik 1

Luik 1 omvat vooral een gedetailleerde inventarisatie van alle mogelijke aspecten van de bestaande adviessystemen, en een gedetailleerde vergelijking van hoe ze in de praktijk werken en hoe efficiënt ze zijn. In dit luik wordt de basis gelegd voor het formuleren van de criteria in Luik 2.

1 ANALYSE EN VERGELIJKING VAN BESTAANDE ADVIESSYSTEMEN

In dit deel werd een inventarisatie gemaakt van bestaande bemestingsadviessystemen in zowel binnen- als buitenland. Deze inventarisatie omvat in eerste instantie een oplistings van bestaande systemen, gevolgd door een meer diepgaande analyse en vergelijking van de bestaande systemen. De inventarisatie van de binnenlandse adviessystemen is vrij rechtlijnig, gezien deze adviessystemen nog vrij recent in detail werden geanalyseerd en vergeleken binnen een VLM project ("Het documenteren en milieukundig bijstellen van het KNS en andere bemestingsadviessystemen in de tuinbouw met het oog op een ruimere toepassing in de tuinbouw zoals voorzien in het Actieprogramma 2011-2014") (Coopman et al. 2014) dat liep van 2012 tot 2014.

Voor de inventarisatie van de buitenlandse adviessystemen heeft de coördinator in eerste instantie een beroep gedaan op zijn zeer uitgebreid internationale netwerk van onderzoekers binnen het domein van N en P bemesting. Het consortium heeft vanuit het verleden een ruime ervaring met een groot gamma van de adviessystemen die wereldwijd gebruikt worden.

1.1 OPLIJSTEN EN CATEGORISEREN BESTAANDE ADVIESSYSTEMEN

Binnen deze taak werd een conceptueel overzicht opgesteld van (N) adviessystemen, waar alle bestaande adviessystemen in principe zouden moeten kunnen in ondergebracht worden (Bijlage 1). Dit overzicht werd ook ter beschikking gesteld van de (buitenlandse) instanties die adviessystemen hebben aangeleverd, met de vraag om hun adviessysteem hierin onder te brengen, en in alle gevallen kon dit effectief ook zonder problemen gebeuren. Omwille van het versturen naar buitenlandse contacten werd dit overzicht in het Engels opgemaakt. Het gaat om volgende categorieën van N bemestingsadviessystemen:

- vaste N dosissen
- Nmin systemen
- KNS systeem
- N balans methode
- computersimulatiemodellen

een uitgebreid netwerk van Europese onderzoekers in de groententeelt, met o.a. een werkgroep die zich focust op bemesting, irrigatie, fertigatie.

Buitenlandse contacten werden in eerste instantie ook via email aangeschreven met de vraag voor het invullen van een zeer korte online enquête (opgesteld in Google forms); in totaal werden een 120-tal personen aangeschreven, met het zwaartepunt in Europa. Bedoeling van deze enquête was om een eerste zicht te krijgen op de gebruikte N en P adviessystemen in het buitenland, en om al zoveel mogelijk achtergronddocumenten en richtwaarden voor parameters op te vragen. De enquête werd bewust zeer kort gehouden (in te vullen in ongeveer 10 minuten, afhankelijk van het al dan niet opladen, en hoeveel, van documenten). Ondanks de beperkte tijdsinvestering die gevraagd werd was de respons op de enquête erg beperkt (12%) ondanks herhaalde vraag om deze in te vullen. Dit is uiteraard te verklaren door de hoge werkdruk bij velen en de zeer beperkte tijd om aan dergelijke niet vergoede activiteiten te besteden.

Daarom werden ook buitenlandse contacten nog eens extra rechtstreeks gevraagd om heel gericht bepaalde informatie aan te leveren, waarbij we ons beperkt hebben tot die landen en/of regio's die het meest relevant zijn voor de Vlaamse situatie. Buitenlandse instanties/onderzoekers waren dan wel bereid om informatie aan te leveren, maar met minimale tijdsinvestering. Het consortium heeft de praktische moeilijkheden met het verkrijgen van informatie uit het buitenland enigszins onderschat. We hebben bv. heel wat achtergrondinformatie gekregen in de vorm van complete bemestingsgidsen en achtergronddocumenten, maar vaak zeer lijvig, en vaak ook niet in het Engels (informatie werd toegestuurd in Duits, Frans, Bulgaars, ...); het gaat immers niet om echt wetenschappelijk onderzoek maar om zeer toegepaste zaken die vaak enkel in de landstaal worden geproduceerd, wat bij ons in België uiteraard niet anders is. De buitenlandse instellingen leveren dit graag aan, maar kunnen uiteraard niet de investering doen om dit voor ons te vertalen indien de taal niet het Engels is. De aangeschreven contacten verwezen vaak ook door naar andere contacten, wat uiteraard leidde tot een complex netwerk van mogelijke contacten. Gezien de beperkte tijd voorzien voor dit deel van de opdracht ondertussen reeds ver overschreden was werden deze contacten dan ook "on hold" gezet, teneinde niet in te breken in de tijd gereserveerd voor andere (meer cruciale) taken binnen dit project. Deze contacten werden echter nog verder aangeschreven in de verdere loop van het project, wat uiteindelijk resulteerde in goed bruikbare informatie omtrent de systemen in Denemarken en Nederland (zie 2.7.). Voor Frankrijk resulteerde verdere contactname weliswaar in bijkomende informatie omtrent parameterwaarden, maar geen concrete adviezen. De onderzoeksgroep van de coördinator had uit talrijke vroegere contacten ook al een goed idee van bestaande adviessystemen in het buitenland, die in essentie steeds terug te voeren zijn tot de categorieën opgelijst in Bijlage 1, en vaak terug te voeren tot (variaties op) N balanssystemen.

Bij nader inzien bleken de niet-Europese contacten minder interessant omwille van de totaal andere context (andere bodems, andere schaal van aan landbouw doen, ...). Bovendien moesten we omwille van de zeer beperkte voorziene tijd zeer selectief zijn in wie al dan niet aan te schrijven buiten Europa, en kon het consortium hier niet veel energie insteken. De piste om niet-Europese systemen te betrekken werd dan ook afgesloten.

De conclusie hieruit is dat al deze adviessytemen op zeer gelijkaardige manier werken, en zoals gezegd steeds varianten zijn op de berekening van de N balans. Dit vereenvoudigt de verdere analyse, en heeft ook repercussies op de vergelijking van effectieve adviezen in de praktijktoets. Daar werden immers ook door het consortium adviezen berekend op basis van de N balansmethode, en deze door het consortium berekende

adviezen zijn dan ook vaak direct vergelijkbaar met de adviezen uitgebracht door de verschillende instanties (met uitzondering van de N-index methode).

1.3 SELECTIE SIMULATIEMODELLEN VOOR GESCHIKTHEID ALS N BEMESTINGSADVIESTOOL

Mechanistisch goed onderbouwde computersimulatiemodellen brengen alle relevante processen in rekening die van invloed zijn op de N dynamiek en N beschikbaarheid. Wanneer correct en met deskundigheid gebruikt genereren zij in principe het best mogelijke bemestingsadvies. In het verleden zijn dergelijke sterk mechanistische modellen ook effectief gebruikt voor het geven van bemestingsadviezen, met succes (bv. Sundial (Rothamsted) in Engeland, WELL_N en EU-Rotate_N (HRI Wellesbourne) in Engeland, STICS (INRAe) in Frankrijk).

Binnen dit project was het de bedoeling om ook minstens één computersimulatiemodel mee op te nemen in de vergelijking van de bemestingsadviesystemen. We hebben geopteerd voor een inhoudelijke vergelijking van twee modellen, met name EU-Rotate_N en het Azofert model. Met het EU-Rotate_N model heeft het consortium zeer uitgebreide ervaring, o.a. binnen eerder uitgevoerde VLM en VMM projecten, en het model is uitgebreid gekalibreerd en gevalideerd voor tal van situaties in Vlaanderen. Het Azofert model heeft expliciet tot doel om aanbevelingen te berekenen voor N bemesting (via de in Frankrijk ontwikkelde N balansmethode), door gebruik te maken van een dynamische balansmethode voor een breed scala van gewassen, bodems, organische en minerale meststoffen en pedoklimatologische omstandigheden. Het verschil tussen AzoFert en de klassieke (ook in Frankrijk ontwikkelde) N balansmethode ligt vooral in het feit dat berekeningen dynamisch zijn, m.a.w. het tijdsaspect meenemen, en dus behoren tot de categorie van de dynamische simulatiemodellen. Het model is vrij eenvoudig, in de zin dat het enkel een seizoen kan simuleren in één run, en niet een opeenvolging van gewassen of rotaties over jaren/decennia. We hebben het Azofert model dan ook mee in overweging genomen omwille van de expliciete nadruk op berekenen van N dosissen, wat bij het EU-Rotate_N model ook wel gebeurt, maar niet de enige (en ook niet belangrijkste) finaliteit is. We hebben dit model geanalyseerd naar opbouw, parameters en formules, en hier een beschrijving van gemaakt (Bijlage 4).

Een volledige vergelijking van simulatieresultaten tussen beide modellen viel evenwel buiten het (tijds)bestek van deze opdracht. Omwille van onze bekendheid met EU-Rotate_N hebben we geopteerd om met dit model te werken voor het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse. Het Azofert model lijkt evenwel een interessante piste te zijn om in de toekomst verder te onderzoeken, en het model werd dan ook opgenomen in de matrix waarin de verschillende bemestingsadviesystemen vergeleken worden. Het gebruik van computersimulatiemodellen en beslissingsondersteunende systemen, met voorbeelden, wordt in meer detail besproken in de literatuurstudie.

1.4 ENQUÊTE BIJ LANDBOUWERS EN LANDBOUWVOORLICHTERS OMTRENT BEMESTINGSADVIESSYSTEMEN (LUIK 3)

Er werd een enquête afgenomen bij landbouwers en landbouwvoorlichters om te peilen naar de huidige houding van landbouwer(voorlichter)s tegenover bemestingsadviesystemen. De enquête moest zoveel mogelijk werken met gesloten vragen teneinde tijdsbesteding door de bevrageden tot het minimum te beperken. Bedoeling was

ook om op bepaalde plaatsen de mogelijkheid te bieden om verdere commentaren in te vullen, om extra gemotiveerde landbouwers toe te laten meer gedetailleerde informatie aan te leveren.

1.4.1 Contacten

De contacten voor de enquête werden gelegd via PCA door aanschrijving van hun meer dan 1200 leden, en via de landbouworganisaties (Boerenbond en ABS) door een oproep tot deelname aan de enquête in hun respectieve ledenbladen.

1.4.2 Inhoud enquête

Een eerste voorstel van enquête werd opgesteld door de projectcoördinator UGent, en vervolgens besproken binnen het consortium. De enquête werd dan door verschillende medewerkers van PCA grondig bekeken en becommentarieerd, en aangepast volgens deze commentaren. Deze versie werd dan doorgestuurd om door VLM medewerkers te worden ingevuld, die ook commentaren leverden. Tenslotte werd de enquête doorgestuurd naar alle stuurgroepleden, die ook input konden geven. Op basis van al deze input werd de enquête gefinaliseerd en geïmplementeerd, en beschikbaar gesteld als webformulier.

1.4.3 Uitsturen en opvolgen enquête

De goedgekeurde enquête werd opgesteld in survey monkey en was online beschikbaar vanaf 25 oktober (PCA - facebook). Op 26 oktober schreef PCA zijn meer dan 1200 leden aan, via een interne mailing, om deze enquête zorgvuldig door te nemen en in te vullen. Eén week later publiceerden Boerenbond en ABS dezelfde oproep in hun ledenbladen. Op 3 november, was de enquête reeds door 139 respondenten ingevuld. Vervolgens stuurde PCA op 8 november een herinnering aan al zijn leden die de enquête nog niet ingevuld hadden om dit toch nog te doen. Dit leidde tot een totaal van 227 respondenten, waarvan 85.9 % landbouwers, bij beëindiging van de enquête op vrijdag 19 november.

1.4.4 Resultaten enquête

De respons op de enquête was een stuk hoger dan oorspronkelijk door het consortium ingeschat, met in totaal 227 respondenten, waarvan 195 landbouwers, 23 landbouwvoorlichters en 9 "andere" (met name Agronomist McCain, landbouwer-leerkracht, Adviseur, Sierteler, Toeleverancier, rozenkweker, Tuinder, tuinbouw openlucht, sierteelt), ondanks de relatief korte periode voor het invullen van de enquête in combinatie met een drukke periode op het veld voor de landbouwers. Dit toont duidelijk aan dat het thema heel erg speelt binnen de sector.

De enquêtevragen en de resultaten zijn weergegeven in Bijlage 5. Een aantal krachtlijnen die uit de enquête naar voren komen zijn:

- 91% van de respondenten maakt (soms) gebruik van bemestingsadviezen; de meerderheid van de landbouwers vraagt weldegelijk een advies aan om redenen andere dan een pure verplichting; redenen om geen bemestingsadvies aan te vragen zijn vooral:



- ✓ "Ik ken de bemestingsbehoefte van mijn percelen en teelten voldoende, waardoor ik geen meerwaarde zie in een bemestingsadvies"
 - ✓ "Ik vind dat er teveel tijd zit tussen het tijdstip van aanvragen van het bemestingsadvies en het ontvangen van het bemestingsadvies, waardoor het tijdig uitvoeren van mijn bemesting in het gedrang komt"
 - ✓ de normen zijn zo laag dat het advies toch niet kan gevolgd worden
 - ✓ voor veel kleine percelen is dit economisch niet haalbaar
- landbouwers blijken in het algemeen tevreden over de aard en de hoeveelheid van gegevens die worden opgevraagd in een aanvraagformulier voor bemestingsadvies (in contrast met de onvolledige manier waarop deze formulieren worden ingevuld!)
 - de tijd tussen de aanvraag van een advies en de eigenlijke ontvangst van het advies wordt als (veel) te lang ervaren (gemiddeld rond de 14 dagen) waardoor het advies uiteindelijk niet kan gevolgd worden (bemesting is vaak al geschied)
 - adviezen bevatten informatie omtrent de toe te passen dosis, maar weinig of geen informatie omtrent timing, plaatsing en soort
 - het is onduidelijk hoe het advies uiteindelijk tot stand komt
 - landbouwers blijken over het algemeen vrij tevreden over de opbrengst en kwaliteit bij het opvolgen van het advies. Bij tegenvallende resultaten wordt dit aan de weersomstandigheden geweten die uiteraard niet in een advies zijn ingecalculleerd
 - de tevredenheid over het nitraatresidu bij opvolgen van het advies is een stuk lager
 - blijkbaar vergroten de adviezen het inzicht bij de landbouwer in de N balans in zijn bodem (ondanks de vaak beperkte aangeleverde informatie)
 - een groot knelpunt zit bij landbouwers die zeggen correct te bemesten maar toch met het nitraatresidu in de problemen komen, volgens hen vooral door weersomstandigheden. Moeten $\text{NO}_3\text{-N}$ residumetingen niet aangevuld worden met balansberekeningen op perceelsniveau?
 - bemestingsadviezen worden vrij vaak niet opgevolgd (kan in beide richtingen gaan van zowel hoger als lager dan advies) vooral omwille van:
 - ✓ tijd tussen bemestingsadvies aanvraag en het eigenlijke advies is te lang
 - ✓ advies is hoger dan de norm



- ✓ weersomstandigheden nopen tot een aanpassing
- ✓ stand van het gewas noopt tot een aanpassing

Een zeer interessante suggestie in de enquête was het gebruik van referentiepercelen in proefcentra of in andere min of meer gecontroleerde settings waar bemest wordt volgens het best mogelijke advies. Op die percelen kunnen dan opbrengsten en milieuperformantie gemonitord worden, en landbouwers kunnen beoordeeld worden op hun resultaten in vergelijking met deze gecontroleerde percelen. Op die manier kunnen factoren die echt onbeheersbaar blijken uit de beoordeling van bv. het nitraatresidu gefilterd worden. Dergelijke manier van werken wordt in Wallonië toegepast. Er dient opgemerkt dat dit in het verleden ook al geprobeerd is in Vlaanderen, maar toen niet het verwachte resultaat heeft opgeleverd (vaak hogere nitraatresiduen op de referentiepercelen dan op praktijkpercelen). Het is duidelijk dat het succes van dergelijke referentiepercelen staat of valt met optimale formulering én opvolging van bemestingsadviezen, en nauwkeurig bijhouden van alle beheerspraktijken.

De resultaten van de enquête werden verder ook besproken op de eerste Focusgroep van het project, en dienden daar o.a. als uitgangspunt van de discussies.

Tenslotte dient opgemerkt dat deze enquête mogelijks geen volledig representatieve doorsnede is van de Vlaamse landbouwers, gezien het invullen van deze enquête op zich al een zekere motivatie doet vermoeden. Mogelijks moeten de vragen, vooral dan deze die te maken hebben met motivatie, met de nodige omzichtigheid bekeken worden en geven deze misschien een te optimistisch beeld.

1.5 MATRICES VOOR VERGELIJING N EN P BEMESTINGSADVIESSYSTEMEN

Voor het systematisch vergelijken van de verschillende adviessystemen (gelijkenissen en verschillen) werden matrices opgesteld die alle belangrijke punten omvatten die binnen een N en P bemestingsadvies kunnen voorkomen, of idealiter zouden moeten voorkomen (Bijlage 6). Bedoeling was om elk adviessysteem dat binnen dit project werd weerhouden voor een grondige kwalitatieve en kwantitatieve vergelijking en voor het uitvoeren van de praktijktoets, in deze matrix op te nemen en te analyseren (aan- of afwezigheid belangrijke punten; indien aanwezig: mogelijke specificiteiten) - één rij per adviessysteem, en zowel voor N als voor P. Op die manier zou zowel voor N als voor P een matrix worden gecreëerd waaruit de verschillen en gelijkenissen tussen systemen onmiddellijk kunnen duidelijk gemaakt worden.

Zoals eerder aangegeven was de respons van de adviesinstanties op de vraag naar gedetailleerde informatie omtrent hun respektievelijke adviessystemen echter heel beperkt tot onbestaande. In het beste geval werd doorverwezen naar de voor de VLM uitgevoerde studie omtrent bemestingsadviessystemen in de tuinbouw (Coopman et al. 2014). Deze studie bevat een algemene beschrijving van de adviessystemen, maar niet in voldoende detail om een gedetailleerde analyse te maken van i) welke processen opgenomen zijn in deze systemen en ii) op welke manier dit gebeurt. De matrices werden daarom noodzakelijkerwijze beperkt tot de systemen waar we zelf een goed inzicht in hebben.

Naast het aanduiden van al dan niet opnemen van N processen en parameters, en desgevallend aangeven van hoe dit gebeurt, werden ook gewichten toegekend aan de verschillende N processen en parameters op een schaal van 0-1. Binnen eenzelfde N proces of parameter werd ook via een gewicht tussen 0 en 1 aangegeven

hoe goed dat specifieke N proces of die specifieke N parameter in het systeem is ingebouwd. Het consortium heeft dit naar best vermogen gedaan, maar het is zonder meer duidelijk dat deze gewichten een grote mate van subjectiviteit in zich dragen (daar deze bv. meestal niet gestaafd kunnen worden via wetenschappelijke literatuur) en dat het interpreteren van deze gewichten zeer omzichtig moet gebeuren. Wel kunnen deze matrices en in het bijzonder de gewichten beschouwd worden als een eerste stap richting gevoeligheidsanalyse, gezien we ons hiervoor concentreren op die processen met de grootste impact op bemestingsadviezen.

Voor het opstellen van de matrix voor N hebben we ons in eerste instantie gebaseerd op belangrijke processen die in computersimulatiemodellen worden beschouwd, omdat dit in principe ook een soort balanssystemen zijn (maar dan wel dynamisch) maar dan in de meest gedetailleerde vorm, met inachtnaam van alle bodemprocessen. In deze tabellen vertrokken we in eerste instantie van volgende punten:

➤ Voor N:

‘Procesgerelateerde’ aspecten:

- Atmosferische N depositie (verschillen in N depositie in Vlaanderen kunnen gemakkelijk oplopen tot meer dan 10% van de geadviseerde dosis)
- Initieel mineraal N gehalte bodem + tot welke diepte gemeten
- N mineralisatie uit bodem organische stof
- Effect van historisch beheer wordt in rekening gebracht (historisch zwaar organisch bemest, ...)
- N mineralisatie uit organische meststoffen
- N mineralisatie uit vanggewassen
- N mineralisatie uit oogstresten
- Meerjarig effect van zeer stabiele organische bemesting (compost, stalmest, ...)
- Meerjarig effect van scheuren van grasland
- Type meststof wordt aangepast aan de bodemtoestand (bv. uitspoelingsrisico, alkalische bodems) en aan het tijdstip van toedienen (bv. ontwikkeling van het gewas)
- Fractionering van N bemesting
- Gewasontwikkeling wordt in rekening gebracht bij formulering advies bijbemesting

‘Rapporteringsaspecten’:

- enkel N dosis wordt gerapporteerd
- de verschillende componenten die berekend werden worden effectief gerapporteerd
- milieukundige beschouwingen worden gerapporteerd
- waarschuwingen worden vermeld: uitspoeling van N bij zware neerslag begin groeiseizoen; bij droogte en tegenvallende opbrengsten zal N residue groter zijn en najaarsmineralisatie ook.

➤ voor P:

- P beschikbaarheid in bouwvoor
- P beschikbaarheid in ondergrond (30-60 cm)
- P opname gewas
- Efficiëntie P opname gewas (lengte groeiseizoen, beworteling)
- P balans wordt berekend

Deze lijsten werden verder vervolledigd met nog een aantal bijkomende aspecten en vervolgens geïmplementeerd als matrices in Excel (één voor N en één voor P). Binnen deze matrices werden voor de volledigheid ook een aantal aspecten opgenomen die niet direct te kwantificeren zijn, en die trouwens in nagenoeg alle adviessystemen ontbreken. Het gaat met name om:

- Bijkomend tussentijds mineraal N gehalte bodem + tot welke diepte gemeten
- Verwachte opbrengst wordt opgevraagd bij landbouwer
- Historisch opbrengspotentieel wordt in rekening gebracht
- Fysische eigenschappen bodem (textuur, compactie, O₂ leverend vermogen) worden in rekening gebracht
- Bodemleven (microbiële biomassa, bodemfauna) wordt in rekening gebracht

Fysische eigenschappen (bv. O₂ leverend vermogen) en bodemleven zijn opgenomen in deze matrix omdat ze een belangrijk onderdeel vormen van heel specifieke adviessystemen (Koch Eurolab), en meegenomen worden voor het voorspellen van mineralisatie. Met de huidige stand van wetenschappelijke kennis is het echter niet mogelijk om kwantitatieve verbanden te leggen tussen deze parameters en mineralisatie. In de toekomst zal dit misschien wel mogelijk worden, en daarom laten we deze elementen voorlopig in de matrix staan. Dit zijn meteen ook belangrijke aspecten van bodemkwaliteit, maar waar dus (voorlopig) geen kwantitatieve besluiten uit kunnen getrokken worden.

Wat de 'rapporteringsaspecten' betreft kwam tijdens de discussies in de focusgroepen en de stuurgroepvergaderingen naar voren dat deze bijkomende aspecten eigenlijk geen inherent deel zouden moeten uitmaken van het advies, maar beter als bijkomende service naar de landbouwer worden aangeboden, omdat het advies anders te complex wordt.

1.6 GEVOELIGHEIDSANALYSE

We voerden een gevoeligheidsanalyse uit op de parameters die een mogelijks (of verwacht) (groot) effect hebben op de stikstofbehoefte van en de stikstofbeschikbaarheid voor het gewas, en dus op het geformuleerde bemestingsadvies. Binnen zo een gevoeligheidsanalyse laten we parameters variëren binnen een vooropgesteld (realistisch) bereik en bekijken we wat de invloed is van deze variatie op de output waarin we geïnteresseerd zijn, in casu de geadviseerde bemestingsdosis. Deze gevoeligheidsanalyse moest toelaten om parameters te ordenen volgens hun impact op het bemestingsadvies, en dus een basis vormen voor een aantal aspecten van het tweede luik van het project (bv. welke parameters prioritair te bevragen in het inlichtingenformulier voor het opstellen van bemestingsadviezen).

Een echte gevoeligheidsanalyse, waarin alle belangrijke aspecten van adviezen in rekening worden gebracht, is slechts mogelijk ofwel indien een groot aantal situaties kunnen vergeleken worden, wat bij de praktijktoets niet het geval was, ofwel aan de hand van computersimulaties. Dergelijke gevoeligheidsanalyse kan evenmin door opvragen van praktijkadviezen uit het verleden bij landbouwers, gezien deze per definitie maar één advies (d.w.z. bij één adviesverlenende instantie) zullen opvragen.

We voeren hier toch een gevoeligheidsanalyse uit op twee verschillende manieren:

- een eerder kwalitatieve (of semi-kwantitatieve) analyse op basis van de gedetailleerde analyse van goed gekende bemestingsadviessystemen
- een kwantitatieve analyse op basis van modelsimulaties met het EU-Rotate_N model (enkel simulatie van de N dynamiek, P wordt als niet beperkend verondersteld)

De gevoeligheidsanalyse is enkel zinvol voor N, gezien voor P te weinig verschillende processen vervat zitten in P adviessystemen, en dit dus een triviale oefening zou zijn. Voor wat betreft gevoeligheid van P bemestingsadviessystemen beperken we ons dan ook tot een paar kwalitatieve aspecten.

De gevoeligheidsanalyse vormt mee de basis voor de prioritering van parameters die op te vragen zijn in een inlichtingformulier van bemestingsadvies in Luik 2.

De gevoeligheidsanalyses op basis van kwalitatieve (of semi-kwantitatieve) gegevens en op basis van modelsimulaties werden onafhankelijk van elkaar doorgevoerd omwille van tijdsbeperkingen (heel wat acties moesten gelijktijdig lopen). De eerder kwalitatieve gevoeligheidsanalyse is onvermijdelijk voor een stuk subjectief want op heel wat plaatsen gebaseerd op expertenkennis. Om consistentie met ons vroeger onderzoek te behouden is deze analyse ook sterk geënt op de cijfers die in de Demeter tool zijn ingebouwd. Aan het samenbrengen van parameterwaarden binnen de Demeter tool is destijds immers zeer veel tijd besteed, en dit is gebeurd op basis van een grondige doorlichting van de literatuur. De gevoeligheidsanalyse op basis van modelsimulaties heeft echter ook beperkingen omdat omwille van tijdsbeperkingen slechts welbepaalde parameters konden meegenomen worden in de analyse. Bovendien is het voor heel wat parameters zo dat in de simulaties een wijziging in die parameters zich logischerwijze direct vertaalt in een evenredige wijziging van de N bemesting (cfr. 6. Resultaten voor variabele opbrengst/groei van bloemkool). Anderzijds kan via de simulaties de gevoeligheid van parameters worden nagegaan waar expertkennis tekort schiet (bv. invloed van bodem pH, van zaaidatum groenbemester, van inwerkdatum groenbemester).

1.6.1 Op basis van de kwalitatieve (of semi-kwantitatieve) gegevens: N bemesting

De bedoeling was om de gevoeligheid van de verschillende bemestingsadviessystemen te toetsen in een kwalitatieve analyse, mede op basis van de matrices opgesteld voor N en P adviezen. Voor P adviezen zou dit echter op een triviale analyse uitdraaien, en daarom concentreren we ons op het N bemestingsadvies. Een echte, zij het kwalitatieve, gevoeligheidsanalyse van de verschillende bemestingsadviessystemen blijkt evenwel niet mogelijk, omdat te weinig informatie omtrent de opbouw van deze systemen beschikbaar was, en al helemaal geen cijfers voor de parameters die de basis voor het advies vormen. Vandaar ook dat in de benchmarking van



de adviessystemen geen duidelijke redenen voor mogelijke verschillen in N en P adviezen konden gegeven worden.

We presenteren hier wel een gevoeligheidsanalyse, maar eerder als een theoretische oefening dan in een vergelijking van concrete adviessystemen.

De gevoeligheidsanalyse voor N bemestingsadviessystemen is in essentie gebaseerd op twee grootheden:

- de grootte van de specifieke (balans)component (in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$)
- de variabiliteit van de balanscomponent (uitgedrukt als variatiecoëfficiënt, VC, in %: $VC = \text{standaardafwijking/gemiddelde} * 100$)

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen een aantal teeltgroepen, omdat bepaalde parameters cruciaal kunnen zijn voor de ene teelt, terwijl die voor een andere teelt weinig effect zullen hebben.

Hieronder worden de parameters opgelijst die de grootste invloed hebben op de formulering van het N advies (uitgaande van expertkennis), op basis van deze twee grootheden. Waar nodig wordt aangeduid voor welke teelten bepaalde parameters al dan niet belangrijk zijn. Gelet op de tijdsbeperking en een gebrek aan gegevens voor een aantal parameters moet benadrukt worden dat deze oefening enkel een ruwe aanduiding is van de meest gevoelige parameters, en dat ze vooral bedoeld is om de grootte-orde van verwachte onzekerheden voor de belangrijkste parameters onderling te vergelijken.

1.6.1.1 N mineralisatie uit bodem organische stof

De N mineralisatie uit bodem organische stof ligt in de grootte-orde van typisch $50-150 \text{ kg N ha}^{-1}$ per groeiseizoen (De Neve, 2017), maar is bijzonder variabel en moeilijk voorspelbaar. De voorspelbaarheid is niet alleen problematisch onder "standaard"omstandigheden (d.w.z. onder optimale omstandigheden van vochtgehalte, temperatuur, bodemstructuurtoestand), maar wordt dan ook nog eens bemoeilijkt bij bv. extreme weersomstandigheden. Gezien dit niet in een bemestingsadvies kan ingecalculereerd worden wordt met weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen geen rekening gehouden.

Zoals ook verder toegelicht in Luik 2 (parameterwaarden) is het niet echt zinvol om N mineralisatiecijfers in de internationale literatuur te vergelijken met cijfers in Vlaanderen. Het bodemtype en het klimaat zijn immers bepalend voor de N mineralisatie, en dus kunnen in het beste geval cijfers uit de omliggende regio's worden gebruikt. Daarnaast wordt de N mineralisatie ook bepaald door het beheer in het eerder recente verleden (grootte-orde voorbij 10 jaren). De N mineralisatie is gewoonlijk hoger in rotaties met groenten omdat daar in het verleden vaak (zeer) veel organisch materiaal aan de bodem is toegediend en er dus een groot mineralisatiepotentieel is. Samenhangend hiermee is de N mineralisatie moeilijker voorspelbaar en variabelere dan in typische akkerbouwrotaties met beperkte aanvoer van organisch materiaal. Dit wordt tot uiting gebracht via een verschil in de variatiecoëfficiënt (hoger voor groenterotaties):

- Akkerbouwrotaties met weinig aanvoer van organisch materiaal: N mineralisatie $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$, VC = 30%, st.afw. $21 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$

- Groenterotaties met veel aanvoer van organisch materiaal: N mineralisatie 150 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹, VC = 50%, st.afw. 75 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹

1.6.1.2 N opname

Dit is normaal gezien de grootste balanscomponent in een N balans (zie ook parameterwaarden in Luik 2). Voor een bepaald gewas zijn de doelcijfers voor N opname zeer sterk verschillend, zeker als cijfers uit verschillende regio's en landen (zelfs met vergelijkbaar klimaat) worden vergeleken. Nochtans is deze grote variabiliteit in werkelijkheid voor een groot deel onder controle, op voorwaarde dat alle elementen die van invloed zijn in een bemestingsadvies in rekening worden gebracht, met name de bestemming van de productie, de variëteit, de geplande plant- of zaai- en oogstdatum, het opbrengstpotentieel van het perceel. Deze bronnen van variabiliteit zijn niet geïsoleerd/onder controle gebracht in de variatie in N opnamecijfers in Luik 2 (bv. in de overzichtsfiguur Figuur 20), en vandaar worden hier ook lagere VC gebruikt. Gezien groenten vaak gevoeliger zijn aan niet-optimale groeiomstandigheden wordt voor groenten een wat hogere variatiecoëfficiënt aangenomen. Hierbij wordt abstractie gemaakt van uitzonderlijke omstandigheden zoals extreme droogte, zeer grote ziekte- of plaagdruk, waardoor de opbrengst mogelijks veel kleiner kan worden of het gewas zelfs helemaal verloren kan gaan.

- Akkerbouw: N opname typisch 240 kg N ha⁻¹, VC = 10%, st.afw. 24 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹
- Intensieve groenteteelt: N opname typisch 260 kg N ha⁻¹, VC = 15%, st.afw. 36 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹

1.6.1.3 Nmin voorraad

We gaan ervan uit dat de meting hiervan gebeurt volgens goede praktijken, inclusief geen metingen in de eerste 3-4 weken na het toedienen van een bemesting of het inwerken van grote hoeveelheden organisch materiaal.

Hiervoor hebben we de vergelijking binnen de benchmarking van Nmin metingen op eenzelfde perceel door een aantal verschillende labo's als uitgangsbasis. Het gaat hierbij ook enkel over de variabiliteit van de meting vanaf de monstername, dus exclusief de monstername zelf. Deze monsternamevariabiliteit moet hier dan nog bijgeteld worden. Als eerste benadering nemen we aan dat de variabiliteit te wijten aan monstername dubbel zo groot is als die te wijten aan de vervolgstappen tot en met analyse, en dit dus aanleiding geeft tot een verdrievoudiging van de VC. Anderzijds zou ook de variabiliteit van de nitraatresiduen in het najaar (zoals bepaald in Hofman & Van Den Broeck, 2013) kunnen gebruikt worden als bijkomende informatiebron voor onzekerheid, maar dit wordt niet gedaan omwille van 2 redenen:

- de variabiliteit in het najaar werd bepaald op monsters waar een tijdsverschuiving was in de monstername, waardoor er invloed is van allerlei processen die weinig met intrinsieke variabiliteit van monstername en meting te maken hebben
- in die studie werd de correlatie tussen de nitraatconcentratie en het aantal dagen verlopen na 1 oktober getest op statistische significantie, en enkel die correlaties met een significantie groter dan 80% werden weerhouden voor verdere verwerking. Dit is echter niet zinvol vanuit conceptueel standpunt, aangezien de processen die de nitraatconcentraties tussen 1 oktober en 15 november beïnvloeden in allerlei

richtingen kunnen werken, en in de loop van die weken in belang kunnen af- en toenemen, waardoor de verwachting van een significant (en dan nog lineair) verband met de tijd geen goede inhoudelijke basis lijkt te hebben.

De VC en dus ook de veronderstelde VC met onzekerheid door monsternamen (hier dus 3*VC) blijkt relatief beperkt te zijn (Tabel 1), van minimaal 10 tot maximaal 25%, ondanks het feit dat het gaat om monsters genomen bij relatief hoge N_{min} gehalten: hoe hoger het N_{min} gehalte, hoe hoger in principe ook de variabiliteit wordt, volgens de analyse van Hofman & Van Den Broeck (2013).

Tabel 1: Gemiddelden (n=6), standaardafwijkingen en variatiecoëfficiënten van de minerale N metingen van de percelen waarvoor een bemestingsadvies werd geformuleerd voor bijbemesting in opdracht van PCA

	Prei	Knolselder	Bloemkool	Bloemkool	Rode kool	Witte kool
Gem. (kg N ha ⁻¹)	167	120	78	143	136	161
St.afw. (kg N ha ⁻¹)	12	7	6	5	7	9
VC (%)	7	6	8	3	5	6
3*VC (%)	21	17	25	10	15	18

De absolute waarden van de N_{min} voorraden zullen hoger zijn (en dus grotere variabiliteit vertonen) in volgende situaties:

- bij metingen in het voorjaar na een droge winter (relatief weinig uitspoeling)
- bij metingen na inwerken van organisch materiaal (oogstresten, vanggewassen, groenbemesters, dierlijke mest, ...) enkele weken voor de monsternamen. De mineralisatie kan immers sneller of trager op gang komen, afhankelijk van bv. de weersomstandigheden na inwerken, en dus in hoge variabiliteit resulteren
- bij metingen enkele weken na een basisbemesting met minerale N meststoffen. Het wordt afgeraden om het bodem minerale N gehalte te bepalen binnen de 3-4 weken na het toedienen van minerale N meststoffen. Deze kunnen mogelijks nog niet of slechts zeer gedeeltelijk opgelost zijn, en nog zeer variabel verdeeld in de bodem, of tijdelijk geïmmobiliseerd zijn in microbiële biomassa
- bij meting van het N_{min} gehalte later in het voorjaar of in de zomer, wat meestal het geval is bij metingen in het kader van bijbemesting of voor tweede of derde teelten (in het geval van groenten met een kort groeiseizoen)



1.6.1.4 N mineralisatie uit gewasresten

De N inhoud van en de N vrijstelling (door mineralisatie) uit gewasresten van vanggewassen, groenbemesters, tijdelijk grasland, oogstresten is sterk variabel, en een overzicht wordt gegeven in Luik 2 (parameterwaarden). Verder verwijzen we ook nog naar eerdere studies uitgevoerd in opdracht van de VLM (De Waele et al. 2014; Agneessens et al. 2014). Door de grote verschillen in mogelijke N inhouden (bv. bij vanggewassen variërend van bijna nul tot > 150 kg N ha⁻¹ in functie van type vanggewas, inzaaidatum, weersomstandigheden bij zaai en groei, minerale N inhoud bodem op ogenblik van inzaaien, ...) en de vele factoren die de N vrijstelling beïnvloeden (tijdstip van inwerken, weersomstandigheden tussen moment van inwerken en de zaai van het volggewas, ...) kunnen we hier enkel een benadering geven van mogelijke variatie voor beschikbaarheid van N uit deze types organisch materiaal, gebaseerd op de parameterwaarden in Luik 2. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen gewasresten van gewassen die in het najaar of de winter worden geoogst, en gewasresten die ingewerkt worden kort voor een volggewas (bv. bij meervoudige groenten binnen eenzelfde jaar).

i) Gewasresten uit vorige teeltseizoenen en uit vanggewassen/groenbemesters

Het gaat telkens over cijfers die de verwachte N nalevering geven volgend op een N_{min} meting op het einde van de winter.

Uit de parameterwaarden in Luik 2 (Tabel 8) blijkt een zeer grote variatie op de N inhoud van gewasresten, vooral bepaald door de gewasontwikkeling die functie is van de combinatie zaaitijdstip x weersomstandigheden.

Vanggewassen/groenbemesters:

- inwerken najaar: N nalevering voor vervolgteelt 21 kg N ha⁻¹ (gemiddelde van de waarden in Tabel 10), VC = 35%, st.afw. 7 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹
- inwerken voorjaar: N nalevering voor vervolgteelt 34 kg N ha⁻¹ (gemiddelde van de waarden in Tabel 10), VC = 35%, st.afw. 12 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹

Oogstresten (uitgez. vanggewassen/groenbemesters):

- N nalevering voor vervolgteelt 15 kg N ha⁻¹ (gemiddelde van de waarden in Tabel 9), VC = 35%, st.afw. 5 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹

ii) Gewasresten binnen hetzelfde teeltseizoen (vooral groentegewassen)

Deze N vrijstelling uit gewasresten is per definitie niet opgenomen in een N_{min} meting voor de volgteelt, en moet dus volledig in rekening worden gebracht, onafgezien van het al dan niet uitvoeren van een N_{min} meting (tenzij er verschillende weken tussen opeenvolgende teelten zouden zitten).

De cijfers in de literatuur geven over het algemeen een veel te lage N nalevering uit deze oogstresten. Uit ervaring weten we dat typisch zowat 80% van de N in de oogstresten van die gewassen beschikbaar komt voor de vervolgteelt, wat voor een aantal groentegewassen snel kan oplopen tot 100-150 kg N ha⁻¹ per teelt. Het is



duidelijk dat in dergelijke gevallen de nog resterende N behoefte van een volggewas (bijna) volledig kan ingevuld worden door de N mineralisatie uit bodem organische stof. Er zit uiteraard een zeer sterke variatie op de N inhoud van de oogstresten in functie van de totale biomassa productie (functie van precieze teelttijdstip, klimatologische omstandigheden, variëteit, ...) Een belangrijk deel van deze variatie kan in principe in rekening gebracht worden op basis van de oogst (in te schatten door/te bevragen bij landbouwer)

- Bloemkool: N nalevering voor vervolgteelt 140 kg N ha^{-1} in oogstresten $\times 0.8 \text{ N vrijstelling} = 112 \text{ kg N ha}^{-1}$, VC = 25% (aannemende dat landbouwer goede inschatting maakt van biomassa), st.afw. 28 kg N ha^{-1} per teelt

1.6.1.5 N vrijstelling uit dierlijke mest

Bij N vrijstelling uit dierlijke mest moet vooral een onderscheid gemaakt worden tussen vloeibare mest/drijfmest en vaste mest/stalmest. Gelet op de grote variabiliteit in samenstelling is de N inhoud van de mest een grote factor van onzekerheid indien forfaitaire cijfers worden gebruikt in plaats van een effectieve analyse.

i) Vloeibare mest:

Over verschillende mestsoorten heen kan de minerale N inhoud op ongeveer 50% van de totale N inhoud ingeschat worden. De minerale N wordt verondersteld direct en volledig beschikbaar te zijn voor een gewas, en er is dus in principe geen onzekerheid m.b.t. de N vrijstelling.

De organische fractie van de mest zal voor een variabel gedeelte vrijkomen in de loop van het groeiseizoen; vaak kan hiervoor een vrijstelling van 30-40% van de N_{org} fractie genomen worden (ongeveer overeenkomend met de cijfers gegeven in Luik 2, Tabel 14), met een bepaalde onzekerheid

Indien we een maximale invulling van de N ruimte voor dierlijke mest veronderstellen wordt dit:

Minerale N = 85 kg N ha^{-1} , VC = 20%, st.afw. $17 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$

Organische N = 85 kg N ha^{-1} , VC = 20%, mineralisatie teeltseizoen 35%, VC = 20%; st.afw. $85 \times 0.35 \times (0.20 + 0.20) = 12 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$

ii) Vaste mest:

Over verschillende mestsoorten heen kan de minerale N inhoud op ongeveer 20% van de totale N inhoud ingeschat worden. De minerale N wordt verondersteld direct en volledig beschikbaar te zijn voor een gewas, en er is dus in principe geen onzekerheid m.b.t. de N vrijstelling.

De organische fractie van de mest zal voor een variabel gedeelte vrijkomen in de loop van het groeiseizoen; vaak kan hiervoor een vrijstelling van 20-30% van de N_{org} fractie genomen worden (stabiel materiaal dan vloeibare mest), met een bepaalde onzekerheid.

Indien we een maximale invulling van de N ruimte voor dierlijke mest veronderstellen wordt dit:

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

Minerale N = 34 kg N ha⁻¹, VC = 30%, st.afw. 10 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹

Organische N = 136 kg N ha⁻¹, VC = 20%, mineralisatie teeltseizoen 20%, VC = 35%; st.afw. 10 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹

iii) Andere organische meststoffen

Andere organische meststoffen zoals composten worden in veel mindere mate gebruikt dan dierlijke mest. Bovendien is de N vrijstelling uit composten meestal zeer beperkt in het eerste teeltseizoen, waardoor dit een zeer beperkte oorzaak van variatie in de N balans zal zijn. Deze andere organische meststoffen worden dan ook niet verder in beschouwing genomen.

Een overzicht van deze kwalitatieve gevoeligheidsanalyse wordt gegeven in Tabel 2. De grootste onzekerheden kunnen weggenomen worden via een nauwkeurige(r) inschatting van de N mineralisatie uit BOS, de N opname, en het gebruik van effectieve N inhoud van dierlijke mest in plaats van het gebruik van forfaitaire cijfers.

Tabel 2: Overzicht van de grootte-orde van de factoren van belang in een bemestingsadvies, de inschatting van de variatiecoëfficiënt (VC), en de resulterende standaardafwijking (st. afw.)

Factor in N balans	Grootte-orde kg N ha ⁻¹	VC %	St. afw. kg N ha ⁻¹
N mineralisatie uit BOS			
Akkerbouw	70	30	21
Groenterotaties	150	50	75
Nopname			
Akkerbouw	240	10	24
Groenterotaties	260	15	39
Nmin voorraad	-	18	-
Nmineralisatie gewasresten			
Groenbemesters inwerken najaar	21	35	7
Groenbemesters inwerken voorjaar	34	35	12
Andere oogstresten najaar	15	35	5
Oogstresten voor volgteelt zelfde jaar	112	25	28
Dierlijke mest			
Vloeibare mest	170		29
Stalmest	170		20

1.6.2 Gevoeligheidsanalyse op basis van modelsimulaties: N bemesting

1.6.2.1 Methodiek

Omwille van de vormgeving van het rapport geven we hier enkel de gevolgde werkwijze en de besluiten die uit de gevoeligheidsanalyse met het EU-Rotate_N model kunnen getrokken worden, terwijl de gedetailleerde resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven worden in Bijlage 7.

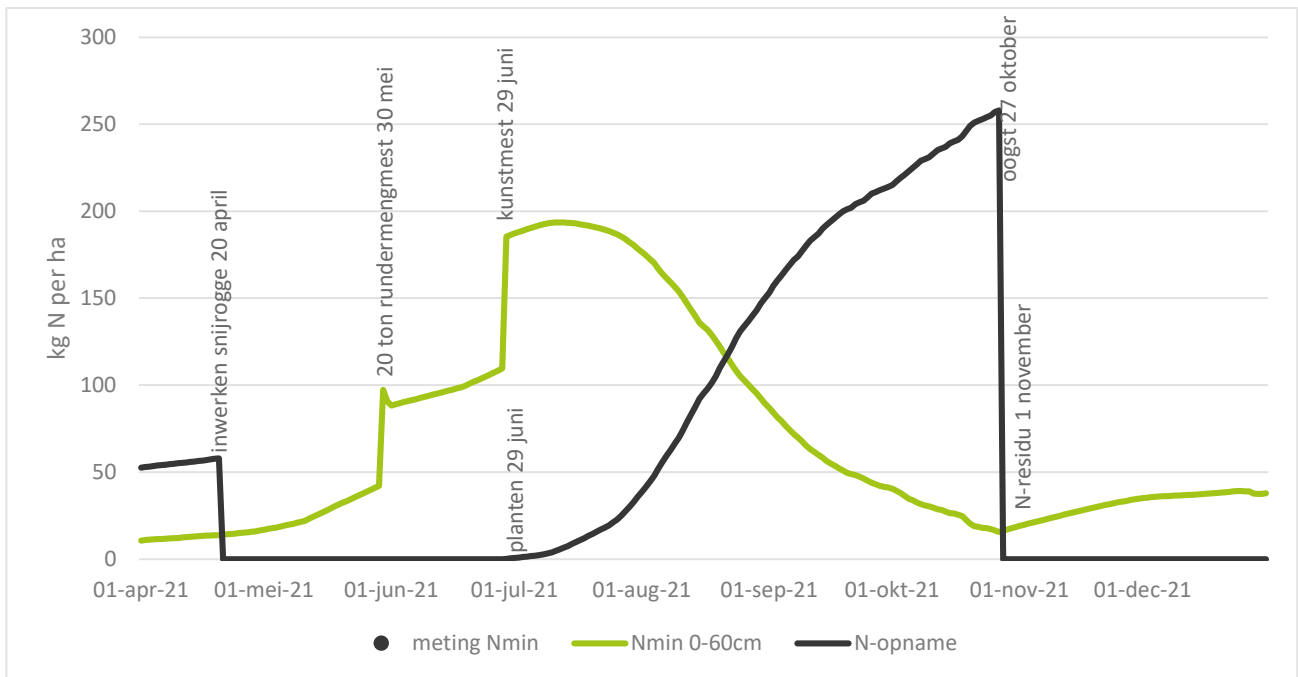
Er werd een scenario uitgewerkt waarvoor op basis van simulaties een bemestingsadvies wordt gesimuleerd. Er werd geopteerd voor een gewas waar vaak problemen zijn met nitraatresiduen in het najaar en dat een vrij hoge bemestingsdosis vraagt in een relatief korte periode, met name bloemkool. In tegenstelling tot de eerdere simulaties gaat het hier niet om het formuleren van een bijbemestingsadvies maar om het formuleren van het advies voor de minerale bemesting bij planten. Er wordt geen bijkomende bemesting later in het seizoen voorzien, met andere woorden het gaat enkel over de totale dosis bemesting en niet over de 3 andere J's (timing, plaats, type).

De gevoeligheidsanalyse laat in principe toe om de grootte van de impact van de verschillende parameters op de N bemesting te begroten, wat belangrijk is voor het tweede luik van het project, waar de verschillende parameters die kunnen worden opgevraagd worden opgelijst volgens hun belang voor het bemestingsadvies: de belangrijkste parameters moeten per definitie opgevraagd worden, terwijl parameters met een kleine invloed op het uitgebrachte advies eventueel (facultatief) kunnen worden opgevraagd. Omwille van tijdsbeperkingen kon deze gevoeligheidsanalyse slechts worden uitgevoerd met een beperkt aantal parameters, en was het ook niet mogelijk om variaties van parameters te combineren zoals bv. in een Monte Carlo simulatie zou kunnen gedaan worden.

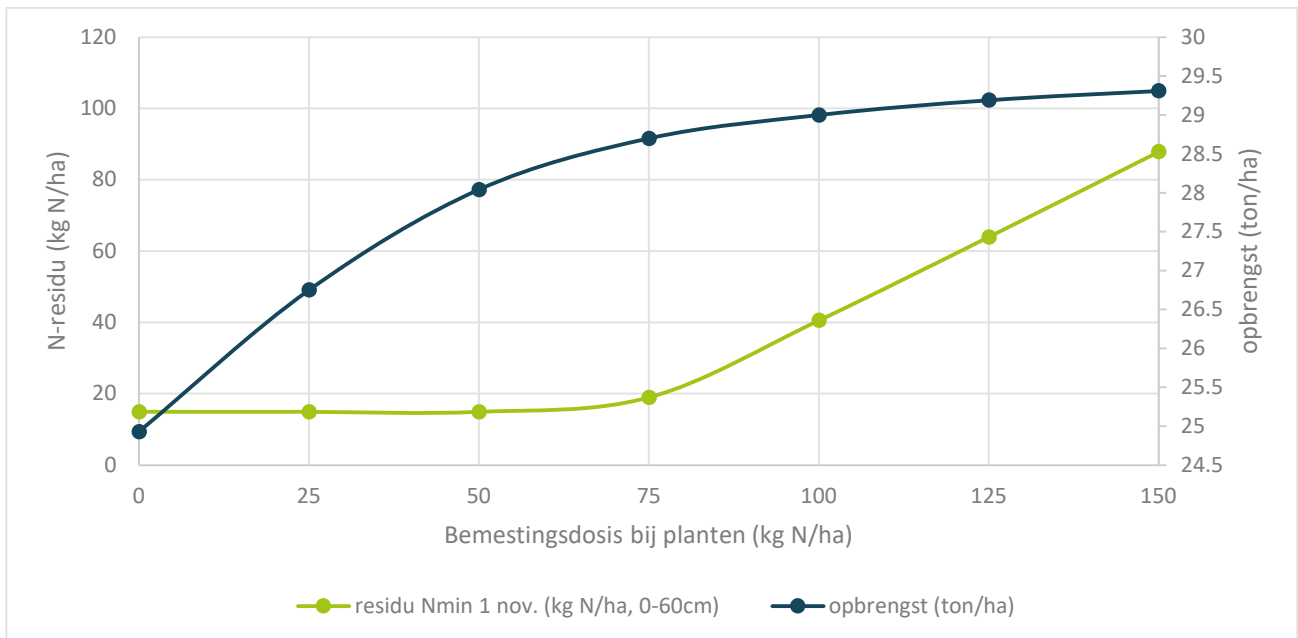
Er werd een zandleemperceel geselecteerd met een BOC-gehalte van 1 % in de bouwvoor (0-30 cm). In 2020 werden op dit perceel boontjes geteeld. Op 16 september 2020 werd snijrogge ingezaaid, die op 20 april 2021 werd ingewerkt zonder vooraf te maaien. Op 30 mei werd 20 ton rundermest toegediend en op 29 juni werd bij het planten van de bloemkool kunstmest toegediend onder vorm van NH_4NO_3 . De bloemkolen werden geoogst op 27 oktober.

Er werd een optimale bemestingsdosis voorgesteld van 75 kg N/ha, waarvoor een vermarktbare opbrengst van 28,7 ton/ha en een N-residu (0-60 cm) van 19 kg N/ha werd gesimuleerd.





Figuur 1: Evolutie van het minerale N gehalte in de bodem en de N opname van de bloemkool op een zandleembodem, als vertrekpunt voor de gevoeligheidsanalyse.



Figuur 2 Opbrengst en residuele minerale N in functie van de toegediende bemesting bij bloemkool op een zandleembodem



Vervolgens werd dit scenario onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse, waarbij aan volgende parameters een variabele waarde werd toegekend:

1. BOC-gehalte (0-30 cm) met referentiewaarde = 1 %
2. C:N-verhouding van BOS (0-30 cm) met referentiewaarde = 10
3. pH-H₂O met referentiewaarde = 6,5
4. textuur met referentiewaarde = zandleem
5. bodemdichtheid met referentiewaarde = 1450 kg/m³
6. vermarktbaar opbrengst bloemkool (o.i.v. groeisnelheid) met referentiewaarde = 28,7 ton/ha
7. plantdatum bloemkool met referentiewaarde = 29 juni
8. datum organische bemesting
9. dosis organische bemesting
10. ammoniuminhoud organische bemesting
11. datum minerale bemesting
12. zaaidatum snijrogge
13. inwerkdatum snijrogge

Ook werden 4 bijkomende simulaties uitgevoerd waarbij het weer van 2021 werd aangepast om zowel een droger, een natter, een kouder en een warmer weerscenario te genereren. Dit werd als volgt gerealiseerd:

- droger jaar: op alle dagen met meer dan 2 mm neerslag werd 2 mm van de dagelijkse neerslaghoeveelheid afgetrokken
- natter jaar: op alle dagen met minder dan 1 mm neerslag werd 1 mm bij de dagelijkse neerslaghoeveelheid opgeteld
- kouder jaar: de gemiddelde dagelijkse temperatuur werd verlaagd met 1°C
- warmer jaar: de gemiddelde dagelijkse temperatuur werd verhoogd met 1°C

Op basis van het verschil in N-opname en het verschil in het N-residu t.o.v. de referentiesituatie werd telkens het effect op de optimale bemestingsdosis berekend (Bijlage 7).



1.6.2.2 Globaal overzicht van de resultaten van de simulaties voor de gevoeligheidsanalyse

Een eerste belangrijk onderscheid in de parameters die in beschouwing werden genomen in de gevoeligheidsanalyse is of de (lineaire) variatie in deze parameters al dan niet resulteerde in een lineaire verandering van de responsvariabele (zijnde de gesimuleerde minerale bemesting). Voor volgende parameters was er inderdaad dergelijk direct lineair verband dat ook logischerwijze kon verwacht worden:

- het BOC gehalte van de 0-30 cm laag
- de opbrengst
- de hoeveelheid organische bemesting
- het NH_4^+ -gehalte in de organische bemesting

Daarnaast bleek ook de schijnbare bodemdichtheid een lineair (negatief) verband te vertonen met de geadviseerde N bemesting.

De andere parameters hebben ofwel een sterk niet-lineair verband, of helemaal geen verband, met de geadviseerde N bemesting.

Tenslotte kan het effect van de variatie in de verschillende parameters op de geadviseerde N bemesting worden samengevat, met het oog op het prioriteren van parameters bij het opmaken van inlichtingenformulieren voor bemesting en het eigenlijke bemestingsadvies.

i) Parameters met (grote) invloed op het bemestingsadvies

- Opbrengst (N opname):

variatie N opname in vermarktbaar opbrengst van 22 tot 37 ton ha^{-1} komt overeen met verschil in N bemesting van 24 tot 123 kg N ha^{-1} : toe- of afname van 6.6 kg N bemesting ton^{-1} vermarktbaar opbrengst ha^{-1}

- BOC gehalte:

variatie BOC gehalte van 0.25 tot 3 % komt overeen met verschil in N bemesting van 100 tot 14 kg N ha^{-1} : toe- of afname van 31 kg N bemesting (% BOC) $^{-1}$.

- Inwerkingsdatum vanggewas:

deze werd ingesteld op voorjaarsinwerking, variatie van 31/03 tot 10/05, overeenkomend met een N bemesting van 65 tot 81 kg N ha^{-1} : toe- of afname van 0.4 kg N bemesting dag^{-1} verschil inwerkingsdatum.

- Organische bemesting:

is wellicht de belangrijkste factor, maar heeft uiteraard een 1-op-1 relatie met de nog toe te dienen minerale N bemesting. Voor een uitvoeriger behandeling hiervan verwijzen we naar de kwalitatieve gevoeligheidsanalyse

- NH_4^+ gehalte organische bemesting:

ook een belangrijke factor met een 1-op-1 relatie met de nog toe te dienen minerale N bemesting, maar variatie is minder groot dan totale hoeveelheid organische N bemesting

- C/N verhouding bodem organische stof

De variatie in C/N verhouding was vrij extreem: een variatie in C/N verhouding tussen 7.5 en 15 komt overeen met verschil in N bemesting van 61 tot 85 kg N ha⁻¹: toe- of afname van 3.2 kg N bemesting (eenheidswijziging in C/N)⁻¹.

ii) Parameters met (bijna) geen invloed op het bemestingsadvies

- Plantdatum

heeft weinig invloed binnen het bestudeerde interval in de zomer (09/06 - 19/07), en de weinige effecten zijn wellicht volledig bepaald door de specifieke meteorologische omstandigheden.

- Datum van organische N bemesting:

heeft nagenoeg geen invloed binnen het bestudeerde interval (10/05 - 20/06), maar dit zal ook voor een stuk weersafhankelijk zijn.

- Datum van minerale N bemesting:

heeft nagenoeg geen invloed binnen het bestudeerde interval (09/06 - 20/07), maar dit zal ook voor een stuk weersafhankelijk zijn.

iii) Moeilijk interpreteerbare simulaties/parameters

- pH

Het model onderschat wellicht de impact van een zure bodem pH op de N mineralisatie, en daarom is de afwezigheid van een invloed van een zure pH op het bemestingsadvies zeer voorzichtig te interpreteren en wellicht te optimistisch.

- Schijnbare dichtheid



Zoals bij de resultaten van de simulaties vermeld heeft (verandering in) schijnbare dichtheid te maken met verandering in de bodemstructuur (structuurdegradatie, compactie), wat door het model (en voor zover we weten door geen enkel model) niet kan gesimuleerd worden.

- Textuur

Deze parameter beïnvloedt een veelheid van andere parameters in het model die een effect kunnen hebben op de groei van het gewas en de N dynamiek.

1.6.3 Op basis van de kwalitatieve gegevens: P bemesting

Gezien het beperkt aantal factoren dat in rekening wordt gebracht bij een P bemestingsadvies geven we hier enkel een paar kwalitatieve bedenkingen.

De onzekerheid van de factoren die in rekening worden gebracht heeft weinig repercussies op korte termijn, gezien een P bemesting dikwijls een voorraadbemesting is (of in onze streken: een uitmijningsbemesting), waarbij door bemesting een bepaalde (ideale) P toestand wordt nagestreefd op de langere termijn. Onzekerheden of zelfs fouten in het inschatten van de P bemesting hebben dan ook slechts beperkte gevolgen, want kunnen bij een volgende bodemanalyse terug rechtgezet worden (de P input is in de meeste gevallen (zeer) klein in vergelijking met de totale P inhoud van de bovenste bodemlaag).

De voornaamste onzekerheid is deze van de bepaling van de bodem P-toestand, met vooral een onzekerheid op de monstername. Uit de vergelijking van de P analyses binnen de benchmarking in dit project blijkt dat deze analyses in de meeste gevallen dicht bij elkaar liggen (Tabel 3), met een gemiddelde VC (over alle percelen heen) van 13%.

Tabel 3: individuele waarden (per adviesbureau), gemiddelden (n=2 tot n=4), standaardafwijkingen en variatiecoëfficiënten van de P-AL metingen (uitgedrukt in mg P 100 g⁻¹ bodem) van de percelen waarvoor een bemestingsadvies werd gevraagd vanwege VLM.

Perceel	EGT_1	JH_1	JS_1	KB_1	LH_1	MH_1	MDB_1	PV_1	PVDM_1	PVDS_1	PVDS_2
P-AL	19	45	16	24	28	28	44	25	14	41	20
	28	42	19	25	34	32	55	27	15	36	15
	34		21	27	35	31	49	30		43	22
	32		19	38		36		23		42	
Gemiddelde	28.3	43.5	18.8	28.5	32.3	31.8	49.3	26.3	14.5	40.5	19.0
St. afw.	6.7	2.1	2.1	6.5	3.8	3.3	5.5	3.0	0.7	3.1	3.6
VC (%)	24	5	11	23	12	10	11	11	5	8	19



1.7 VOORBEELDEN VAN ADVIEZEN UIT HET BUITENLAND

Het verkrijgen van voorbeelden van adviezen uit het buitenland bleek een stuk moeilijker dan aanvankelijk ingeschat. Slechts een beperkt aantal (ons omringende) landen en gebieden kwamen hiervoor in aanmerking, omdat adviezen voor andere klimaten en bodems minder zinvol zijn. We hadden ons geconcentreerd op adviezen uit Denemarken, Nederland en Frankrijk, vooral omdat Nederland en Denemarken met vergelijkbare nutriëntenproblematieken zitten als Vlaanderen, en omdat Frankrijk ook het gekende N balans systeem toepast. Vanuit Frankrijk kregen we heel wat algemene informatie en parameterwaarden, maar ondanks herhaaldelijk aandringen werden uiteindelijk geen adviezen verkregen. Vanuit Nederland en Denemarken werden ook allerlei bronnen en informatie aangeleverd, maar ook daar geen voorbeeldadviezen. De reden hiervoor blijkt te zijn dat beide landen met andere systemen van adviesverlening werken, die (zeer sterk of deels) centraal gestuurd worden, met voor alle parameters vastliggende cijfers of berekeningsmethodes. We gaan hier dan ook dieper in op hoe de systemen in Nederland en Denemarken werken.

1.7.1 Denemarken

In Denemarken zijn er quota voor N bemesting voor Deense gewassen, die in de wetgeving zijn geïmplementeerd en het kader vormen voor de maximale N-toewijzing voor individuele gewassen. De economisch optimale N-quota voor Deense gewassen worden om de drie jaar herzien op basis van de resultaten van responsproeven op stikstofmeststoffen. Zeer opmerkelijk is dat dit gebeurt in samenwerking met SEGES, een privébedrijf dat bruggen bouwt tussen onderzoek en praktische landbouwtoepassingen in Denemarken. Zij voeren ongeveer 1000 veldproeven per jaar uit in samenwerking met de Deense landbouwadviesdienst. Ik heb de laatste 8 jaar af en toe met dit onderwerp gewerkt.

Voor de nationale veldproeven van Denemarken heeft elke proef eigenlijk zijn eigen resultatenpagina online. Een proef met wintertarwe kan bijvoorbeeld hier worden gevonden: <https://nfts.dlbr.dk/Forms/Dokumentation.aspx?KardexID=59718&GUID=c06aaa96-ece2-4ddb-a0f9-baf4ae3b630a&applLangID=en>

Er is een gedetailleerd "receptenboek" voor de berekening van de N-bemestingsquota op basis van de stikstofresponsproeven op de webpagina van het Deense ministerie van landbouw: https://dca.au.dk/fileadmin/user_upload/NH/Myndighed/Drejebog_Gaeldende_fra_november_2018.pdf. Het is echter in het Deens.

De link met het meest recente verslag, met vanaf bladzijde 99 de N-quota voor de specifieke gewassen op zes verschillende bodemtypes: https://lbtst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goeskning_og_harmoniregler_2021_2022.pdf. Het eerste gewas is b.v. vårbyg, wat zomergerst betekent. De bodemtypes gaan van zeer zandig (JB 1+3) tot meer kleiachtig (JB 7-9). De stikstofresponsproeven voor wintertarwe en zomergerst zijn in verschillende publicaties gebruikt, maar het systeem is niet direct beschreven in de internationale literatuur.

De Deense landbouwadviesdienst beschikt wel over software, die de landbouwers gebruiken. In dit programma (Mark (field) online) zijn de nationale richtsnoeren (quota) voor elk gewas opgenomen.

Er worden geen metingen van minerale N gedaan zoals in Vlaanderen, maar in plaats daarvan is er een stikstofprognose op nationaal niveau, die is gebaseerd op jaarlijkse metingen van de minerale N in het vroege voorjaar. Als het gehalte aan minerale N veel hoger is dan de afgelopen 11 jaar, mogen de landbouwers minder kunstmest N toedienen, terwijl ze meer mogen toedienen, als het gehalte aan minerale N lager is.

Een bemestingsadvies voor individuele percelen zal dan een combinatie zijn van nationale richtsnoeren die specifiek per gewas en bodemtype afhankelijk zijn, en rekening houden met de vorige teelt (als b.v. gras-klover zou het advies zijn om 115 kg N/ha minder toe te dienen), en de stikstofprognose. Daarnaast wordt ook rekening gehouden met de voorgeschiedenis, bijv. het gebruik van dierlijke mest en grasklover in de vruchtwisseling in de afgelopen 5 jaar, de huidige prijzen voor stikstof en het gewas, en overwegingen over het specifieke opbrengstniveau op het veld.

Nog bijkomende informatie over het Deense systeem is te vinden in Bijlage 8.

Een zeer eenvoudige beschrijving van het idee achter het P-model in MarkOnline is als volgt:

$$P\text{-demand} = \text{Normcrop} \times P_{\text{corr}} + \text{yieldcorr} + \text{Residual P}$$

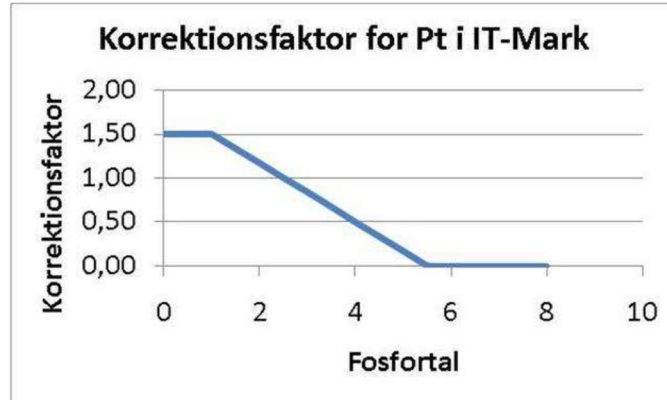
met:

- Normcrop is de standaardbehoefte aan P voor een gewas bij een bepaald opbrengstniveau. Het is gebaseerd op de P onttrekking. Voor wintergewassen is het enkel de onttrekking, voor in het voorjaar gezaaide gewassen is het de onttrekking + 5 kg P/ha en voor in rijen gezaaide gewassen is het de onttrekking + 15 kg P.
- Bv. zomergerst, opbrengst 5 ton graan/ha: onttrekking is 5 ton x 0,85 DM x 0,32 procent P = 14 kg P + 5 kg P = 19 kg P per ha.
- P_{corr} is een correctie voor beschikbare P in de bodem. Bodemanalyses zijn gebaseerd op Olsen P in mg/100 gram grond. Voor P_t = 2,5 is de factor 1,0, voor P_t 1,0 is de factor 1,5 en voor P_t 5,0 is de factor 0 (Figuur 3 uit het MarkOnline P model).
- Yieldcorr: Als de verwachte opbrengst afwijkt van de norm, wordt de vraag gecorrigeerd evenredig met het verschil in P-onttrekking.
- Residuele P. Deze correctie wordt doorgevoerd bij een overschot aan P van vorig jaar, dat niet in de P_t-analyses tot uiting komt. Het overschot van vorig jaar wordt berekend als P-verwijdering - P-toepassing. Deze som wordt gedeeld door 2 omdat wordt aangenomen dat de beschikbaarheid met 50 procent per jaar vermindert.

$$P_{\text{t najaar}} = P_{\text{t voorjaar}} + (P\text{-toepassing} - P\text{-onttrekking})/25/3$$



Voor het volgende jaar is P gebaseerd op Pt najaar.



Figuur 3: Berekening van de correctiefactor voor de bodem P-toestand op basis van het gehalte aan Olsen-P (in mg 100 g⁻¹ bodem) in het P model van MarkOnline, Denemarken

Nederland

De aanpak in Nederland is ook enigszins gecentraliseerd, in die zin dat de belangrijke kengetallen voor N en P nodig voor het opstellen van adviezen door twee commissies in consensus en op een dynamische manier worden vastgelegd. Ten eerste is er de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgroententeelt (CBAV) die het Handboek Bodem en Bemesting opstelt dat bedoeld is voor alle personen die betrokken zijn bij bemesting en bodembeheer in de akkerbouw en vollegrondsgroententeelt. De opgenomen bemestingsadviezen zijn beoordeeld en vastgesteld door de CBAV, die hiertoe een beoordelingssystematiek gebruikt die uitgebreid wordt toegelicht in een specifieke publicatie¹. De systematiek is opgesteld om te laten zien in hoeverre een advies wetenschappelijk is onderbouwd, hoe actueel dat advies nog is en om de CBAV beter te laten aansluiten bij de praktijk. De vermelde adviezen in het handboek blijken een gemiddelde situatie te betreffen. Op basis van eigen ervaringen en kennis kunnen ze aan de eigen situatie van de specifieke landbouwer worden aangepast, en het handboek geeft hiervoor handvatten in de vorm van voetnoten en aanvullende opmerkingen. De bemestingsadviezen in het Handboek hebben een landbouwkundige grondslag. Ze zijn afgestemd op het behalen van een economisch optimaal resultaat, en de bemestingsadviezen in het handboek voor stikstof en fosfaat staan los van de Nederlandse gebruiksnormen. De commissie erkent dat afhankelijk van de bodemsoort en regio en de rotatie de toepassing van de adviezen ertoe kan leiden dat op bedrijfsniveau niet aan de gebruiksnormen wordt voldaan, maar de Commissie zal in de toekomst blijkbaar meer aandacht besteden aan dit knelpunt. De CBAV is samengesteld uit vertegenwoordigers van onderzoek, voorlichting en bedrijfsleven.

Voor bemesting van grasland en voedergewassen bestaat een tweede specifieke commissie, de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, die volgens volledig vergelijkbare principes werkt als de CBAV. Het is bij beide commissies expliciet de bedoeling dat de richtlijnen uit de handboeken ook door iedereen zouden gevolgd worden, zoals blijkt uit volgende citaat uit het handboek: "De opgenomen bemestingsadviezen zijn

¹ Beoordelingssystematiek voor bemestingsadviezen in het Handboek Bodem en Bemesting Vastgesteld door de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgroenten Oktober 2016

vastgesteld door de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. Deze commissie is ingesteld door LTO-Nederland en bestaat uit vertegenwoordigers van onderzoek, voorlichting en bedrijfsleven. Op deze manier wordt gestreefd naar wetenschappelijk verantwoorde en praktisch goed toepasbare bemestingsadviezen. De complete samenstelling van de commissie is in de Colofon weergegeven. De commissie heeft het vertrouwen dat compleet "bemestend" Nederland de basisrekenregels uit de bemestingsadviesbasis hanteert zodat er een eenduidige advisering richting de praktijk uit voortvloeit en er geen twijfel bestaat over de uitgebrachte adviezen."

Het is belangrijk om te weten dat deze commissies richtlijnen opstellen, maar dat veel van de bemestingsadviezen door adviseurs worden gemaakt, zowel onafhankelijke zoals Delphy (<https://delphy.nl/bedrijfsadvies-per-sector/>), als van de toeleveranciers van meststoffen zoals Agrifirm (<https://www.agrifirm.nl/>) en CZAV (<https://www.czav.nl/>). Ze hebben hiervoor hun eigen programma's die gebaseerd zijn op de bemestingsadviezen van deze commissies, maar het is niet geweten hoe die precies in elkaar steken.

Ook de laboratoria geven adviezen bij hun bodemonsters. Op de uitslagenformulieren staan de adviezen vermeld. Van het grootste labo, Eurofins zijn voorbeelduitslagen met adviezen beschikbaar op hun website, zoals bv.

https://www.eurofins-agro.com/uploads/downloads/Voorbeeldverslagen/NL_AT_klei_110506_jr_19_20.PDF
https://www.eurofins-agro.com/uploads/downloads/Voorbeeldverslagen/NL_GLD_zand_110500_jr_19_20.PDF.

Eurofins geeft ook regelmatig adviezen in België. Zowel de meetmethoden als de adviezen die Eurofins gebruikt wijken wel op veel punten af van de officiële adviezen zoals gepubliceerd in het Handboek Bodem en bemesting voor de akkerbouw en de Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen. Janjo de Haan, secretaris van de CBAV, liet ondertussen weten dat de commissie bezig is om dit te harmoniseren.

2 VERGELIJKING VAN ADVIEZEN VIA PRAKTIJKTOETSEN

De bedoeling was om voor een beperkt aantal praktijksituaties adviezen op te vragen bij telkens verschillende adviesverlenende instanties, en dit te doen zoals in andere praktijkgevallen, d.w.z. zonder melding te maken van de context van dit project. Deze adviezen zouden dan grondig vergeleken worden naar zowel vorm als inhoud.

2.1 OPGEVRAAGDE ADVIEZEN

Gegeven de start van het project was het opvragen van echte praktijkadviezen niet evident, en eigenlijk enkel mogelijk voor zeer specifieke teelten (vooral groenten). Via partner PCA werden voor 6 situaties adviezen opgevraagd bij telkens 5 verschillende adviesinstanties, met name voor:

- rode kool



- witte kool
- bloemkool (2x)
- prei
- knolselder

Ter aanvulling hiervan werden dan ook nog een groot aantal bemestingsadviezen geanalyseerd via de opdrachtgever VLM, die in het recente verleden bij zoveel mogelijke verschillende instanties adviezen had verzameld over een reeks uiteenlopende teelten en rotaties, telkens voor praktijksituaties. Volgende teelten waren hierin vertegenwoordigd:

- snijmaïs
- korrelmaïs
- aardappelen
- grasklaver
- wortelen
- bloemkool
- prei
- vezelvlas
- wintertarwe
- wintergerst
- suikerbieten

2.2 BEREKENING VAN ADVIEZEN VIA COMPUTERSIMULATIEMODEL

2.2.1 Methodiek

Mechanistisch goed onderbouwde computersimulatiemodellen brengen in principe alle relevante processen in rekening die van invloed zijn op de N dynamiek en N beschikbaarheid. Wanneer correct en met deskundigheid gebruikt genereren zij in theorie het best mogelijke bemestingsadvies (met dien verstande dat 'in theorie'



betekent dat alle processen die de N dynamiek beïnvloeden minstens even goed en even consistent in het model vervat zitten als bij de berekening van een uitgebreide N balans). In het verleden zijn dergelijke sterk mechanistische modellen ook effectief gebruikt voor het geven van bemestingsadviezen, met succes (bv. Sundial (Rothamsted) in Engeland, WELL_N en EU_Rotate_N (HRI Wellesbourne) in Engeland, STICS (INRAe) in Frankrijk). De bedoeling was om deze computer gegenereerde adviezen in eerste instantie te vergelijken met de adviezen (vanwege het consortium) op basis van een uitgebreide (maar statische) N balansberekening. Gelijkenissen en verschillen tussen deze adviezen kunnen dan aanduiden waar mogelijkheden liggen tot verbetering van zowel de modellen als de balansberekeningen.

De berekeningen gebeurden hier aan de hand van het EU-Rotate_N model. Dit model simuleert op dagelijkse basis de interactie tussen gewasgroei, waterhuishouding en alle voornaamste N-dynamische processen in de bodem: mineralisatie (uit bodemorganische stof, oogstresten en organische mestvormen) en immobilisatie, opname, depositie, uitspoeling, denitrificatie en vervluchtiging.

De door de landbouwer verschaft informatie rond bodemtextuur en bodemorganische stofgehalte werd ingevoerd in het model. Op basis van de textuur werden de bodemvochtparameters ingeschat a.d.h.v. pedotransferfuncties (Weynants et al., 2009). Er werd een opwarmperiode toegepast waarin voor elk perceel tot en met 2019 de volgende rotatie werd gesimuleerd: wintertarwe - nateelt gras - aardappel - 2 teelten bloemkool - snijmaïs. Deze rotatie liet toe dat het bodemorganische stofgehalte tijdens de opwarmperiode min of meer op peil bleef.

In 2020 werden de teelt en nateelt gesimuleerd die opgegeven werden door de landbouwer. In 2021 werd het inwerken van oogstresten van de vorige teelt en van de nateelt en het planten en oogsten van de nieuwe teelt gesimuleerd op de door de landbouwer opgegeven tijdstippen. Tot en met 2020 werd ervan uitgegaan dat de bemestingsnormen volledig werden ingevuld, met in de eerste plaats de invulling van de norm voor dierlijke N. In 2021 werden de bemestingsvorm, -dosis en -tijdstip toegepast zoals opgegeven door de landbouwer.

De gebruikte weersgegevens zijn deze van het weerstation van PCA te Kruishoutem, aangezien dit weerstation zich niet ver bevindt van de opgevolgde percelen, die gelegen zijn in de gemeentes Anzegem, Pittem en Meulebeke. Belangrijke opmerking hierbij is dat het hier geformuleerde bemestingsadvies opgesteld wordt op basis van simulaties die gebruik maken van weersgegevens die op het moment dat de bemesting dient toegediend te worden (begin september) nog niet gekend zijn. Om op het moment zelf voorspellende simulaties uit te voeren zou bv. gebruik gemaakt kunnen worden van weersgegevens van (delen van) jaren die weerkundig als normaal bestempeld worden. Omdat de herfst van 2021 met uitzondering van de luchtdruk en de windsnelheid als normaal werd beoordeeld (KMI, 2021), voldoet de uitgevoerde simulatie met de weersgegevens van 2021 daaraan. Bedenk wel dat bij voor de gewasgroei uitzonderlijk ongunstige weersomstandigheden de geformuleerde bemestingsdosis te hoog zal liggen, terwijl omgekeerd een beperkte bijkomende bijbemesting nodig zou kunnen zijn bij uitzonderlijk gunstige weersomstandigheden.

Voor de jaarlijkse stikstofdepositie werden per locatie de meest recente (2017) waarden toegepast uit het VLOPS-model.



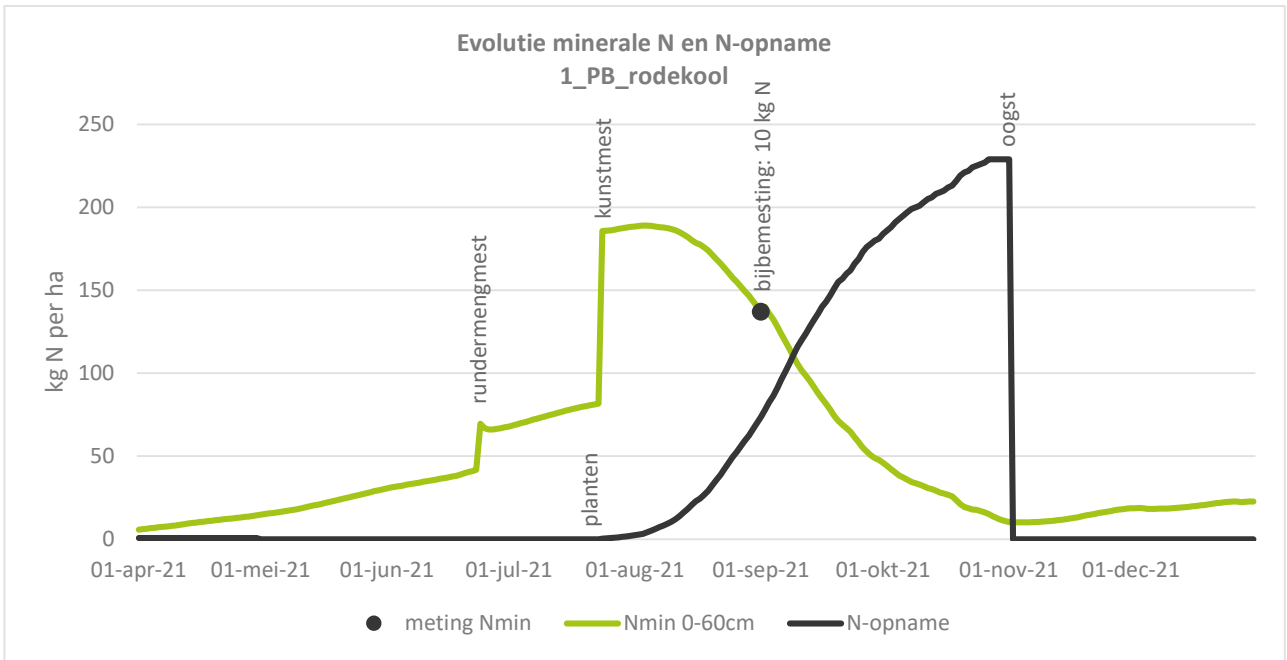
Als referentiepunt voor de simulaties werd het mineraal N-gehalte gebruikt dat werd gemeten op 1 september 2021. Hiertoe werd voor elk van beide bodemlagen (0-30 en 30-60 cm) het gemiddelde genomen van de 4 analyseresultaten (het resultaat van Eurofins werd niet meegenomen aangezien de staalneming gebeurde op 7 september). Om het gesimuleerd mineraal N-gehalte op 1 september hiermee zo goed mogelijk te laten samenvallen werd het mineraal N-gehalte in het voorjaar (dat niet gemeten werd) heringesteld op 1 april. Op twee percelen was het niet mogelijk om het mineraal N-gehalte in het voorjaar voldoende te verlagen om op 1 september een goede overeenkomst te bekomen. In dat geval werd ook de dosis dierlijke mest naar beneden bijgesteld.

Na de instelling van het model op basis van het referentiepunt werden per perceel 6 simulaties uitgevoerd, waarbij een variërende bemestingsdosis van 0 tot 100 kg minerale N per hectare werd gesimuleerd op 2 september. Op basis van de gesimuleerde vermarktbare opbrengst van de teelt en het N-residu (0-60 cm) op 1 november werd vervolgens de optimale bemestingsdosis geselecteerd.

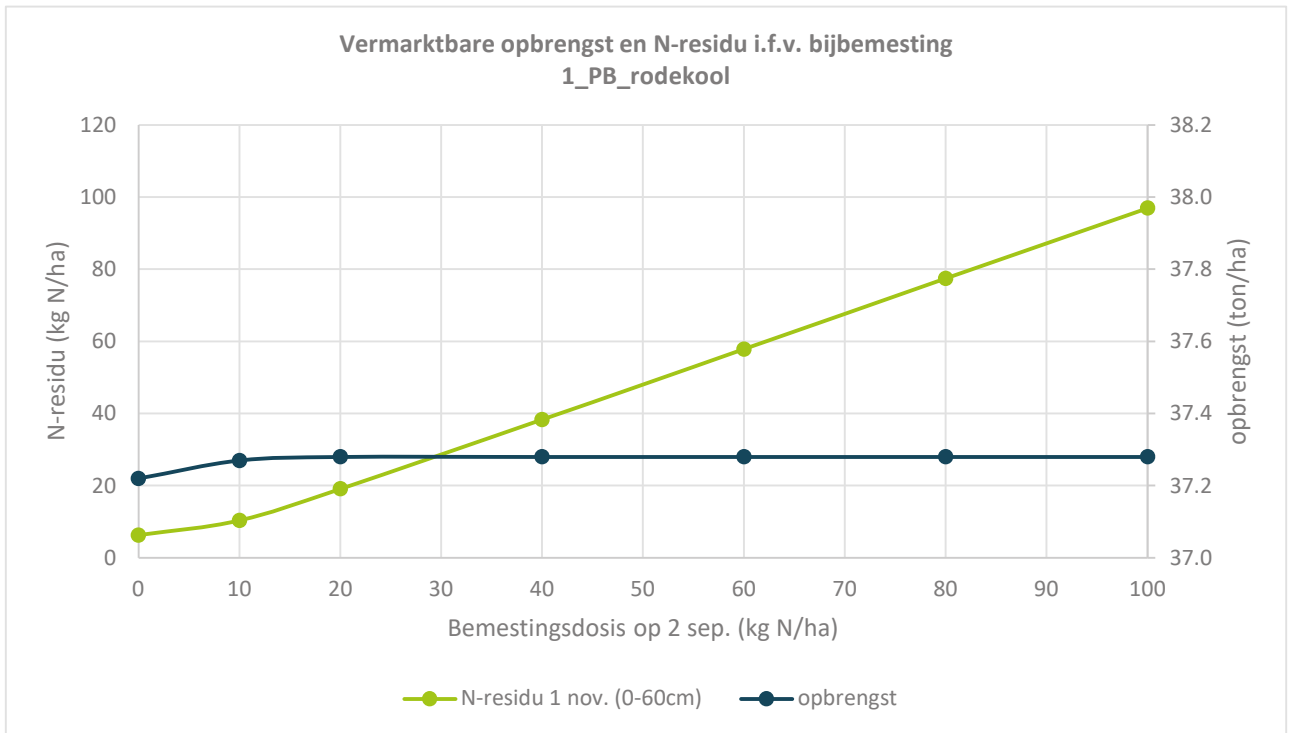
2.2.2 Perceel 1: rode kool: 10 kg N

De landbouwer gaf op dat er zowel witte als rode kool werd geteeld op dit perceel, maar er werd in de simulaties uitgegaan van rode kool. De kool werd laat geplant (24 juli) waardoor op 1 november een vermarktbare opbrengst van slechts 37,3 ton/ha werd gesimuleerd. De optimale opbrengst werd reeds bereikt bij een minerale bijbemesting op 2 september van 10 kg N/ha. De gesimuleerde totale N-opname door rode kool bedroeg 229 kg N/ha. Het gesimuleerde N-residu bij oogst (10 kg N/ha) was daarbij echter lager dan de aanbevolen hoeveelheid latente N voor rode kool. Merk op dat het op dit perceel onmogelijk was om met simulatie van de opgegeven bemesting (35 ton rundermest en 104 kg minerale N per hectare) het gemeten mineraal N-gehalte op 1 september te benaderen. Daarom werd na instellen van een lager mineraal N-gehalte in het voorjaar ook de hoeveelheid rundermest verminderd tot een dosis van 10 ton per hectare. Het is niet mogelijk om de precieze oorzaak aan te duiden voor het lage gemeten mineraal N-gehalte.





Figuur 4: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel PB_rodokool



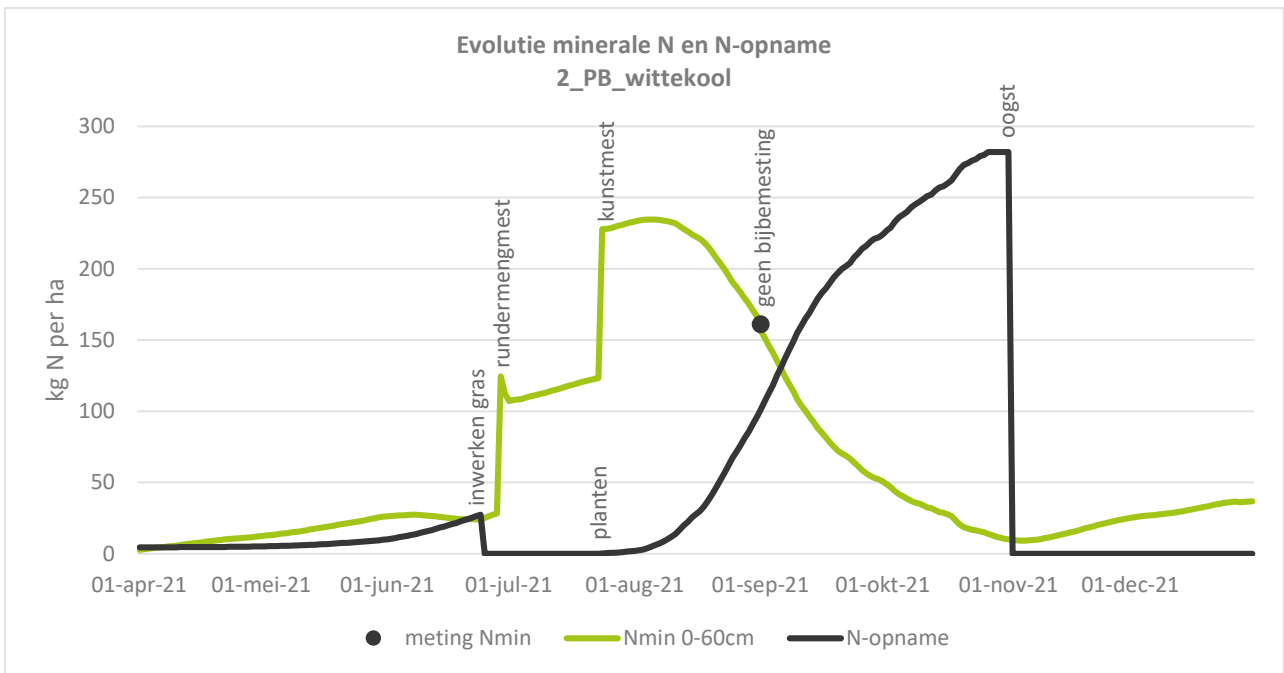
Figuur 5: Gesimuleerde vermarktbaar opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel PB_rodokool



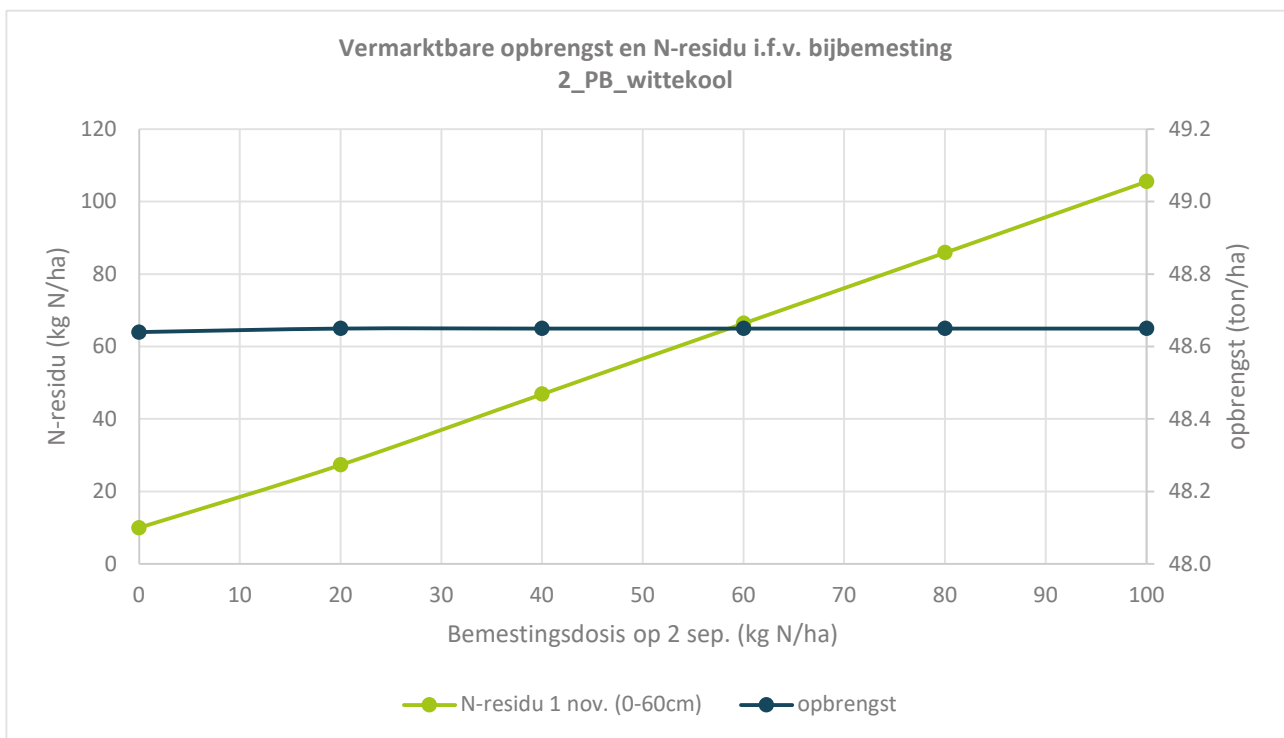
2.2.3 Perceel 2: witte kool na gras: 0 kg N

Voor dit perceel werden voor het inwerken van de voorteelt gras en voor het uitvoeren van de dierlijke bemesting geen tijdstippen opgegeven door de landbouwer. Er werd verondersteld dat dit gebeurde ongeveer een maand voor het planten van de witte kool. Er werd ook hier door het late planttijdsp (24 juli) een beperkte vermarktbaar opbrengst van 48,6 ton/ha gesimuleerd op 1 november. Een bijbemesting was niet nodig. De gesimuleerde totale N-opname door witte kool bedroeg 282 kg N/ha. Merk op dat het gesimuleerde N-residu bij oogst (10 kg N/ha) lager ligt dan de aanbevolen hoeveelheid latente N voor witte kool.





Figuur 6: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel PB_witte kool

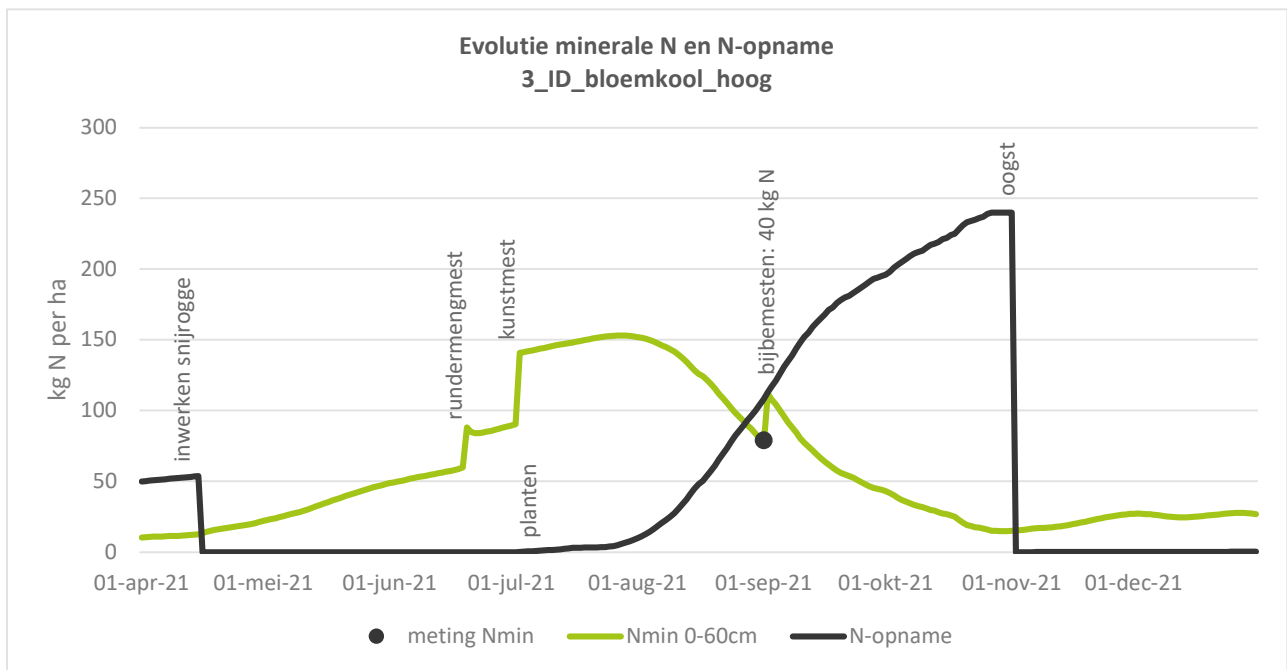


Figuur 7: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel PB_witte kool

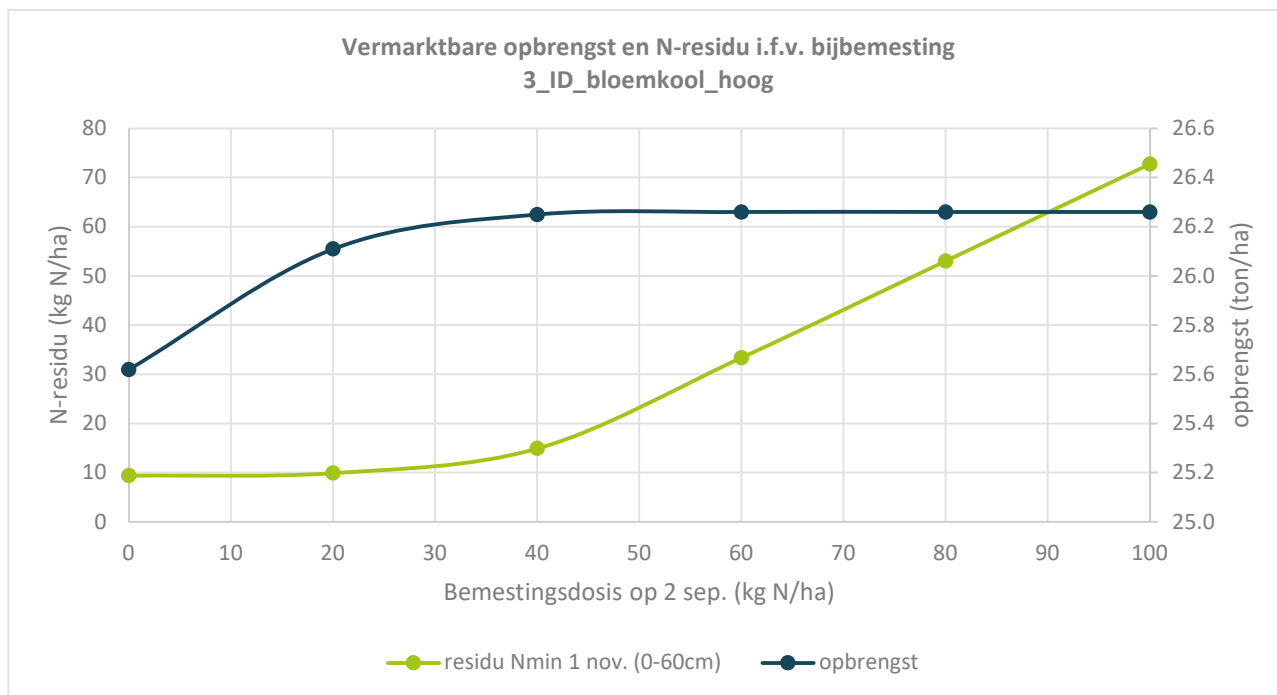


2.2.4 Perceel 3: bloemkool na snijrogge: 40 kg N

Ook op dit perceel was het onmogelijk om met simulatie van de opgegeven bemesting (40 ton rundermengmest en 50 kg minerale N per hectare) het gemeten mineraal N-gehalte op 1 september te benaderen. Zelfs na instellen van een lager mineraal N-gehalte in het voorjaar diende de hoeveelheid rundermengmest bijkomend verminderd te worden, tot een dosis van 10 ton per hectare. Het is opnieuw onmogelijk om de precieze oorzaak aan te duiden voor het lage gemeten mineraal N-gehalte. Merk ook op dat deze aanpassing niet nodig was op perceel 4, waar hetzelfde beheer werd uitgevoerd, omdat het gemeten mineraal N-gehalte daar veel hoger lag. Op perceel 3 wordt een optimale vermarktbaar opbrengst van 26,3 ton/ha gesimuleerd voor een minerale bijbemesting op 2 september van 40 kg N/ha. De gesimuleerde totale N-opname door bloemkool bedroeg 240 kg N/ha. Merk op dat het gesimuleerde N-residu bij oogst (15 kg N/ha) lager ligt dan de aanbevolen hoeveelheid latente N voor bloemkool.



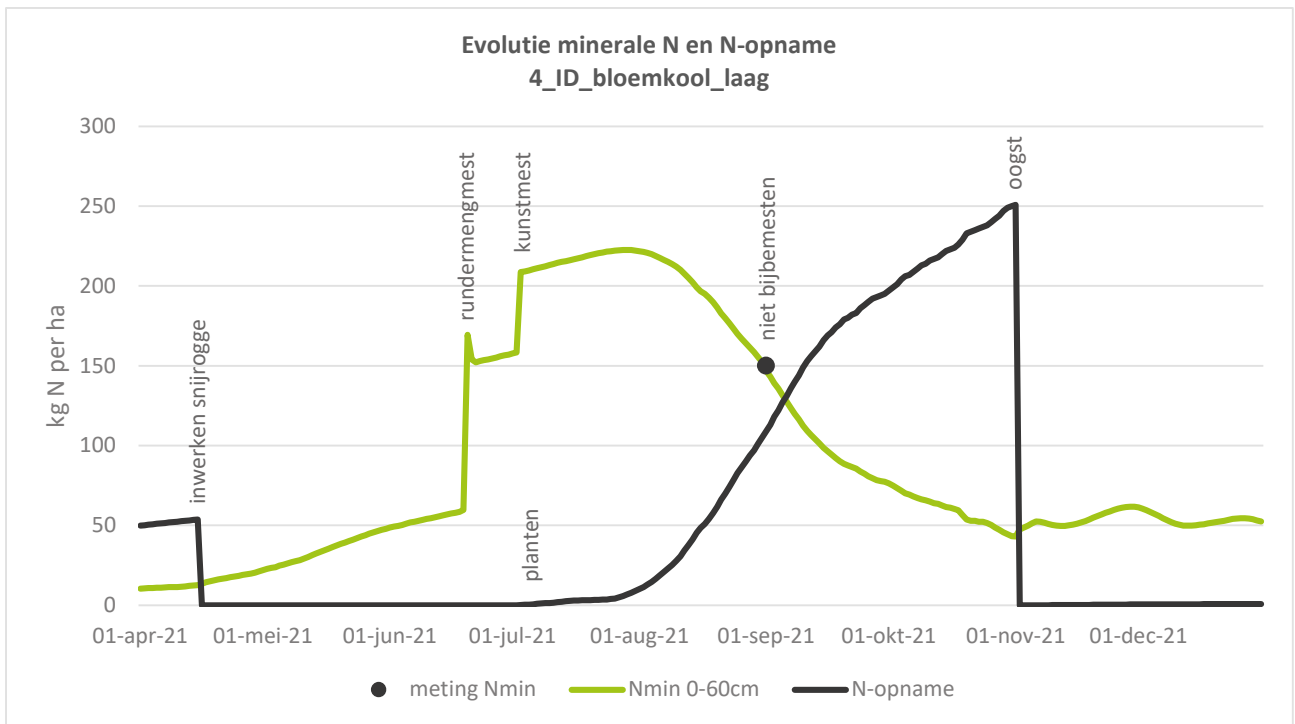
Figuur 8: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel ID_bloemkool_hoog



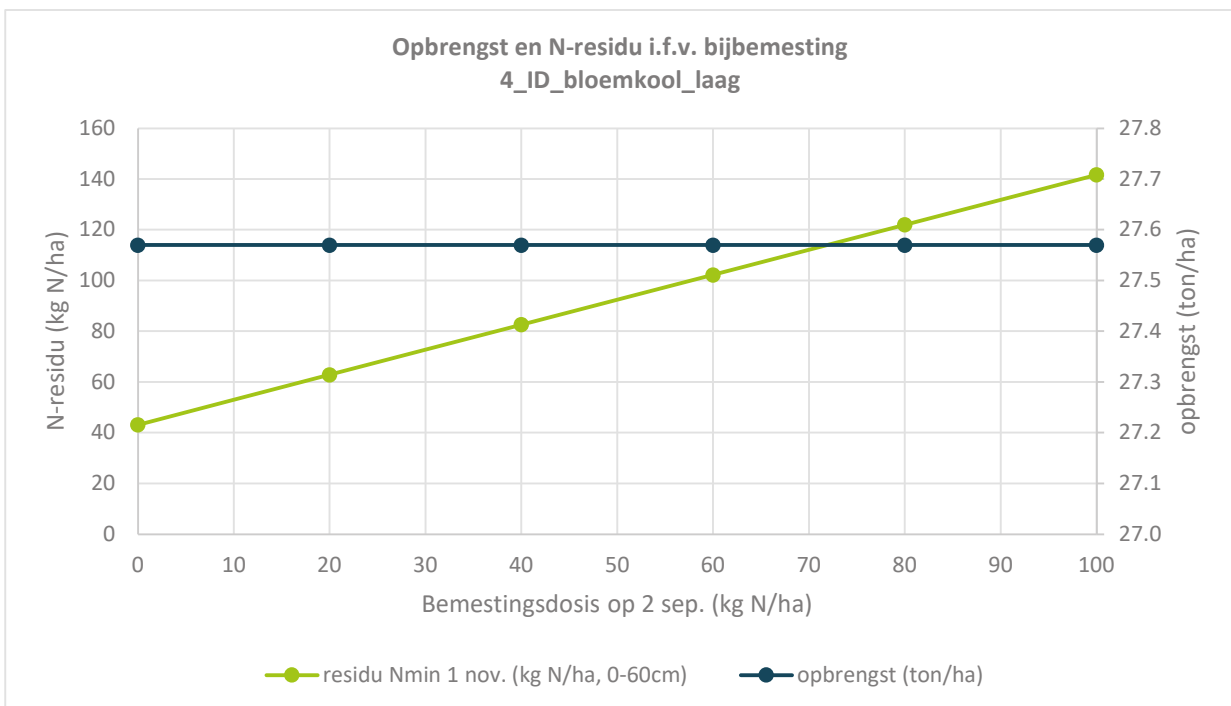
Figuur 9: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel ID_bloemkool_hoog

2.2.5 Perceel 4: bloemkool na snijrogge: 0 kg N

Op dit perceel wordt een optimale vermarktbare opbrengst van 27,6 ton/ha gesimuleerd, waarvoor een minerale bijbemesting op 2 september niet nodig is. De gesimuleerde totale N-opname door bloemkool bedroeg 251 kg N/ha. Het gesimuleerde N-residu bij oogst (43 kg N/ha) ligt voldoende in de buurt van de aanbevolen hoeveelheid latente N voor bloemkool.



Figuur 10: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel ID_bloemkool_laag

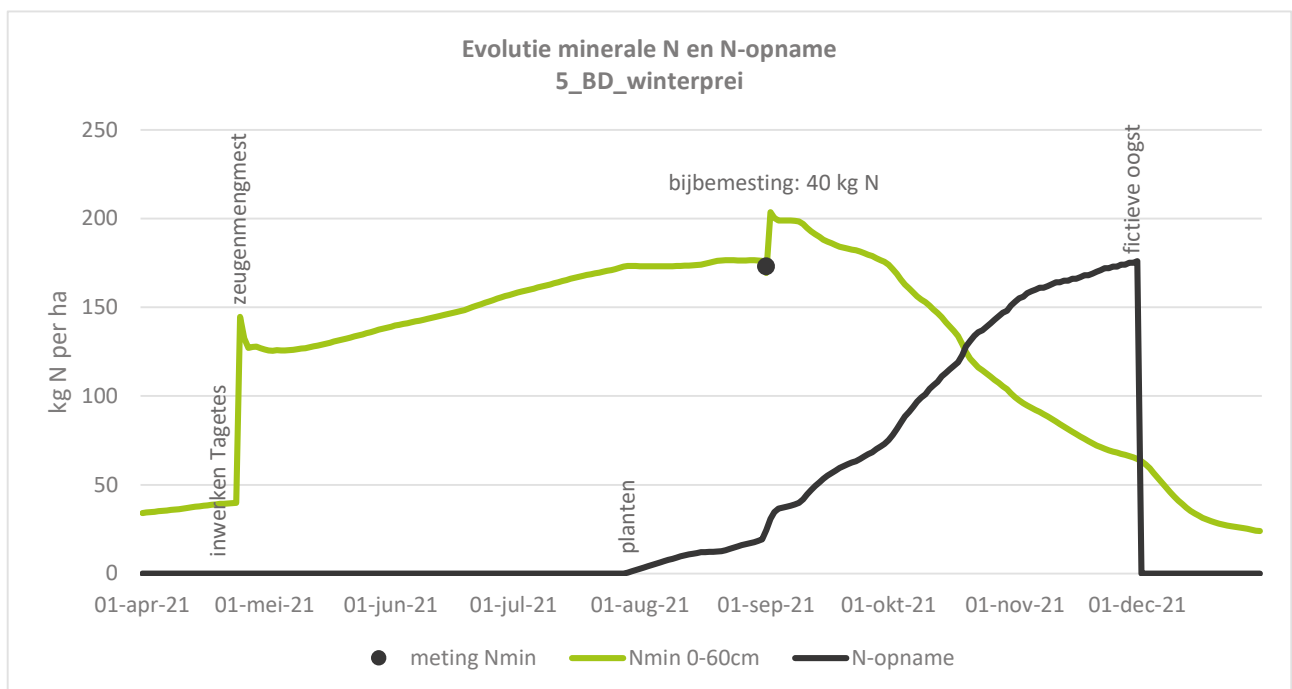


Figuur 11: Gesimuleerde vermarktbare opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel ID_bloemkool_laag

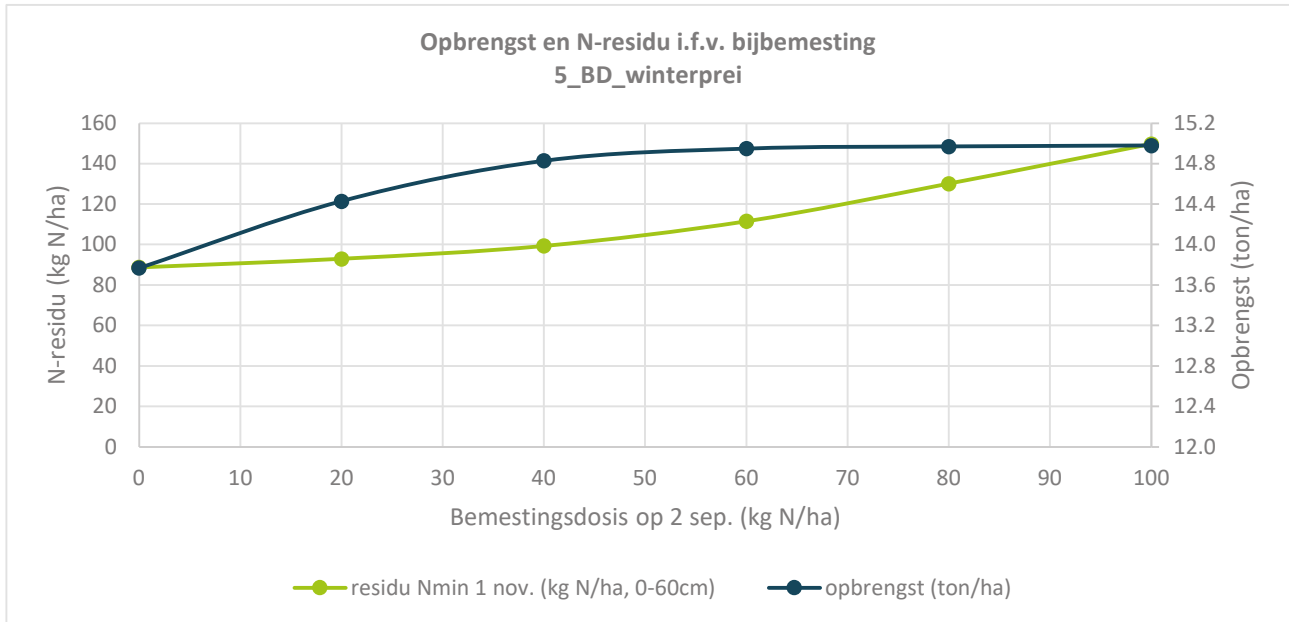
2.2.6 Perceel 5: prei na tagetes: 40 kg N

Op perceel 5 wordt winterprei geteeld na tagetes. Van tagetes wordt aangenomen dat deze afstierf in het najaar van 2020, maar dat de gewasresten werden ingewerkt in april 2021. Om de groei van prei doorheen de winter (2021-2022) correct te simuleren zouden enkele modelaanpassingen nodig zijn waarvoor gegevens ontbreken. Bovendien is het omwille van de uitspoeling tijdens de winter niet relevant om de bijbemesting in september te optimaliseren op basis van de oogst in april. In dat geval is het aangewezen een extra staal te nemen in het vroege voorjaar en op basis daarvan een bijkomend bemestingsadvies te formuleren. Daarom werd de invloed van de bijbemesting in september geëvalueerd op basis van de gesimuleerde opbrengst van de prei op 1 december.

Op 1 december wordt een optimale vermarktbaar opbrengst van 14,8 ton/ha gesimuleerd voor een minerale bijbemesting op 2 september van 40 kg N/ha. De gesimuleerde totale N-opname door prei bedroeg 176 kg N/ha. Het gesimuleerde N-residu op 1 november is 99 kg N/ha en is erg hoog. Vanuit louter milieukundig perspectief is dan ook eerder een nulbemesting aangewezen.



Figuur 12: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel BD_winterprei

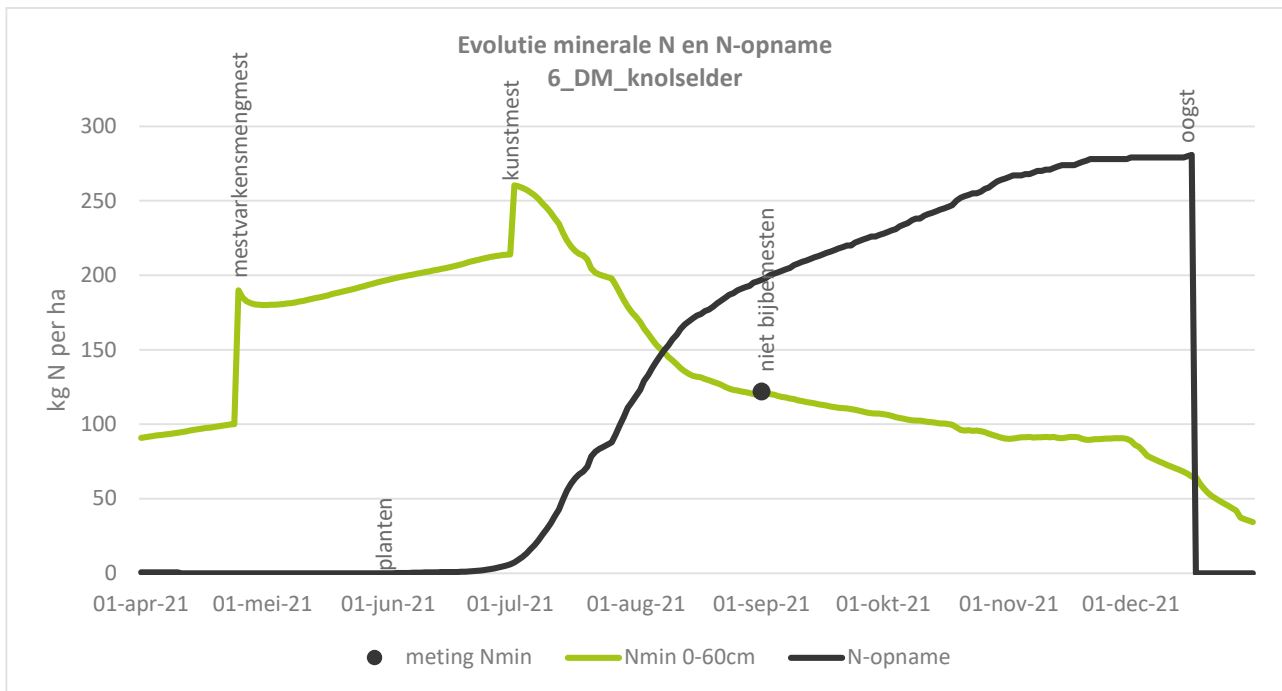


Figuur 13: Gesimuleerde vermarktbaar opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel BD_winterprei

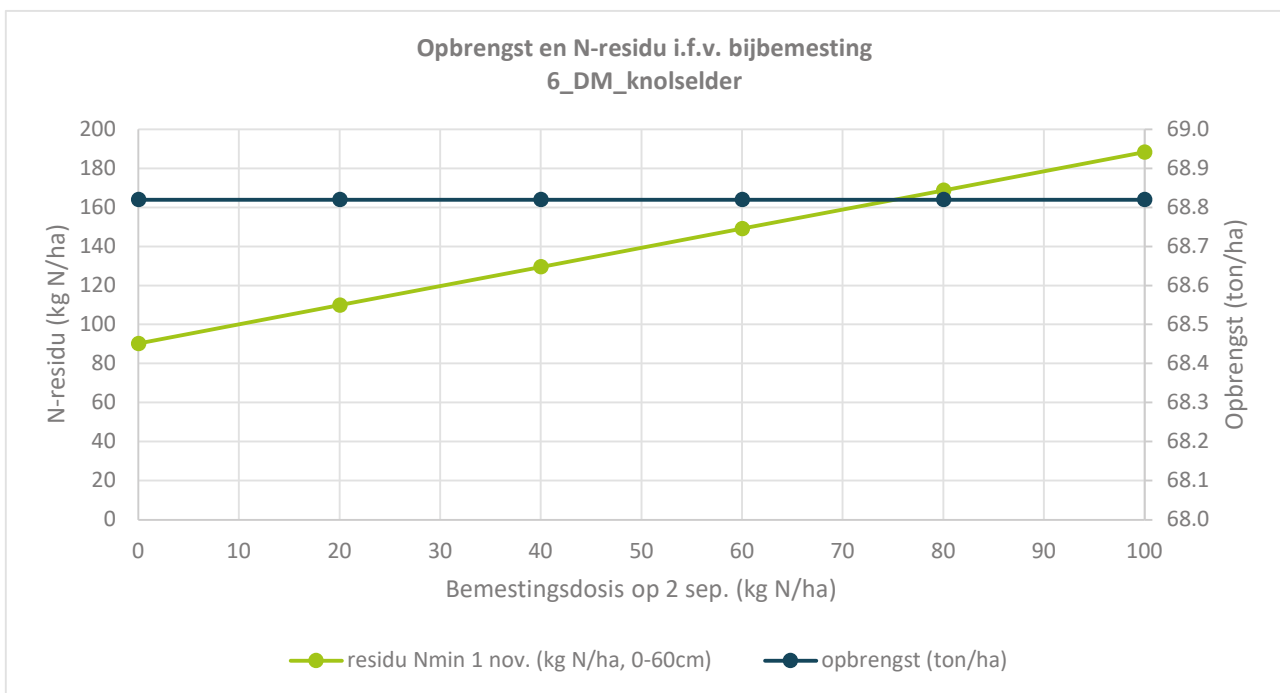
2.2.7 Perceel 6: knolselder: 0 kg N

Op dit perceel wordt een optimale vermarktbaar opbrengst van 68,8 ton/ha gesimuleerd op 15 december, waarvoor geen minerale bijbemesting nodig is. De gesimuleerde totale N-opname door knolselder bedroeg 279 kg N/ha. Het gesimuleerde N-residu op 1 november is 90 kg N/ha en is erg hoog.





Figuur 14: Gesimuleerde evolutie minerale N en N opname voor perceel DM_knolselder



Figuur 15: Gesimuleerde vermarktbaar opbrengst en Nmin residu in functie van de bijbemesting voor perceel DM_knolselder

2.2.8 Vergelijking met de adviezen gegenereerd door het consortium

De algemene vergelijking van alle adviezen wordt hieronder in 2.3 besproken, maar hier wordt reeds een vergelijking gemaakt tussen de modelgegenereerde adviezen en de adviezen (ook van het consortium) op basis van de gedetailleerde N balans. Globaal genomen zijn er vrij grote verschillen in N advies tussen de simulaties en de adviezen op basis van de gedetailleerde N balans. Bij nadere inspectie bleken deze verschillen voor een groot deel te wijten aan verschillen in totale N opname die bij de berekeningen verondersteld worden. Hieruit blijkt nogmaals dat de totale N opbrengst zoals bepaald door plant- en oogstdatum, variëteit, bestemming van de productie, productiepotentieel van het perceel heel sterk bepalend is voor het uiteindelijke advies. Wanneer de adviezen op basis van de gedetailleerde N balans herrekend werden om deze verschillen in totale N opname in rekening te brengen dan werden de verschillen in de uitgebrachte N adviezen een heel stuk kleiner (Tabel 4). Andere redenen voor verschillen waren beperkte verschillen in de N mineralisatie (iets kleiner in de simulaties) en de latente N residuen die niet altijd konden gesimuleerd worden.

Tabel 4: verschil in totale N opname tussen de simulaties en de adviezen op basis van de gedetailleerde N balans, en het verschil in advies (advies N balans - advies simulaties) na correctie voor verschil in N opname

Nr.	Teelt	N opname totaal		Δ advies gecorrigeerd voor Δ N opname
		simulaties	Gedetailleerde N balans	
1	rode kool	229	315	-4
2	witte kool	282	355	-11
3	bloemkool	240	240	36
4	bloemkool	251	240	17
5	prei	176	215	-56
6	knolselder	279	250	-38

2.3 EVALUATIE EN VERGELIJKING VAN DE ADVIEZEN

De analyse van de bovengenoemde adviezen was een cruciaal aspect van dit project en heeft ook een zeer grote tijdsinvestering gevraagd. De uitgebreide analyse van deze adviezen is echter op uitdrukkelijke vraag van de opdrachtgever niet in bijlage meegegeven om redenen van vertrouwelijkheid. We vatten hier dan ook de belangrijkste inhoudelijke punten samen. De vormelijke vergelijking van de adviezen maakt vooral deel uit van het tweede deel van de opdracht. Ook daar heeft het consortium veel tijd geïnvesteerd, maar worden de expliciete resultaten niet in bijlage gegeven opnieuw om redenen van vertrouwelijkheid.

Eerst werden de adviezen bekomen via PCA geanalyseerd, en pas daarna de adviezen verkregen via de VLM. De algemene bemerkingen bij de adviezen via PCA kunnen echter samen genomen worden met de adviezen bekomen via VLM (het gaat om dezelfde adviesverlenende instanties).



Algemene bemerkingen:

- Bodemkwaliteit is gewoonlijk gebaseerd op pH en BOS op basis van bodemtextuur, dus eigenlijk gewoon de vereisten uit de MTR. Er is wel een groot verschil in hoe duidelijk dit wordt weergegeven door de verschillende instanties. Er worden daarbij adviezen verstrekt om een te lage pH of te laag BOS gehalte te verhogen.
- Ook gelinkt met bodemkwaliteit worden bij één bepaalde adviesinstantie ook elementen van bodemstructuur meegenomen in het adviesrapport. De "potentiële" bodemstructuur wordt bv. beoordeeld op basis van de relatieve verhoudingen Ca/Mg/andere kationen op het uitwisselingscomplex, in 5 klassen, maar dit is uiteraard een zeer ruwe benadering en zegt nog niets over de effectieve bodemstructuur op het perceel. Ook verkruielbaarheid en risico op verslemping worden weergegeven, maar zonder concrete uitleg hoe dit gebeurt bij verkruielbaarheid. Dit kan enkel zeer benaderend zijn. Er zijn echter ook, voor zover wij kunnen zien, geen implicaties op het eigenlijke advies.
- Er wordt nog veel te veel P geadviseerd. De zeer duidelijk resultaten van onderzoek (waar de adviesbureau's nota bene aan meewerken/gewerkt hebben) worden duidelijk niet in de praktijk van de bemestingsadviezen geïmplementeerd. Zeer dringende actie is hier nodig om vooral de landbouwers bewust te maken (nu gaan ze ervan uit dat dit wel nog nodig is, gezien het geadviseerd wordt).
- Landbouwers blijken sommige gegevens wel te hebben maar niet door te spelen naar de adviesinstanties in het aanvraagformulier - werd hier opzettelijk afgetoetst of adviesinstanties er al dan niet naar zouden vragen? Dit is uiteraard niet logisch, en men kan dan uiteraard ook geen sluitend advies verwachten. Dit is volgens het consortium een gedeelde verantwoordelijkheid van aanvrager en adviesinstantie
- Er worden soms monsters genomen direct na minerale én organische bemesting, met zeer hoge (en wellicht zeer onbetrouwbare N_{min} metingen als gevolg (bv. PVDS_P2). Adviesinstanties moeten hiervan op de hoogte gesteld worden, of moeten zeker zelf zeggen dat dit eigenlijk bijna zinloos is.
- De reeds toegediende bemesting voor het nemen van de bodemmonsters wordt niet (altijd) opgevraagd maar is meestal heel duidelijk zichtbaar in de gemeten N_{min}. Nochtans wordt dit te weinig in rekening gebracht, bv. zeker in het N-index systeem van de BDB.
- Heel veel plaats gaat op naar zeer gedetailleerde vermeldingen van methodes, accreditaties, disclaimers, ... en algemeenheden waar weinigen een boodschap aan hebben. Dit zou beter duidelijk afgescheiden in een appendix worden samengebracht die eenvoudig van het eigenlijke advies te scheiden is.
- In principe zouden de adviezen in dezelfde richting moeten gaan want ze maken allemaal gebruik van een soort balansmethode. Maar een gedetailleerde vergelijking is bijzonder moeilijk omwille van het niet consequent al dan niet in rekening brengen van allerlei factoren. Het al of niet in rekening brengen van bepaalde factoren wordt ook niet verantwoord in de adviezen.



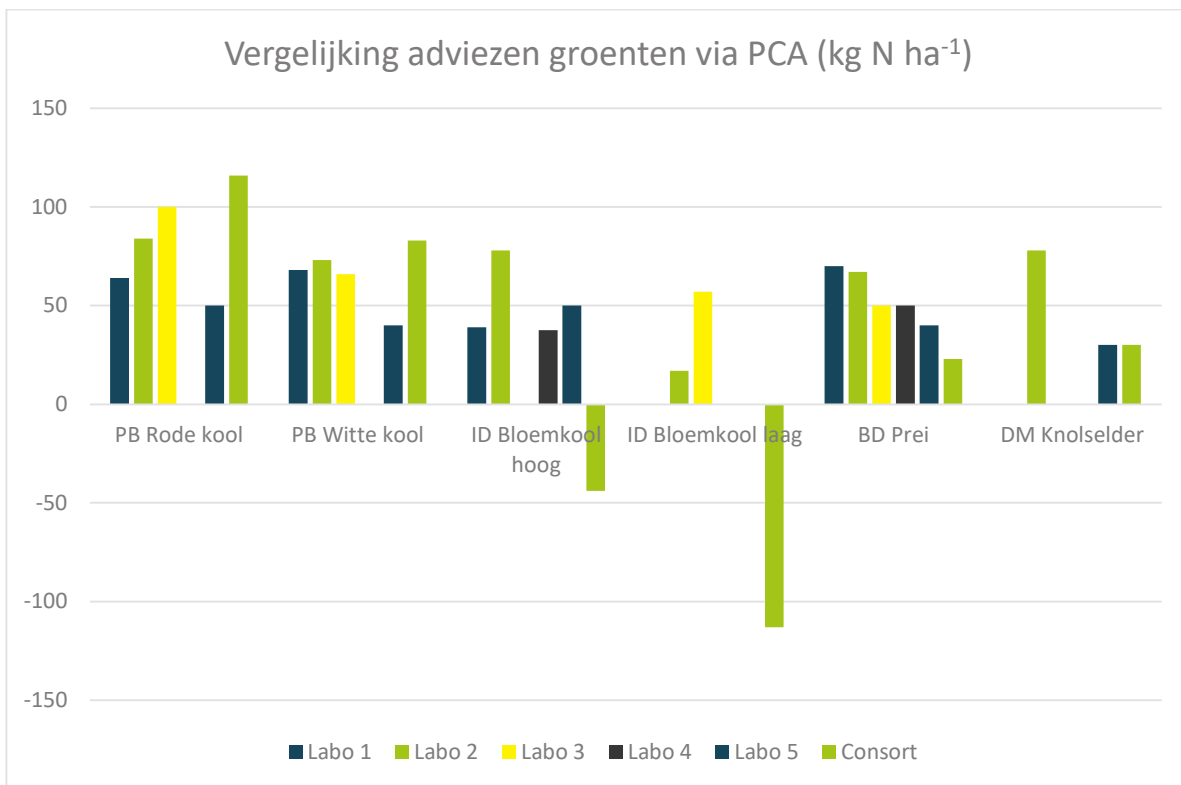
- P beschikbaarheidsklassen komen niet overeen met deze bepaald in de VLM studie "Milieukundig en economisch verantwoord fosforgebruik²" (Amery et al. 2019)
- Er wordt bijna steeds P bemesting geadviseerd ondanks de vaak hoge of heel hoge P toestand van de bodem; de P beschikbaarheidsklassen in Vlaanderen blijken een stuk hoger te liggen dan in het buitenland voor dezelfde P testmethode. Recent onderzoek in België (Vandermoere et al. 2021) heeft aangetoond dat bij hoge bodem P toestand (de overgrote meerderheid van de percelen) een P bemesting geen effect heeft op de gewasopbrengsten (na zes jaar van nulbemesting nog geen effecten te zien)
- De door de landbouwer aangeleverde informatie is zeer summier en laat niet echt toe om goede N adviezen te formuleren. Sommige adviesinstanties vragen dan bijkomende informatie, anderen doen dat nooit. In dat laatste geval is het advies eigenlijk niets meer dan de meting van een minerale N hoeveelheid in de bodem en een vermelding van de totale N behoefte van het gewas. De landbouwer wordt verondersteld met alles rekening te houden en eigenlijk zelf de berekeningen te doen.
- Samenhangend met vorige punt: Bij een van de adviesbureaus kunnen ook gedetailleerde adviezen verkregen worden waarbij bv. verschillende posten op de N balans aangegeven worden, en waarbij wel een specifiek N advies gegeven wordt en ook fractionering specifiek wordt aangegeven. De adviezen die wij hier ontvingen en vergeleken van dit bureau waren steeds veel eenvoudiger analyses met enkel de opgave van de gewasbehoefte. Vermoedelijk is de reden hiervoor de zeer gebrekkige aanlevering van data, waardoor de meer gedetailleerde adviezen niet konden afgeleverd worden.
- De N adviezen zijn vaak weinig doorgrondelijk, de verschillende componenten van de N balans die in rekening worden gebracht worden niet expliciet vermeld.
- Er wordt in de meeste gevallen enkel een N dosis berekend. Informatie over de "3 andere J's" beperkt zich tot generische vermeldingen van fractioneren van de N gift, en heel soms (eveneens generische) vermelding van de mogelijkheid tot bandbemesting. Een overzicht van de verwijzingen die we vonden naar de "3 andere J's" in de benchmarking wordt gegeven in Bijlage 9.

Het consortium heeft voor elke situatie ook een bemestingsadvies berekend adhv. de balansmethode (weliswaar met redelijk veel aannames wegens de beperkte hoeveelheid gegevens die werd aangeleverd). Dit advies moest berekend worden voor elke adviesinstantie afzonderlijk, gezien de verschillen in uitgangssituatie (verschillende meetresultaten van N_{min}, BOC, ...). De berekening van de adviezen door het consortium gebeurde met dezelfde gegevens als deze die door de adviesbureau's werden gebruikt, dus het consortium beschikte niet over meer gedetailleerde gegevens. De aanpak verschilde wel enigszins voor de twee reeksen adviezen:

- bij de adviezen bekomen via PCA werden telkens de door de verschillende adviesinstanties opgemeten cijfers voor minerale N in het bodemprofiel en voor BOC gehalte gebruikt, m.a.w. het advies werd per adviesinstantie door het consortium opnieuw berekend voor ieder perceel

² https://www.vlm.be/nl/themas/waterkwaliteit/Mestbank/Achtergrond/cijfers-en-studies/afgeronde_studies/Milieukundig-en-economisch-verantwoord-fosforgebruik/Paginas/default.aspx

- bij de adviezen bekomen via PCA werden meestal geen afzonderlijke BOC gehalten opgemeten door de verschillende adviesinstanties, en lagen de minerale N metingen veel dicht bij elkaar (in vergelijking met de metingen op de VLM percelen). Deze adviezen werden daarom berekend op basis van één enkel BOC gehalte per perceel, en een gemiddeld Nmin residue per perceel, m.a.w. één door het consortium berekend advies per perceel.

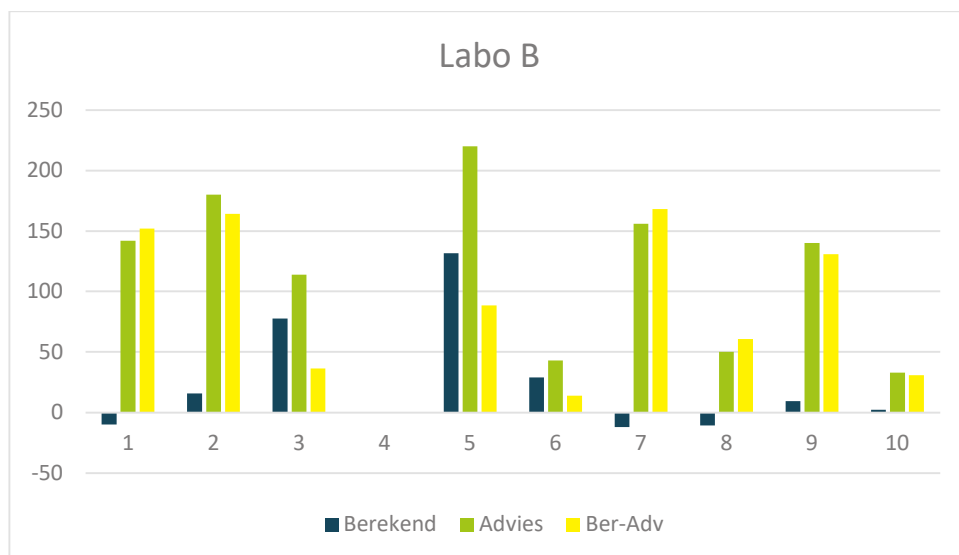
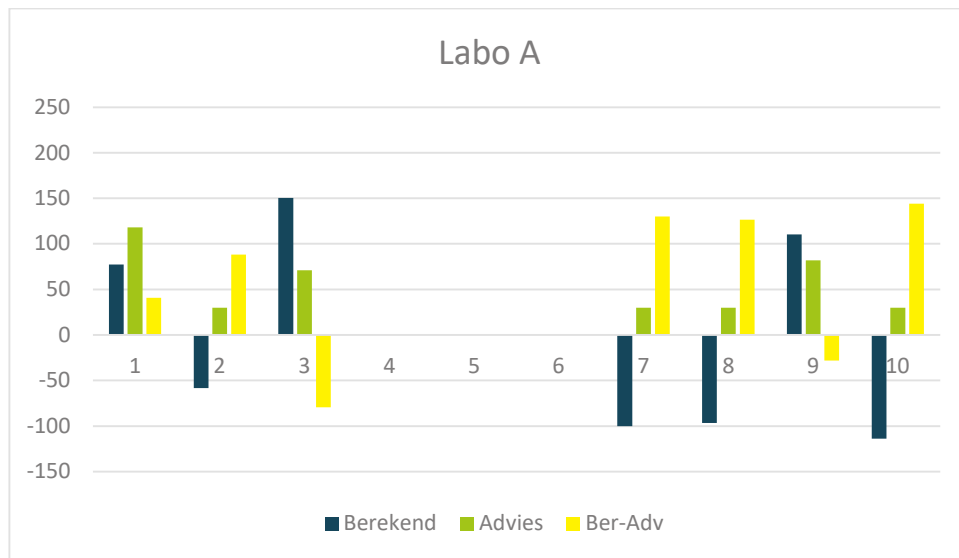


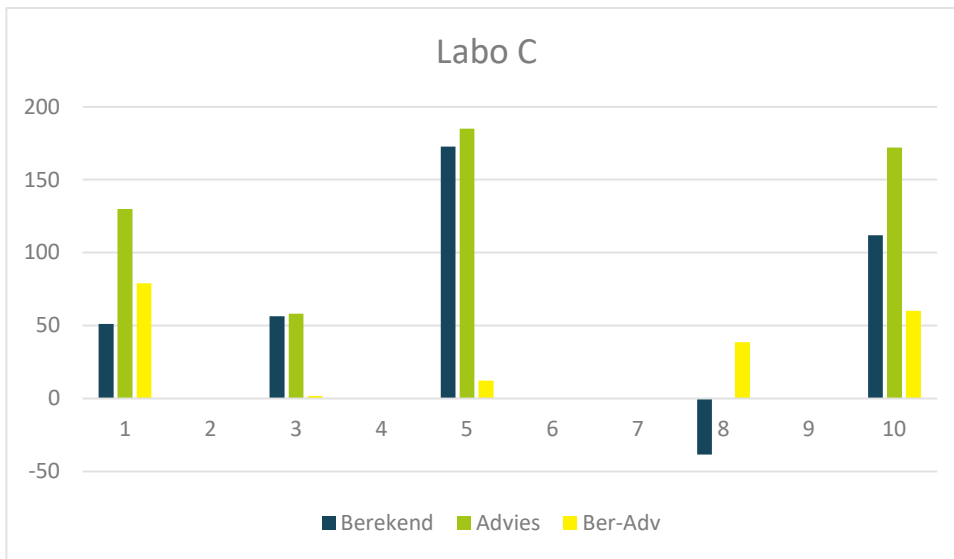
Figuur 16: Adviezen bekomen via PCA (enkel groenten): vergelijking van de door vijf instanties (Labo's 1, 2, 3, 4, 5) geleverde N bemestingsadviezen met de door het consortium (Consort) berekende adviezen op basis van de N balansmethode. Negatieve adviezen duiden op een overschot op de N balans vóór N bemesting.

Bij de via de VLM bekomen adviezen bleken de ontvangen N-bemestingsadviezen in veel gevallen vrij hoog te liggen, en vaak niet in overeenstemming met de N balans. Vergelijking van de adviezen met onze berekende adviezen wezen op een bijna systematisch hoger advies bij de verschillende instanties (Figuur 17). Uiteraard zijn de adviezen berekend door het consortium ook maar een advies, dat niet noodzakelijk tot een beter resultaat leidt dan de adviezen geleverd door de adviesinstanties. Nochtans is het aannemelijk dat het advies door het consortium nauwkeuriger de verschillende componenten van de N balans in rekening brengt. Deze

berekeningen werden immers zeer minutieus uitgevoerd, en gebruik makend van de best beschikbare kennis, samengebracht uit verschillende eerdere studies.

Globaal genomen lijkt er zeker ruimte te zijn om adviezen te verlagen zonder dat de opbrengst in het gedrang komt.





Figuur 17: Adviezen bekomen via VLM: vergelijking van de door drie instanties (Labo's A, B, C) geleverde N bemestingsadviezen met de door het consortium berekende adviezen op basis van de N balansmethode (blauw: door consortium berekend; oranje: advies door labo; grijs: verschil in N advies). Negatieve adviezen duiden op een overschot op de N balans vóór N bemesting.

2.4 KLIMAATROBUUSTHEID VAN ADVIEZEN EN ADVIESSYSTEMEN

2.4.1 Link met klimaatrobustheid binnen bestaande adviessystemen

De klimaatverandering wordt de laatste jaren in versneld tempo voelbaar, met als grootste impact op de landbouw momenteel wellicht de hete en droge zomers. Klimaatverandering zal impact hebben op opbrengsten, op de aard van de teelten die in Vlaanderen kunnen en zullen verbouwd worden, op opbrengsten en N en P opname van gewassen, op de grootte en de timing van de N mineralisatie, op de efficiëntie van nateelten en vanggewassen, op de P beschikbaarheid, ... Effecten van klimaatverandering kunnen in twee richtingen gaan (zowel verhoging als verlaging van opbrengsten voor specifieke teelten). Door vermindering van de jaarlijkse percolatie (hogere evapotranspiratie en veranderende neerslagpatronen) kan de waterkwaliteit bij gelijkblijvende inputs verder in het gedrang komen (toename van N en P concentraties louter als gevolg van 'indikking' van het percolerende water), terwijl anderzijds in extreem natte jaren net bijkomende verdunning zou kunnen optreden. Het is duidelijk dat dit alles een grote uitdaging vormt voor het formuleren van economisch en milieukundig verantwoorde bemestingsadviezen vooral voor N. Bemestingsadviessystemen kunnen omwille van de concepten die ze gebruiken al dan niet aangepast worden om deze veranderende omstandigheden in rekening te brengen.



2.4.2 Binnen de benchmarking

De verschillende adviessystemen en adviezen werden dan ook geanalyseerd naar de mate van klimaatrobuustheid binnen dit project. Vaak wordt hierbij gedacht aan meer frequente en langdurigere droogtes, maar ook langdurige zeer natte periodes kunnen danig interfereren met de bemestingspraktijk. Alle adviezen werden in detail gescreend naar aanknopingspunten met klimaatrobuustheid, maar dit leverde geen expliciete resultaten op. Wel kunnen bepaalde onderdelen van adviezen gezien worden als een onrechtstreekse mogelijke bijdrage tot klimaatrobuustheid. De voorbeelden hiervan in de adviezen zijn:

- het adviseren van gefractioneerde bemesting, zoals bij een aantal adviezen werd gedaan, zij het vaak op een zeer generische manier: fractioneren van bemesting is wellicht de eenvoudigste maatregel om de impact van weersomstandigheden in rekening te brengen bij een bemestingsadvies. Nochtans is er in die adviezen waar fractionering wordt aangeraden geen expliciete link naar weersomstandigheden of een mogelijk veranderend klimaat.
- het op peil houden van de bodemkwaliteit, en vooral dan het organische stofgehalte. Dergelijk advies is louter gebaseerd op de MTR normen voor organische koolstofgehaltes van bodems, en niet als dusdanig bedoeld voor klimaatadaptatie. Maar het verhogen van een laag BOC gehalte of op peil houden van een voldoende hoog BOC gehalte is wellicht de tweede meest effectieve maatregel om negatieve effecten van klimaatverandering op bodem en gewas te verminderen. Een hoger BOC gehalte verhoogt het waterhoudend en waterbufferend vermogen van een bodem (zowel bij extreem droog als extreem nat weer), en kan dus nutriëntenefficiëntie verhogen, de impact van extreme weersomstandigheden op N opname en opbrengst verminderen, en finaal ook nutriëntenverliezen verminderen.

Andere mogelijke opties voor klimaatadaptatie van bemestingsadviezen en bemestingspraktijken (verder uitgewerkt in het deel "Aanzetten tot het verhogen van klimaatrobuustheid van adviessystemen in de toekomst") zoals keuze voor een bepaald type meststof, het aanpassen van de opbrengsten en N opnames van teelten (zowel naar boven als naar beneden), het veranderen van start en einde van groeiseizoenen, ... kwamen niet voor in de onderzochte adviezen en adviessystemen.

2.4.3 Aanzetten tot het verhogen van klimaatrobuustheid van adviessystemen in de toekomst

Er zijn zowel in België als in het buitenland al analyses gedaan van de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op bemesting, bemestingsadviessystemen, en de mogelijke gevolgen voor de milieuperformantie en in het bijzonder de waterkwaliteit. Hier worden de voornaamste aandachtspunten en mogelijk pistes weergegeven, inclusief met een aantal aandachtspunten voor het beleid.

2.4.3.1 Mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor bemestingsadviessystemen

Nodige aanpassingen aan parameters

Bemestingsadviessystemen maken gebruik van een aantal (soms zeer veel) parameters die gebaseerd zijn op onderzoek en cijfers uit het verleden, soms nog daterend van decennia terug. Een groot deel van die parameters is gevoelig aan de gevolgen van klimaatverandering, met name:



i) Gewasopbrengsten en N opname

Potentiële gewasopbrengsten (en dus ook N opname) kunnen in de toekomst systematisch verhogen, maar ook de verschillen tussen maximale en tegenvallende opbrengsten kunnen sterk toenemen door wisselende extreme weersomstandigheden. Redenen voor toenemende potentiële opbrengsten kunnen bv. zijn:

- toename van de temperatuursommen tijdens het groeiseizoen
- verlenging van het groeiseizoen
- verhoging van de atmosferische CO₂ concentraties (vooral dan bij C4-gewassen)
- verhoging van de instraling
- verandering van ziekte- en plaagdruk

Een aantal van deze factoren kunnen in twee richtingen werken (zowel positieve als negatieve invloed mogelijk), bv. ziekte- en plaagdruk kan zowel af- als toenemen, droogtestress kan af- of toenemen, ... en door toename van extremen (extreem droog versus extreem nat) zullen opbrengsten dus veel sterkere jaarschommelingen vertonen. Dit betekent ook dat doelfuncties voor N opname in bemestingsadviessystemen in de toekomst zullen moeten aangepast worden om deze nieuwe realiteit te reflecteren. Moeilijkheid hierbij is uiteraard dat dit een geleidelijke evolutie zal zijn, en dat dit continue monitoring en experimenten zal vereisen om dit nauwkeurig te kunnen begroten.

ii) Grotere onzekerheid van weersinvloeden

Onverwachte en extreme weersomstandigheden kunnen zelfs de best berekende bemestingsadviezen waardeloos maken, bv. door een slechte gewasopkomst, sterke ziekte- of plaagdruk, droogtestress of wateroverlast, uitspoeling van meststoffen, sterk verminderde mineralisatie uit bodemorganische stof, ... Dit kan onmogelijk in een advies worden ingecalculeerd, en de enige mogelijkheid om hier deels mee om te gaan is grote voorzichtigheid

iii) Wijzigende rotaties en gewassen

Door de klimaatverandering (en onder invloed van wijzigend voedingspatroon, eiwittransitie, ...) kunnen nieuwe gewassen wellicht met succes op significante schaal verbouwd worden, bv. soja, linzen, kikkererwten, zoete aardappel, yacon, quinoa, nieuwe types vanggewassen en/of groenbemesters, ... Van deze gewassen is nog relatief weinig geweten omtrent opbrengsten en N opname, N binding, oogstresten, ... onder onze klimaatomstandigheden en in onze bodems. Mogelijks kunnen ook ongewone rotaties beginnen voorkomen, bv. in het geval van nog verder zachter wordende winters is het niet uitgesloten dat bepaalde vollegrondsgroenten ook in de winter kunnen verbouwd worden (cfr. situatie in Bretagne), wat bemestingsadviezen voor de uitdaging plaatst van veranderende teeltduur en potentiële opbrengsten en N opnames, wijzigende bijdrage van mineralisatie, ...



2.4.3.2 Suggesties om adviessystemen klimaatrobuuster te maken

i) Regelmatig updaten van opbrengstverwachtingen: op basis van resultaten van proefveldonderzoek of uit de praktijk moeten opbrengsten en N opname zo actueel mogelijk worden gehouden. Gezien het weinig realistisch is om dit te verwachten van individuele adviesinstanties **pleit dit ook voor een gecentraliseerde aanpak bij het verzamelen van dergelijke gegevens**, met het brede gebruik van gegevens waarrond consensus wordt gevonden.

ii) In rekening brengen van nieuwe gewassen in rotaties en van wijzigingen in rotaties: er moet bijkomende kennis worden opgebouwd omtrent de agronomische parameters van nieuwe gewassen zoals hierboven aangegeven. Dit onderzoek moet zoveel mogelijk aspecten omvatten zoals potentiële opbrengsten, N opname, verhoudingen afvoer van N met oogst/N in oogstresten, N binding in geval van vlinderbloemigen, droogtegevoeligheid, ...

De hierboven aangegeven aanpassingen vereisen uiteraard dat adviessystemen zeer dynamisch zijn en gemakkelijk kunnen aangepast worden aan mogelijks snel veranderende omstandigheden. Het zou dan ook goed zijn om bestaande adviessystemen te bevragen naar de flexibiliteit waarmee ze aangepast kunnen worden en nieuwe informatie kan ingebracht worden. Er bestaan momenteel zeker verschillen in de mate van flexibiliteit van adviessystemen.

Naast deze eerder conceptuele aanpassingen van adviessystemen moet ook bekeken worden hoe via de "3 andere J's" (timing, plaatsing, type) een grotere klimaatrobuustheid kan ingebouwd worden. Hoewel dit eerder een deel is van Luik 2 van dit project geven we hier al kort aan welke mogelijkheden hiertoe bestaan.

i) Maximaal toepassen van gefractioneerde bemesting: uit verschillende rapporten (CDM, 2020; Nawara et al. 2021) blijkt dat het fractioneren van de stikstofbemesting wellicht de belangrijkste maatregel is die kan genomen worden om N efficiëntie zo hoog mogelijk te houden bij extreme weersomstandigheden. Gefractioneerde bemesting, liefst in zoveel mogelijk fracties, laat immers toe om direct te anticiperen op bepaalde ontwikkelingen in de gewasgroei als gevolg van bv. extreme weersomstandigheden. Bijmesten van stikstof in granen heeft reeds wijdverspreid in Vlaanderen zijn toepassing gevonden. Bij granen wordt ook vaak gesproken over het toedienen van de bemesting in verschillende fracties. Voor wintergraangewassen in onze gebieden werd aangetoond dat eenzelfde stikstofdosering toedienen via deelgiften tot een hoger economisch rendement leidt. Standaard worden drie fracties toegepast, waarbij elke graansoort zijn eigen kenmerken heeft om tot een optimaal fractioneringschema te komen (Nawara et al. 2021).

ii) In een vergelijkbare categorie kan ook het gebruik van slow of controlled release fertilizers (CRF) geplaatst worden, hoewel ook daar een volledige bemesting in één maal mogelijke problemen niet steeds zal oplossen (men kan nog steeds met een overschot aan minerale N in de bodem het seizoen eindigen). De mogelijkheden voor SRF en CRF werden in een uitgebreide literatuurstudie onderzocht door Nawara et al. (2021).

iii) Andere opties zijn bladbemesting, of in geval voldoende water aanwezig zou zijn fertigatie. Het volledig invullen van een N bemesting via bladbemesting is evenwel niet mogelijk. De resultaten met N bladbemesting zijn ook variabel. Als surplus bovenop een volledige basisbemesting, zoals N-bladmeststoffen tegenwoordig in de praktijk vaak gebruikt worden, bleken N-bladmeststoffen algemeen geen positief effect te hebben op

de opbrengst of de kwaliteit van aardappelen in 2016-2018 (Vanrespaille et al. 2019). Van Geel et al. (2011) verwezen naar een studie van ALTIC in de periode 2005-2010 in opdracht van Cebeco Meststoffen waar bleek dat bij aardappelen het volledig vervangen van de stikstofbasisbemesting door een volledige toepassing als periodieke bladbemesting tot een sterke opbrengstdaling leidde. Fertigatie lijkt in de meeste teelten niet onmiddellijk realiseerbaar, met beschikbaarheid van water en kost als beperkende factoren. Toch is er bij landbouwers die wel water ter beschikking hebben mogelijk interesse na de afgelopen droge jaren. Deze aspecten behoren in feite ook tot de analyse van de "4 J's" en zullen daar nog verder geanalyseerd worden.

iv) In scenario's van klimaatverandering kan de biologische landbouw mogelijks beter gewapend zijn tegen inefficiënt nutriëntengebruik, omdat de gebruikte meststoffen per definitie slow release zijn (organisch materiaal waaruit de N voor een groot deel eerst door mineralisatie moet vrijgesteld worden). Dit zal echter ook sterk van de omstandigheden afhangen, gezien een te sterk geremde mineralisatie als gevolg van grote droogte bv. ook tot N gebrek zou kunnen leiden, en een te sterke N vrijstelling op het einde van het seizoen. Anderzijds zijn bodem organische stofgehalte en bodemkwaliteit wellicht vaak hoger in de biologische landbouw, wat de weerbaarheid van de bodem en de gewassen tegen de effecten van klimaatverandering kan verhogen en dus de negatieve effecten mitigeren.

2.4.3.3 Aandachtspunten voor beleid

De impact van klimaatverandering zal ook nieuwe uitdagingen stellen voor het beleid, zowel op het vlak van nieuwe regelgeving als op het vlak van controle en handhaving. We geven hiervan enkele voorbeelden.

i) Door grotere schommelingen in weersomstandigheden (zeer droge versus zeer natte jaren) zal er ook grotere temporele variatie zijn in milieuproductie van de landbouw, in het bijzonder nitraatuitspoeling. Drogere jaren geven aanleiding tot minder nitraatuitspoeling uitgedrukt in nitraatvrachten ($\text{kg ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$), en dus minder nitraataanvoer naar grond- en oppervlaktewater. In natte (na)jaren zal alle nitraatstikstof die zich nog in het profiel bevindt uitspoelen en zal er dus meer nitraatuitspoeling zijn uitgedrukt in vrachten. Maar meer dan de vrachten zijn de concentraties van belang, gegeven dat het beleid gebruik maakt van nitraatconcentraties in grond- en oppervlaktewater als indicatoren voor milieukwaliteit. Dit kan leiden tot de ogenschijnlijk paradoxale situatie waarbij minder nitraat als vracht verloren gaat, maar waarbij de nitraatconcentratie in het uitspoelende bodemwater wel hoger is dan in zeer natte jaren wanneer een grotere nitraatvracht uitspoelt. De impact hiervan op de evolutie van de waterkwaliteit, vooral van het oppervlaktewater, hangt dan af van de wijzigende verhouding tussen de bijdrage van de snelle component van het bodemwater/grondwater tot het totale debiet van dit oppervlaktewater. Voor grondwater zou een systematische verdroging onvermijdelijk resulteren in een verhoging van de nitraatconcentraties (bij gelijkblijvend mestbeleid).

De grootste moeilijkheid voor het beleid situeert zich op korte termijn wellicht op (veel) grotere schommelingen in bv. de resultaten van oppervlaktewaterkwaliteit, in eerste instantie in landbouwgebieden, die zullen te maken hebben met een combinatie van mestgebruik en weersfenomenen. Gezien de langere termijn voorspellingen van hoe het klimaat gaat evolueren hoogst onzeker zijn kan hier niet op geanticipeerd worden, maar een globale vernatting van het klimaat zal op langere termijn aanleiding geven tot lagere nitraatconcentraties, terwijl een globale verdroging en dus minder drainage op langere termijn aanleiding zal geven tot hogere nitraatconcentraties.

ii) Veranderende weersomstandigheden zullen zich ook vertalen in een (veel) grotere variatie in nitraatresiduen. Dit kan te wijten zijn aan (een combinatie van) verschillende factoren, bv. sterk tegenvallende opbrengsten door droogte versus nieuwe topopbrengsten, slechte werking van toegediende bemesting door droogte of door uitspoeling aan het begin van het groeiseizoen, discontinue mineralisatie (bv. zeer laag bij extreme droogte, gevolgd door een zeer grote puls bij de daaropvolgende eerste neerslag), ...

3 FOCUSGROEP 1: HET 'IDEALE' BEMESTINGSADVIESSYSTEEM

3.1 ALGEMEEN EN DOELGROEP

De focusgroepen vormen een cruciale schakel in dit project, en zijn samen met de enquête de belangrijkste momenten van interactie met de stakeholders (in het bijzonder de landbouwers/landbouwvoorlichters en de adviesinstanties). Focusgroep 1 werd minutieus voorbereid, met inbegrip van een gedetailleerd draaiboek met timing. Volgende instanties werden uitgenodigd tot deelname aan de focusgroep:

- Landbouwers
 - Landbouwers die deelnamen aan de enquête werden ook expliciet uitgenodigd tot deelname aan de focusgroep
- Landbouwvoorlichters
 - Praktijkcentra plantaardige productie
 - Onafhankelijke/neutrale teeltvoorlichters (bv. TACO)
 - Ook deze landbouwvoorlichters werden via de enquête expliciet uitgenodigd tot deelname aan de focusgroep
- Landbouworganisaties
 - Boerenbond
 - ABS
- Overheidsinstellingen
 - Departement landbouw en visserij
- Advies verlenende instanties (actief in Vlaanderen)

- Bodemkundige Dienst van België vzw.
- Eurofins Agro
- Inagro vzw
- Provinciaal proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen vzw.
- Proefstation voor de Groenteteelt vzw.
- Irbab
- LCV
- LCG
- Onderzoeksinstituten
 - Proefcentra
 - ILVO
- Meststoffenfabrikanten/leveranciers

Anderzijds was de bedoeling het aantal deelnemers ook te beperken om de discussies vlot en efficiënt te laten verlopen (max. 20-25 deelnemers). Uiteindelijk werden een twintigtal inschrijvingen voor de focusgroep genoteerd, maar de laatste dag voor de focusgroep haakten nog een aantal deelnemers af, o.a. omwille van coronaperikelen. Oorspronkelijk was de focusgroep eind oktober gepland, maar deze datum werd uitgesteld teneinde de resultaten van de enquête ook te kunnen gebruiken als startpunt voor de discussies. De focusgroep vond plaats op 26/11/2021. Gelukkig kon deze focusgroep nog fysiek doorgaan, met name bij PCA.

Binnen de focusgroep kwamen volgende drie thema's aan bod:

Thema 1: Welke gegevens hebben we nodig om een gedegen bemestingsadvies te formuleren

Thema 2: Hoe worden het bemestingsadvies en de invulling ervan het best geformuleerd

Thema 3: Wat motiveert een teler om een bemestingsadvies op te vragen en op te volgen

Er werd zowel met plenaire als in twee groepen gewerkt. De opsplitsing in groepen gebeurde volgens landbouwers/landbouwvoorlichters/landbouworganisaties enerzijds en adviesverlenende instanties/onderzoeksinstituten anderzijds.



Gezien het belang van deze focusgroepen als input voor het verdere project geven we hieronder de belangrijke discussiepunten weer die tijdens de behandeling van de drie thema's naar voren kwamen. Voor meer gedetailleerde informatie over deze focusgroep (inclusief uitgebreid rapport) verwijzen we naar Bijlage 10a-f.

3.2 THEMA 1: WELKE GEGEVENS HEBBEN WE NODIG OM EEN GEDEGEN BEMESTINGSADVIES TE FORMULEREN

- Er is een algemene consensus dat in eerste instantie reeds gevraagde teelt en perceel informatie al volledig zou moeten worden ingevuld door de landbouwer/voorlichter. In de praktijk blijkt immers dat velden met een mogelijk bepalende impact op de bodem N balans vaak worden opengelaten. Diverse redenen liggen aan de oorsprong: 1° te weinig tijd bij landbouwer/voorlichter en 2° zeer beperkte motivatie bij landbouwer om adviesaanvraag degelijk in te vullen indien opgelegd vanuit mestwetgeving verplichtingen. De aanwezige landbouwers/voorlichters zijn er wel van overtuigd dat huidige meestal gevraagde informatie belangrijk is voor opmaak van een goede N en P balans.
- Een betere invulling van bemestingsadviezen vergt een voldoende contact tussen staalnemer/adviseur en de landbouwer. Er wordt zelfs geopperd dat een adviseur het perceel zou moeten gezien hebben alvorens een advies te geven. De rol van de staalnemer is dus aanzienlijk, maar tegelijk leeft het besef dat een sterkere interactie met de landbouwer ook een hogere prijs per advies met zich mee zal brengen.
- Meest waardevolle aanvullingen bij bestaande formulieren: tijdstip inwerken voorafgaand vanggewas & ontwikkeling (bv. Zeer goed/normaal/matig) - opbrengstpotentieel perceel (relatief t.o.v. gangbare oogstopbrengsten) - eerder dan vragen te stellen aan landbouwers rond graad van compactie perceel, droogtegevoeligheid, structuurtoestand of drainering aangezien deze moeilijk gestandaardiseerd en objectief kunnen worden ingeschat.
- De algemene bodemkwaliteit moet in orde zijn; pH blijkt vaak nog een belangrijk aandachtspunt
- Seizoenspacht blijkt een groot probleem voor het aanleveren van voldoende en correct informatie omtrent een perceel. Meer algemeen hebben bepaalde vormen van seizoenspacht (indien niet in een goed uitgekend rotatieverband) mogelijk een nefaste invloed op bodemkwaliteit; dit is een heel belangrijk aandachtspunt
- Er zou een inschatting moeten gemaakt worden van het mineralisatiepotentieel van een perceel; dit zou echter een zeer dure analyse zijn; mogelijk betere inschatting door meting totale N ipv. enkel organische C (dan ook C/N verhouding beschikbaar)
- Meerwaarde van geautomatiseerde ingave van reeds gekende perceel info via VLM (bv. voorafgaande teelten 2-3 jaar terug) of advies verlenende labo's (bv. perceelseigenschappen zoals pH, BOC, ... uit bouwvoor analyses). Er zal wellicht zich een probleem voordoen bij geautomatiseerde doorgeven van info

//

naar landbouwers die verplicht worden tot aanvraag van adviezen (en weinig geïnteresseerd zijn in dit advies) of landbouwers die dit laten invullen door accounts adviseurs. In dat geval zal doorstroom van info uit bv. SNapp slecht zijn.

- Het is belangrijk dat de algemene cijfers gebruikt in een advies (N opname gewas, N buffer, N inhoud en N beschikbaarheid uit organische meststoffen, groenbemesters, oogstresten) zoveel mogelijk geüniformiseerd worden
- In Nederland stelt de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroenten een beoordelingssystematiek voor bemestingsadviezen in het Handboek Bodem en Bemesting. Sinds 2006 hanteert de CBAV voor de beoordeling van N-bemestingsadviezen het protocol voor de actualisatie van bemestingsadviezen voor stikstof van de Commissie Deskundigen Meststoffenweg (CDM). Dit kan adviezen tussen verschillende labo's veel dichter bij elkaar brengen, gezien gewerkt wordt met cijfers waar een globale consensus over bestaat, zoveel mogelijk op basis van wetenschappelijk onderzoek.
- Er zou kunnen gewerkt worden met een gedetailleerd bodempaspoort, dat niet alleen administratieve en teeltgegevens bevat, maar ook info omtrent bodemparameters, ook uit het verleden, opbrengstpotentieel, ... De data hierin zouden op gepaste tijden beschikbaar kunnen gemaakt worden voor adviesinstanties
- Adviezen liggen vaak redelijk ver uit elkaar; dit ondermijnt het vertrouwen van de landbouwer in adviezen; ook analysesresultaten zijn soms sterk uiteenlopend, en de reden hiervoor is niet direct te duiden
- Landbouwers zijn te weinig op de hoogte van de verschillende N leverende processen/factoren
- Steeds vaker komen 'samengestelde percelen' voor, met in het voorafgaande jaar verschillend beheer. In dergelijke situaties wordt opmaak van een algemeen N-bemestingsadvies problematisch.

3.3 THEMA 2: HOE WORDEN HET BEMESTINGSADVIES EN DE INVULLING ERVAN HET BEST GEFORMULEERD

- Opvallend is dat uit de enquête niet echt een zeer grote vraag is naar tijdstip, plaatsing (techniek) of type meststof, en dit wordt in de daaropvolgende discussie verder besproken a.d.h.v. een korte poll met vragen naar het potentieel van de timing, plaatsing en type bemesting om bemesting efficiënter te maken.
- Uit de discussie blijkt dat deze vier 4 J's onlosmakelijk verbonden zijn en vooral dat het antwoord telkens zeer sterk teeltafhankelijk is. De timing wordt algemeen gezien als de belangrijkste van deze overige 3 J's. Het algemene aanvoelen is dat met plaatsing en type meststof mogelijks winsten te boeken zijn maar dat dit bescheiden zal zijn (grootteorde 10%, maar niet echt gestaafd door harde cijfers). Er wordt ook opgemerkt dat plaatsing en type meststof bedoeld (moet) zijn om hogere opbrengsten te halen binnen de beperkte bemestingsruimte, eerder dan om verder op N meststoffen te besparen.

i) Timing



- Pleidooi voor een basisbemesting die eventueel beperkt kan gehouden worden, en een bijbemesting in de loop van de teelt op basis van N_{min} bepalingen, wat in essentie de filosofie van het KNS systeem is (waarvan het potentieel in het VLM project KNS uitgebreid bestudeerd werd); zeker van belang bij bv. groenten die ook nog een stuk in het najaar blijven doorgroeien en N opnemen
- Bij bijbemesting kan de stand van het gewas in rekening worden gebracht: bij een zeer goed ontwikkeld gewas kan de bemestingsdosis verminderd worden, maar dit enkel op voorwaarde dat bij een minder goede ontwikkeling de reden niet ligt bij niet-N gerelateerde problemen (bv. structuur, slechte drainage, droogte, ...) want dan heeft toedienen van extra N uiteraard geen zin
- Effectief gebruik maken van een goede timing veronderstelt een korte tijd tussen aanvraag advies en het ontvangen van het advies (zie ook Thema 3). Algemeen is het aanvoelen dat tijd tussen aanvraag en afleveren van het advies te lang is
- Vermelden in het aanvraagformulier van vermoedelijke oogstdatum wordt als belangrijker ervaren dan vermelden van verwacht opbrengstniveau.

ii) Plaatsing

- Effect is terug zeer sterk teeltafhankelijk, wel voordeel gezien bij een aantal groenten
- Band/rijen/puntbemesting kan leiden tot lagere algemene N benutting doordat beworteling vooral beperkt blijft tot de zone van bemesting, waardoor bv. N vrijkomend uit mineralisatie tussen de rijen niet kan opgenomen worden; uit de algemene ervaringen blijkt echter een iets hogere N benutting bij geplaatste bemesting
- Een groot voordeel is het vermijden van stroken van overlap bij bemesting, vooral op kleinere percelen
- Bij plaatsing moet opgelet worden met het type meststof om wortelverbranding van gevoelige teelten te vermijden (bv. Bloemkool)
- Aandachtspunt is het nemen van representatieve monsters bij geplaatste bemesting

iii) Soort

- Dit lijkt de minst belangrijke van de 3 J's te zijn, maar dit is terug zeer sterk teeltafhankelijk
- Traagwerkende meststof kan alternatief zijn voor teelten waar je moeilijk kan fractioneren, bv. spinazie

Globaal besluit van de 4 J's lijkt te zijn dat ze zeer sterk samenhangen, maar dat het potentieel om met de "3 andere J's" winst te boeken (d.w.z. N uit te sparen) beperkt is tot bepaalde teelten, en dat de winst meestal beperkt zal zijn. Dit leidt tot volgende waarderingslijst van de 4 J's (1 = zeer belangrijk, 4 = veel minder belangrijk):

1: Dosis, 2: Tijdstip, 3: Techniek, 4: Type



3.4 THEMA 3: WAT MOTIVEERT EEN TELER OM EEN BEMESTINGSADVIES OP TE VRAGEN EN OP TE VOLGEN

Hieronder wordt weergegeven wat als redenen werd opgegeven voor het niet opvolgen van adviezen

i) Praktisch

- Het tijdsverloop tussen aanvraag en advies is vaak te groot. Dit probleem zal (zo vreest men) enkel groter worden indien bij toekomstige heroriëntering van het MAP richting meer verplichte bemestingsadviezen. Nochtans blijkt de tijd tussen staalname en advies vrij beperkt (enkele dagen); het is vooral de tijd tussen aanvraag advies en staalname die kan oplopen, vooral als gevolg van meestal de te laattijdige aanvragen (dag op voorhand); landbouwers moeten dit beter inplannen, nu moet men het advies via SNapp aanvragen in plaats van zoals vroeger rechtstreeks naar het labo te bellen.
- De normen zijn vastgelegd voor breedwerpige bemesting
- De normen worden vaak als te laag ervaren voor maximale opbrengsten; de landbouwer kan niets met het advies aanvangen indien dit hoger is dan de norm; vooral landbouwers met enge teeltrotaties komen N tekort
- Sommige landbouwers zullen het advies zelfs nooit lezen omdat het op hun emailadres terechtkomt dat ze nooit openen. Er bestaat inderdaad een groep landbouwers die nagenoeg niet te bereiken is voor welke communicatie dan ook. Deze groep zal binnen enkele jaren geleidelijk aan verdwijnen, maar tot dan is er weinig dat men kan doen om hen ook mee te krijgen in het verhaal van efficiëntere bemesting.

ii) inhoudelijk

- Vooral bij najaarsteelten is er bij de landbouwer vaak twijfel rond de validiteit van verleende N-bemestingsadviezen. Bovendien rapporteren voorlichters een zeer grote spreiding op adviezen van verschillende instanties voor najaarsteelten. Dit leidt tot een algemeen verminderd vertrouwen bij landbouwers in verleende adviezen.
- Een vooropstelling van verwachte nitraatresidu wordt als erg riskant beoordeeld – in de praktijk zullen residuen zeer dikwijls sterk afwijken
- Het feit dat de telers zijn bemesting soms laat afwijken van het advies wordt als positief onthaald. Ook hier pleit men voor gezond boerenbestand om te beoordelen of een geadviseerde bemesting uitvoeren raadzaam/zinvol is. Dit lijkt nuttiger dan een reeks van keuze opties/voorwaardelijke opties op te nemen in een bemestingsadvies dat aangeeft wat men moet doen onder bepaalde omstandigheden (zie ook iets verder finale opmerking hierover).

iii) economisch

//

- Veel kleine percelen: in de praktijk vragen landbouwers geen adviezen aan voor kleine percelen, wegens te duur. Precieze dosering is ook moeilijk op kleine percelen door meer overlap tijdens bemesting.
- Het zou beter zijn om het aantal percelen voor verplicht advies sterk te reduceren en er enkele representatieve percelen uit te pikken waar een advies gegeven wordt, en dat kan geëxtrapoleerd worden naar andere percelen; de motivatie van de landbouwer is nihil bij een te groot aantal verplichte staalnames en adviezen, waardoor die adviezen dan ook geen enkele waarde meer hebben
- Het juist opvolgen van adviezen vereist de inzet van kunstmest, en met de huidige kunstmestprijzen zal het gebruik wellicht drastisch verminderen
- De praktijk leert dat het niet zinvol is om op alle percelen stalen te nemen. Percelen met een vergelijkbare voorgeschiedenis zullen in het voorjaar hetzelfde advies krijgen. De vraag rijst wat de meerwaarde dan is om op alle deze percelen stalen te nemen. Is het niet zinvoller om stalen te nemen op 1 of meerdere percelen die representatief kunnen zijn voor de bulk van de kleine percelen die de teler heeft. Dit zal de motivatie om effectief adviezen op te volgen potentieel verhogen.

Naar aanleiding van deze focusgroep werd ook door het consortium een eerste aanzet gegeven voor het opstellen van een meer gedetailleerd aanvraag- of inlichtingformulier voor een (N) bemestingsadvies. Bedoeling was om deze aanzet ook op de focusgroep voor te stellen en te bespreken, maar helaas was daar geen tijd meer toe. Er werden echter wel zeer relevante suggesties gedaan tijdens de focusgroep die in dit formulier verder verwerkt kunnen worden. Zo stelden we voor om vrij gedetailleerde bodemkwaliteitsparameters te laten aanleveren door de landbouwers, maar dat zou in de praktijk moeilijk haalbaar kunnen blijken, en in de focusgroep werd voorgesteld om dit te vervangen door de meer tastbare parameter 'Opbrengspotentieel' van een perceel. Ondertussen is deze voorlopige versie niet meer relevant, want er werd een prioritisering opgesteld van op te vragen gegevens in Luik 2 van het project (Bijlage 11).

3.5 FINALE BEDENKINGEN UIT FOCUSGROEP 1

Een cruciaal punt blijkt te zijn dat de Mestbank enorme aantallen analyses en adviezen eist, en die aantallen nemen alleen maar toe. Dit geeft problemen voor capaciteit bij de labo's, maar blijkt vooral nefast voor motivatie van de landbouwers. Zij zien het nut niet meer in van die talrijke analyses en laten ze enkel nog uitvoeren omdat ze verplicht zijn, wat het in feite een nutteloze oefening maakt. Er wordt geopperd om die aantallen verplichte analyses en adviezen te beperken tot die situaties waar ze echt cruciaal zijn, en meer middelen in te zetten in (verplichte) **begeleiding van landbouwers**. Die begeleiding zou landbouwers nog meer bewust moeten maken van het belang van een goed bodembeheer, en zou ze moeten helpen in het optimaal uitvoeren van een advies. Op die manier wordt gewerkt aan de motivatie en worden wellicht betere resultaten bereikt.

De doelstelling van dit project is om voorstellen te formuleren om via een Code Goede Bemestingsadviezen de bemestingsadviezen verder te verfijnen, wat mogelijks een meer uitgebreide vraag naar informatie bij de landbouwer zal inhouden, en adviezen die er mogelijks complexer zouden kunnen uitzien. Uit de focusgroep blijkt dat een verdere uitbreiding van verleende adviezen met alternatieve scenario's (bv. afwijkende weersomstandigheden) niet effectief zullen blijken want de landbouwer overrompelen met extra generieke

informatie zal enkel leiden tot een minder effectieve communicatie van het basisadvies. Het lijkt ook algemeen onhaalbaar om gefundeerd alternatief advies te geven voor een veelvoud aan weer/gewasstand/verwachte opbrengst scenario's. Uitbreiden/nuanceren van geleverd advies zal enkel lukken met extra mondelinge voorlichting. Er volgt een pleidooi voor beroepen op "gezond boerenverstand". Dit zijn belangrijke fundamentele commentaren die in de verdere loop van het project in acht moeten genomen worden.



Luik 2

In dit luik wordt de verzamelde kennis van bestaande systemen en hun onderlinge vergelijking en performantie, de kennis uit de literatuur, en de verwachtingen van de landbouwers geïntegreerd om te komen tot criteria waaraan performante adviessystemen moeten voldoen.

4 JUISTE DOSIS EN ANDERE J'S VOOR N EN P

4.1 LITERAATUURSTUDIE BESTAANDE ADVIESSYSTEMEN

Een diepgaand inzicht in alle processen die de N-cyclus in de bodem bepalen is nodig om de bemesting te optimaliseren en de N efficiëntie te maximaliseren en verliezen tot een minimum te beperken (Tei et al. 2020).

De systemen voor bemestingsadvies die tegenwoordig op vrij grote schaal worden gebruikt (Nmin, KNS, N balansmethode) zijn allen ontwikkeld in de jaren 70-80-90 van de vorige eeuw, en hebben sindsdien fundamenteel weinig of geen veranderingen meer ondergaan. De literatuur omtrent de oorsprong en evolutie van deze systemen is dan ook verschillende decennia geleden gepubliceerd, en momenteel zijn er dan ook weinig (eigenlijk geen) wetenschappelijke papers omtrent verdere evoluties in de eigenlijke werking van deze systemen. Wel wordt in de internationale literatuur duidelijk erkend dat de voornaamste uitdagingen voor het gebruik en de verdere verspreiding van deze systemen zitten in de parameters die gebruikt worden in deze systemen, en dan vooral de parameters met betrekking tot N mineralisatie uit BOS en N beschikbaarheid en mineralisatie uit vers toegediend organisch materiaal. Het proces van N mineralisatie blijft nog steeds erg moeilijk voorspelbaar, en recent onderzoek omtrent deze systemen gaat dan ook bijna steeds omtrent de optimalisatie (van de voorspelling) van parameterwaarden te gebruiken binnen die systemen (Jeuffroy & Recous 1999).

Het onderzoek naar bemesting en bemestingsadviesystemen is vaak zeer toegepast, en veel onderzoek werd en wordt dan ook niet gepubliceerd in peer gereviewde wetenschappelijke tijdschriften, maar eerder in lokale vakbladen of tijdschriften, of zelfs eenvoudigweg in onderzoeksrapporten. Dit bemoeilijkt de ontsluiting van de primaire bronnen die aan de basis liggen van de verschillende bemestingsadviesystemen, soms nog verder gecompliceerd omwille van taalbarrières. Een literatuurstudie naar bemestingsadviesystemen verloopt dan ook anders (en moeilijker) dan de typische wetenschappelijke literatuurstudie vooral gebaseerd op publicaties in "Web of Science" tijdschriften en wetenschappelijke boeken.

De meest courante adviesystemen werden een aantal jaren geleden in detail beschreven in de KNS studie uitgevoerd voor de VLM (Coopman et al. 2014), en voor deze systemen houden we de beschrijving dan ook kort, en verwijzen we naar deze eerdere studie. Voor specifieke systemen zoals het N-index systeem gebruikt door de Bodemkundige Dienst van België (ook beschreven in deze VLM studie) is er ook onvoldoende gedetailleerde informatie voorhanden om het systeem in meer detail te beschrijven, en zijn er dan ook geen andere onderzoekers die rond dat systeem publiceren. In Vlaanderen is er globaal minder vertrouwdheid met het

gebruik van computermodellen of DSS voor het berekenen van bemestingsadviezen. Vandaar zal de nadruk hier wat meer liggen op de computersimulatiemodellen en beslissingsondersteunende systemen, waarnaar nog volop onderzoek gebeurt en waar veel recente internationale literatuur voorhanden is.

Omwille van de duidelijkheid worden de referenties behorende bij de verschillende N adviessystemen direct onder het desbetreffende adviessysteem weergegeven en niet in de algemene referentielijst aan het einde van het rapport.

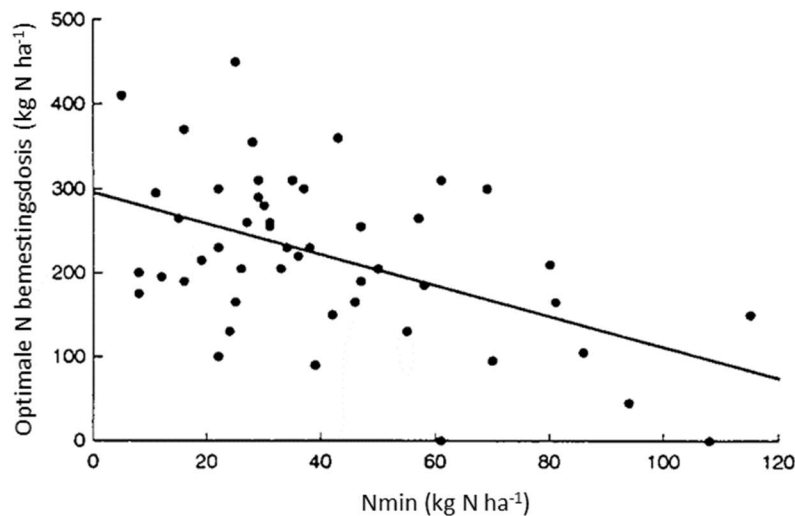
4.1.1 De Nmin methode

Deze methode was wellicht de eerste wetenschappelijk onderbouwde methode voor het geven van N bemestingsadviezen, en is ontwikkeld op basis van de waarnemingen dat minerale stikstof in de bodem een sterke invloed heeft op de stikstofbehoefte van akkerbouwgewassen, en dat na droge winters grotere hoeveelheden nitraat in de bodem achterbleven. De opbrengsten van wintertarwe waren hoger na droge winters dan na natte winters. Na "natte" winters waren de hoeveelheden minerale stikstof die in de bodem achterbleven laag, vermoedelijk omdat er tijdens de winterperiode nitraat uit de bodem was verdwenen. In de jaren zestig leidden deze bevindingen tot aanbevelingen voor stikstofbemesting die jaarlijks werden gecorrigeerd voor de hoeveelheid neerslag in de voorafgaande winterperiode (van november tot maart).

Om deze indirecte methode om rekening te houden met de minerale stikstof in de bodem te verbeteren, is een verband nodig tussen de minerale stikstof in de bodem aan het eind van de winter en de optimale stikstofgift voor meststoffen. Daartoe is gedurende een aantal jaren een groot aantal veldexperimenten uitgevoerd op een reeks representatieve bodemtypes. In de experimenten werd de hoeveelheid minerale stikstof die aan het eind van de winter in de bodem aanwezig was gemeten en werden verschillende hoeveelheden kunstmeststikstof toegediend om de optimale dosering van kunstmeststikstof te bepalen. Voor elke proef afzonderlijk werd het economisch optimum bepaald aan de hand van een opbrengst-responscurve waaraan een raaklijn werd getrokken. De helling van deze raaklijn hing af van de verhouding tussen de kosten van kunstmeststikstof en de prijs van het gewas.

Als voorbeeld wordt de afleiding van het N-bemestingsadvies voor aardappelen op zandbodems genomen. Deze is gebaseerd op de resultaten van 49 veldproeven in verschillende regio's in Nederland (Neeteson, 1990). In Figuur 18 zijn de economisch optimale toedieningshoeveelheden van kunstmest N uitgezet als functie van de hoeveelheid minerale N in de 0-30 cm bodemlaag aan het eind van de winter. De verhouding tussen de kosten van 1 kg kunstmest N en de prijs van 1 ton plantaardig product werd op 0,01 gesteld. Hoewel het verband zwak was, werd deze lineaire regressielijn gebruikt om rekening te houden met minerale N in de bodem. Voor andere intensief geteelde akkerbouwgewassen werd dezelfde procedure gevolgd. Het is dus belangrijk om te beseffen dat de Nmin methode onrechtstreeks probeert factoren zoals mineralisatie in rekening te brengen via het opstellen van deze relaties voor een voldoende groot aantal bodems en situaties (bv. zaai-/planttijdstip).





Figuur 18: Relatie tussen de Nmin voorraad in de bodem en de optimale N bemesting voor aardappelen op zandbodem op basis van 49 veldproeven in verschillende regio's in Nederland.

In veel gevallen wordt Nmin aan het eind van de winter gemeten, namelijk wanneer het te bemesten gewas in maart/april wordt gezaaid of geplant (typisch voor akkerbouwgewassen) of in de herfst daarvoor is gezaaid (wintergranen). Nmin aan het eind van de winter is gewoonlijk gering in vruchtwisselingsystemen voor akkerbouwgewassen, omdat akkerbouwgewassen bij de oogst weinig minerale N achterlaten en de gewasresten niet veel N bevatten (uitzondering: suikerbieten). Bij vruchtwisseling van groenten en aardappelen kan Nmin aan het eind van de winter (zeer) groot zijn, afhankelijk van:

- weersomstandigheden: na een droge winter is er weinig nitraat uit het bodemprofiel uitgelooft, en kunnen er hoge Nmin-concentraties worden aangetroffen
- bodemtype: in bodems met een zwaardere structuur is de nitraatuitspoeling minder intensief, wat kan leiden tot grotere Nmin-concentraties dan in zandige bodems
- geschiedenis van bemesting met organische stoffen: recente bemesting met organische stoffen of herhaalde bemesting gedurende een aantal jaren kan leiden tot een grotere Nmineralisatie en dus tot hogere Nmin concentraties aan het eind van de winter
- aanwezigheid van een vanggewas, die residuele minerale N opnemen en vermijden dat nitraat uitspoelt. Wanneer het vanggewas voor de winter wordt ingewerkt, zal het mineraliseren en mogelijk leiden tot hogere Nmin-concentraties.

Voor gewassen die in de zomer worden geplant (bijv. veel groenten) zullen de Nmin-metingen in de zomer direct voor het planten worden uitgevoerd (d.w.z. meestal na de oogst van een voorgaand gewas). De Nmin-waarde zal dan hoofdzakelijk afhangen van de nauwkeurigheid waarmee het vorige gewas werd bemest. De diepte waarop de Nmin-metingen worden uitgevoerd is afhankelijk van het gewas, en komt meestal overeen met de

bewortelingsdiepte. Voor de meeste akkerbouwgewassen zullen Nmin-metingen worden verricht tot een diepte van 90 cm. Voor aardappelen en een aantal groentegewassen wordt Nmin slechts tot een diepte van 60 cm gemeten. Voor sommige bladgroenten met een kort groeiseizoen en een zeer ondiepe beworteling (sla, spinazie) wordt Nmin alleen in de bovenste 30 cm gemeten.

De Nmin-methode is in verschillende landen in West-Europa ingevoerd als basis voor aanbevelingen voor stikstofbemesting, vooral voor akkerbouwgewassen maar ook voor groenten (Neeteson, 1990; Neeteson, 1995; Scharpf, 1991; Khayyo et al. 2004). Voora in Duitsland is veel rond de Nmin methode gewerkt en gepubliceerd, vooral aan de universiteit van Hannover (bv. Scharpf & Wehrmann, 1975, 1979; Wehrmann & Scharpf, 1986).

Aanbevelingen voor stikstofbemesting volgens de Nmin-methode kunnen onder gemiddelde omstandigheden met succes worden toegepast, en vooral in omstandigheden waar de N mineralisatie uit bodem organische stof weinig jaarvariatie vertoont en er met weinig organische inputs wordt gewerkt. De aanbevelingen zijn echter te grofmazig om op specifieke situaties te kunnen worden toegepast. De mineralisatiesnelheid van organisch materiaal tijdens het groeiseizoen en de opbrengstniveaus, die een sterke invloed hebben op de stikstofbehoefte van een gewas, kunnen van veld tot veld aanzienlijk verschillen. Verschillen in mineralisatiesnelheden tussen percelen zijn dan ook de voornaamste oorzaak van de grote spreiding in de punten in Figuur 18. Maar wellicht het grootste nadeel van deze methode is dat ze de aanleg van een groot aantal veldexperimenten vereist om de relatie op te stellen tussen de Nmin waarde en het N bemestingsadvies. Daarom is het nodig systemen voor bemestingsadviezen te ontwikkelen waarbij expliciet rekening wordt gehouden met de stikstofmineralisatie en de verwachte opbrengstniveaus op individuele velden.

Referenties Nmin methode

S. Khayyo, J. Pérez-Lotz, C. Ramos. 2004. Application of the Nmin nitrogen fertilizer recommendation system in artichoke in the Valencian community. *Acta Horticulturae* 660, 261-266.

Neeteson J.J. 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer Research* 26(1-3), 291-298.

Neeteson J.J. 1995. Nitrogen management for intensively grown arable crops and field vegetables. In: P. E. Bacon (Ed.) *Nitrogen fertilization in the environment*. Marcel Dekker, New York, pp. 295-325.

Scharpf, H.C. 1991. Stickstoffdüngung im Gemüsebau. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bonn. AID-Nr. 1223, 35 S.

Scharpf H.C., Wehrmann, J. 1975. Die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. *Landw. Forsch.* 324 100-114.

Scharpf, H.C., Wehrmann, J. 1979. Die Nmin-Methode als Hilfsmittel zur Beurteilung der Stickstoffversorgung von Obstanlagen. *Obstbau* 4,361-366.

Scharpf, H.C. 1991. Stickstoffdüngung im Gemüsebau (Nmin-System). Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bonn. AID-Nr. 1223, 35 S.

Wehrmann, J., Scharpf, H.C. 1986. The Nmin-method - an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149, 428-440.

4.1.2 De KNS-methode en het N-expert systeem

4.1.2.1 De KNS-methode

De KNS-methode of het KNS-systeem ("Kulturbegleitende Nmin-Sollwerte System"), dat zou kunnen worden vertaald als het "Nmin bijmest-systeem", is ontwikkeld in Duitsland en is een verdere verfijning van het Nmin-systeem. Het systeem werd ontwikkeld eind jaren 80 en origineel beschreven in publicaties van Lorenz et al. (1989) en Scharpf (1991).

Binnen het Nmin-systeem wordt vóór de bemesting een bodemanalyse uitgevoerd. Bij deze meting wordt echter slechts impliciet rekening gehouden met de verdere N-aanvoer door bijvoorbeeld mineralisatie van organisch materiaal in de bodem, of wordt (uiteraard) geen rekening gehouden weersomstandigheden sinds het begin van de groei van het gewas. Door in de loop van het groeiseizoen extra bodemonsters te nemen, kan de evolutie van de minerale N in de bodem tijdens de groei van het gewas verder worden geëvalueerd, en in deze extra metingen zal het effect van bijvoorbeeld verdere N-mineralisatie (of andere N-transformatieprocessen zoals immobilisatie of N-verliezen) worden meegenomen. Met deze processen kan dan rekening worden gehouden bij een bijbemesting met N-meststoffen.

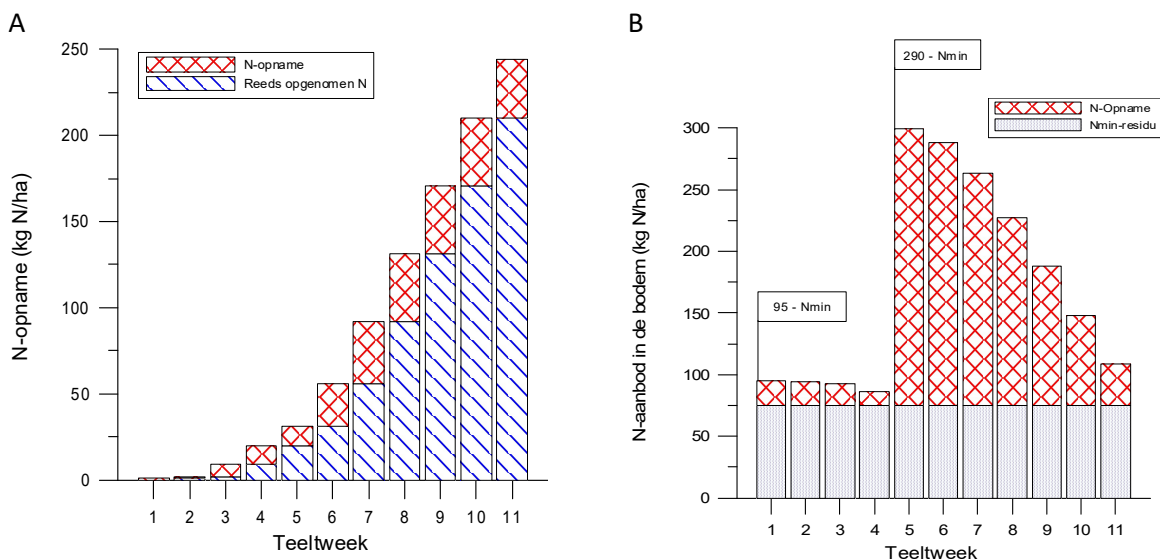
De principes van het systeem worden geschetst aan de hand van een voorbeeld voor bloemkool (Figuur 19). Het hele groeiseizoen van het gewas wordt verdeeld over verschillende groeistadia, afhankelijk van het N-opnamepatroon en de lengte van de groeiperiode. Voor elke periode wordt een streefwaarde voor minerale N in de bodem berekend. De streefwaarde is de hoeveelheid minerale N die in de bodem beschikbaar moet zijn tot het volgende groeistadium, en bestaat uit de N-opname in de beschouwde periode, plus de residuele minerale N in de bodem of de N-bufferwaarde. Deze residuele minerale N in de bodem of N-buffer is vergelijkbaar met die in het N-balanssysteem. Hier kunnen echter verschillende bufferwaarden (met betrekking tot dezelfde of verschillende bodembemonsteringsdieptes) worden gedefinieerd afhankelijk van het betrokken groeistadium. In het geval van groentegewassen met een lang groeiseizoen kan de eerste bufferwaarde bijvoorbeeld alleen betrekking hebben op de 0-30 cm-laag, terwijl de tweede betrekking kan hebben op de 0-60 of zelfs 0-90 cm-laag.

De streefwaarde voor de eerste groeiperiode is:

Streefwaarde $N_{min}(1) = N\text{-opname tussen week}(1) \text{ en week}(n1) + \text{bufferwaarde } N(1)$

De N-opname tussen week(1) en week(n1) (in dit voorbeeld week4) kan worden verkregen uit het N-opnamepatroon in fig. A1, en de residuele minerale N in de bodem (buffer) is zoals in de Nmin-methode. Een bodemonster, monster(1), wordt genomen vóór het planten (vóór week(1)) en de minerale N in de bodem wordt gemeten. De hoeveelheid toe te dienen N-meststof is de streefwaarde $N_{min}(1)$ minus de hoeveelheid minerale N die zich reeds in de bodem bevond op het moment van bemonstering.





Figuur 19: Cumulatieve N-opname door het gewas (A) en streefwaarde voor de hoeveelheid minerale N in het bodemprofiel (B) als functie van de tijd voor een typische bloemkoolteelt.

Voor de tweede groeifase wordt een tweede Nmin-streefwaarde berekend als volgt

$$\text{Streefwaarde } N_{\text{min}}(2) = \text{N-opname tussen week}(n1+1) \text{ en week}(n2) + \text{bufferwaarde } N(2)$$

De N-opname tussen week(n1+1) en week(n2) (in dit voorbeeld respectievelijk week5 en week11) kan weer worden verkregen uit het N-opnamepatroon in fig. A1; de bufferwaarde of het residuele bodemmineraal N(2) kan dezelfde waarde zijn of verschillend van de bufferwaarde N(1). Opnieuw wordt vóór het begin van week (n1+1) een bodemmonster, monsternamen(2), genomen en wordt de minerale N in de bodem gemeten. De hoeveelheid toe te dienen N-meststof is de streefwaarde Nmin(2) minus de hoeveelheid minerale N die zich reeds in de bodem bevond op het moment van bemonstering(2).

Het KNS systeem maakt geen gebruik van vaste opbrengstcijfers zoals in het Nmin systeem. Het steunt ook niet op het aanleggen van tal van veldexperimenten op verschillende representatieve lokaties en bodems in een bepaalde regio zoals wel het geval is in het Nmin systeem. Daarentegen wordt gebruik gemaakt van reeds bestaande gekende cijfers op basis van lokale kennis, in het verleden uitgevoerde experimenten, enz. Het systeem is daardoor ook veel flexibeler dan het Nmin systeem (Thompson et al. 2018).

De groeiperiode kan ook in meer dan twee fasen worden verdeeld, en dan zijn ook meer dan twee bodembemonsteringen nodig. Het grootste voordeel van dit systeem is dus dat rekening kan worden gehouden met extra veranderingen in de minerale N in de bodem tijdens de groeiperiode, wat niet mogelijk is met het eenvoudige Nmin-systeem, en dat gedifferentieerde bufferwaarden kunnen worden gebruikt, bv. afhankelijk van het groeistadium, met ook een verschillende referentiediepte. Extra bemonsteringen en analyses brengen echter ook extra kosten met zich mee. Het systeem is dus nauwkeuriger maar ook duurder, en zal in principe alleen worden gebruikt voor hoogwaardige gewassen zoals groenten.

Het KNS systeem heeft nagenoeg uitsluitend ingang gevonden in Noordwest- en beperkt in Centraal-Europa (Thompson et al. 2018), en er zijn slechts zeer weinig toepassingen in andere omgevingen, en dan nog enkel in onderzoek, bv. Suárez-Rey et al. (2016) voor bladgroenten in Spanje, en Chen et al. (2006) die een systeem gebruikten analoog aan het KNS voor berekenen van N behoeften van tarwe en maïs. Voor een zeer uitgebreide beschrijving van zowel het KNS systeem als N-Expert, met voorbeeldberekeningen uit de praktijk, verwijzen we naar Coopman et al. (2014).

Referenties KNS systeem

Chen, X., F. Zhang, V. Römheld, D. Horlacher, R. Schulz, M. Böning-Zilkens, et al. 2006. Synchronizing N Supply from Soil and Fertilizer and N Demand of Winter Wheat by an Improved Nmin Method. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 74, 91-98.

Feller, C., Fink M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P., Scharpf, H.C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., Ziegler, J. 2011. Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)*, 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren. (pdf)

Fink, M., Scharpf, H.C. 1993. N-Expert – A decision Support system for vegetable fertilization in the field. *Acta Horticulturae* 339, 67-74

Lorenz, H.P., Schlaghecken, J., Engl, G. 1989. Ordnungsgemäße Stickstoffversorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem Kulturbegleitenden Nmin-Sollwerte(KNS)-System. *Ministerium Landwirtschaft, Weinbau Forsten Rheinland-Pfalz*, 85 S.

Scharpf, H.C. 1991. Stickstoffdüngung im Gemüsebau (Nmin-System). *Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bonn. AID-Nr. 1223*, 35 S.

Suárez-Rey, E.M., Romero-Gámez, M., Giménez, C., Thompson, R.B., Gallardo, M., 2016. Use of EU-Rotate_N and CropSyst models to predict yield, growth and water and N dynamics of fertigated leafy vegetables in a Mediterranean climate and to determine N fertilizer requirements. *Agric. Syst.* 149, 150–164.

Thompson R.B., Voogt, W., Incrocci, L., Fink, M., De Neve, S. 2018. Strategies for optimal fertilizer management of vegetable crops in Europe. *Acta Hort.* DOI:10.17660/ActaHortic.2017.1192.15

4.1.2.2 Het N-Expert systeem

Het Duitse N-Expert is een op Windows gebaseerd programma dat wordt gebruikt om N-adviezen te geven voor tal van groentegewassen en granen (Fink en Scharpf, 1993; Feller et al., 2011; Feller, 2015). Het N-Expert systeem is eigenlijk niets anders dan het KNS systeem dat in plaats van met tabellen, via computersoftware werkt. N-Expert helpt telers en bemestingsadviseurs echter niet alleen met het formuleren van N bemesting, maa ook bij het berekenen van de P, K en Mg bemestingsbehoefte van groentegewassen en bij het opstellen van nutriëntenbalansen voor N, P, K en Mg. Die N-bemestingsadviezen en de nutriëntenbalansen zijn verplicht volgens de Duitse wetgeving. N-Expert bevat een geactualiseerde database van de nutriëntenopname voor alle relevante vollegrondsgroentegewassen en voor tal van andere gewassen die in vruchtrotaties met groenten



worden geteeld. Het systeem wordt nog steeds regelmatig ge-updated. De N-Expert software en bijbehorende informatie zijn volledig gratis beschikbaar in het Engels en Duits en kunnen gratis worden gedownload op: <http://www.igzev.de/n-expert/?lang=en>.

Opnamecurves van de gewassen zijn deels gebaseerd op proefveldresultaten en deels op expertkennis. Bepaalde schattingen zullen niet altijd even accuraat zijn, maar het heeft soms geen zin om accuraat te zijn gezien de andere bronnen van variatie. Uitgangspunten van het systeem zijn dat de vochtvoorziening voldoende is en dat er geen stikstofuitspoeling is. Duitse tuinbouw werkt doorgaans met irrigatie.

In vergelijking met het beheer door de teler in intensieve groententeelt gedurende vijf jaar, verminderde N-Expert de verliezen door N-uitspoeling met gemiddeld $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$, zonder significante effecten op gewasopbrengst en -kwaliteit (Armbruster et al., 2013). Ook onderzoek van Wiesler et al. (2008) toonde de verdienste aan van het N-expertsysteem in het terugdringen van het stikstofsurplus en de stikstofverliezen ten opzichte van de telerspraktijk. Met een N-expert advies waren de uitspoelingsverliezen nog van een grootteorde van 150 kg N ha^{-1} per jaar (gemeten met poreuze cups), wat nog te hoog is, maar ruimschoots beter dan de telerpraktijk met 400 kg N ha^{-1} per jaar uitspoelingsverlies.

Nog meer dan het originele KNS systeem wordt N-Expert voor zover wij weten enkel gebruikt in Duitsland.

Referenties KNS en N-Expert

Armbruster, M., Laun, N., Heger, A., Wiesler, F., 2013. Integrated nitrogen management - a strategy to improve nitrogen efficiency in intensive field vegetable production. In: D'Haene, K., Vandecasteele, B., De Vis, R., Crapé, S., Callens, D., Mechant, E., Hofman, G., De Neve, S. (Eds.), Proceedings of the NUTRIHORT, Nutrient Management Innovative Techniques and Nutrient Legislation in Intensive Horticulture for an Improved Water Quality Conference. Ghent, Belgium, 16-18 September. pp. 149–155.

Feller, C. (2015). N-Expert - Fertiliser Recommendations for Field Vegetables. <http://www.igzev.de/n-expert/?lang=en>

Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011) Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren.

Fink, M., Scharpf, H.C. (1993). N-expert- a decision support system for vegetable fertilization in the field. Acta Hortic. 339, 67-74.

Wiesler, F. 2008. Comparative Assessment of the Efficacy of Various Nitrogen Fertilizers. Journal of Crop Production 1(2), 81-114.

4.1.3 De N-balans methode (N balance sheet method)

De balansmethode of minerale N-balansmethode, een eenvoudig statisch model, werd in Frankrijk in het begin van de jaren zeventig ontwikkeld voor de berekening van N-bemesting voor toepassing op graangewassen en



andere gewassen (Rémy en Hébert, 1977). De methode houdt in dat de totale N-behoefte voor een bepaald gewas met een bepaalde streefopbrengst en de totale N-voorziening van de bodem gedurende de gewascyclus worden geëvalueerd. Het verschil tussen de behoefte en het aanbod in de bodem is de hoeveelheid N die door kunstmestgift moet worden geleverd om de beoogde opbrengst te verkrijgen. De N-voorziening van de bodem omvat de resterende minerale N die na de winter nog in de bodem aanwezig is en de organische N die tussen het einde van de winter en de oogst is gemineraliseerd (Laurent en Mary, 1992). De streefopbrengst wordt gewoonlijk gedefinieerd als de maximale opbrengst die op het betrokken perceel kan worden verkregen (Viaux, 1980; Meynard en Limaux, 1987; Machet et al., 1990). Deze methode werd geëvalueerd in een groot aantal verschillende omstandigheden en wordt in Frankrijk op grote schaal gebruikt voor bemestingsbeheer omdat zij robuust is (Meynard et al., 1981, 1997; Rémy en Viaux, 1982; Meynard, 1995).

De methode geeft een goed inzicht in de verschillende componenten die van invloed zijn op de N-voorziening van een bepaald gewas, en kan schematisch als volgt worden samengevat:

N-vraag	N-aanbod
N-opname door het gewas	N _{min} in de bodem vóór bemesting
Resterende minerale N in de bodem	N-mineralisatie
(onvermijdelijke N-verliezen tijdens het groei seizoen)	N-bemesting

Hieronder wordt nog eens kort besproken wat de verschillende balanscomponenten inhouden en hoe ze moeten geïnterpreteerd worden.

i. N-opname door het gewas

De basis voor elk bemestingsadviesstelsel is de totale opname van de voedingsstof (in dit geval stikstof) door het gewas, die wordt bepaald als de som van de N-concentratie van de verschillende plantendelen maal de biomassa-productie van deze plantendelen. Voor een bepaalde regio en afhankelijk van de bodemeigenschappen en de teeltpraktijken kan een potentieel productieniveau worden bepaald. Een theoretische N-behoefte kan dan worden berekend als het N-gehalte van de verschillende plantendelen bekend is. Er moet ook rekening worden gehouden met de N-opname in niet-geoogste gewasresten (wortels, stoppels, ...). Daarom moeten de gegevens over de uitvoer van nutriënten worden aangevuld met het N-gehalte in die residuen (bv. 40 kg N/ha voor maïs). Gegevens over de nutriëntenopname zijn in het algemeen beschikbaar voor de belangrijkste gewassen, maar de nutriëntenconcentraties kunnen sterk variëren als gevolg van de weersomstandigheden, het bodemtype, ... Ook de totale biomassa-productie van een gewas schommelt sterk van jaar tot jaar, en is weer hoofdzakelijk afhankelijk van de weersomstandigheden. In het deel van de literatuurstudie omtrent de parameterwaarden (zie § 4.2.1.1) worden verder uitgebreid getallen gegeven van deze N opname. Eén van de cruciale aspecten van een succesvol N-bemestingsadvies is dus een realistische schatting van de verwachte (N-)opbrengst.

ii. Residuele minerale N in de bodem

Dit is de hoeveelheid minerale N die tot een bepaalde diepte (afhankelijk van de bewortelingsdiepte van het gewas) in het bodemprofiel is achtergebleven op het moment dat het N-gehalte in het gewas maximaal is. Het is de minimumhoeveelheid N die in de bodem aanwezig moet zijn om een voldoende snelle N-opname door het wortelsysteem van het gewas mogelijk te maken voor een optimale groei. Het wordt bepaald bij een optimaal niveau van N-bemesting en onder optimale groeiomstandigheden. Dit residuele mineraal N gehalte wordt bepaald bij de oogst of enkele weken voor de oogst, afhankelijk van het soort gewas. Het is afhankelijk van de bewortelingsdiepte en de intensiteit van de beworteling, en van het tijdstip waarop het gewas wordt geoogst (gewas geoogst in de vegetatieve of in de generatieve groeifase).

Graangewassen zijn in staat de bodem-N zeer efficiënt te gebruiken omdat zij worden geoogst na de generatieve fase, wanneer de N-opname is gestopt of verwaarloosbaar is geworden. Bij een adequate bemesting laten zij vaak minder dan 20 kg minerale N ha⁻¹ tot een diepte van 90 cm in het bodemprofiel achter. Voor aardappelen liggen de residuele waarden voor minerale N in de bodem rond 50 kg N ha⁻¹ tot een diepte van 60 cm (vanwege het minder ontwikkelde bewortelingssysteem). Gewassen die vóór de rijpheid worden geoogst (zoals bladgroenten, bijv. spinazie of sla, of bloemkool) hebben residuele minerale N-waarden in de bodem die nog hoger kunnen liggen, omdat zij tot op het ogenblik van de oogst een hoge N-opname hebben. Daarom moeten deze gewassen worden gevolgd door een ander gewas dat de in het bodemprofiel achtergebleven stikstof kan opnemen om de verliezen te beperken en de bemestingsefficiëntie te verhogen.

iii. Geschatte N-verliezen gedurende het groeiseizoen

Deze verliezen kunnen zijn:

- uitspoelingsverliezen
- gasvormige N-verliezen door vervluchtiging van NH₃ of denitrificatie
- verliezen door afspoeling of erosie

Soms wordt in het bemestingsadvies rekening gehouden met beperkte N-verliezen (bv. 10% van de toegediende N-meststof) door de berekende meststofhoeveelheid te verhogen om deze verliezen te compenseren. Deze veiligheidsmarge is echter twijfelachtig, aangezien de bemesting erop gericht moet zijn (zowel wat de hoeveelheid als de wijze van toediening betreft) om het risico van N-verliezen zo klein mogelijk te houden.

iv. Minerale N in het bodemprofiel vóór bemesting

Deze waarde (d.i. de N_{min} van een aantal andere systemen) hangt af van diverse factoren zoals het vorige gewas, de vruchtwisseling, de vorige organische bemesting, de N mineralisatie, de mate van drainage, ... De minerale N in het bodemprofiel moet idealiter zo dicht mogelijk bij het moment van bemesting worden bepaald.

v. N-mineralisatie

N kan tijdens het groeiseizoen vrijkomen door N-mineralisatie uit bodem organische stof, pas opgebrachte organische resten of meststoffen, of als resteffect van eerdere bemesting. Gegevens over de



mineralisatiesnelheid van N uit bodem organische stof kunnen worden verkregen door middel van chemische extracties, laboratoriumincubaties of veldproeven op onbegroeide percelen. Dergelijke proeven zijn slechts benaderend en houden geen rekening met de interactie tussen mineralisatie en plantengroei.

Indien van toepassing kan bij deze term ook rekening worden gehouden met atmosferische depositie van N.

vi. N-bemesting

Deze term kan worden berekend door een verschil te maken wanneer alle andere parameters bekend zijn.

Hoewel de N balansmethode oorspronkelijk ontwikkeld werd voor akkerbouwgewassen kan ze in principe gebruikt worden voor om het even welk gewas. Wel berekent de N balans enkel een totale N gift, en wordt geen rekening gehouden met mogelijke fractionering zoals in bepaalde andere methodes wel gebeurt (KNS/N_Expert). Maar zelfs dit onderscheid is vrij kunstmatig, want in principe kan de N balanse ook twee of meerdere malen per seizoen berekend worden, telkens overeenkomend met een bepaald deel van het groeiseizoen waarvoor een bemesting moet worden berekend, en waardoor deze methode dus ook voor gefractioneerde bemesting zou kunnen worden gebruikt.

De N balansmethode is in een meer uitgebreide vorm ook gebruikt als basis voor meer dynamische beslissingsondersteunende modellen of zelfs echte computer simulatiemodellen voor het formuleren van bemestingsadviezen. Voorbeelden hiervan zijn de ontwikkeling van Azobil (Machet et al. 1990), Azodyn (Jeuffroy & Recous, 1999), Azofert (Machet et al. 2017), en de Demetertool. Het is vooral naar het gebruik van de N balansmethode in deze nieuwere systemen of modellen dat er nog recent onderzoek wordt gevoerd en het is vooral in die systemen dat de gebruikte parameterwaarden worden aangepast aan de meer recente kennis, of dat nieuwe parameterwaarden worden ingebouwd, bv. om rekening te houden met nieuwe types organisch materiaal (digestaten, nieuwe types compost, ...).

Referenties N balans

Jeuffroy, M.H., Recous, S. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10, 129–144.

Laurent, F., Mary, B., 1992. Management of nitrogen in farming systems and the prevention of nitrate leaching. From research conclusions to practical advices: the situation in France. *Asp. Appl. Biol.* 30, 45–61.

Machet, J.M., Dubrulle, P., Louis, P., 1990. AZOBIL : a computer program for fertilizer N recommandations based on a predictive balance sheet method, in: *Proceedings of the First Congress of the European Society of Agronomy, FRANCE, Colmar, 05-07 December 1990.*

Machet, J.M., Dubrulle, P., Damay, N., Duval, R., Julien, J.L., Recous, S. 2017. A dynamic decision-making tool for calculating the optimal rates of N application for 40 annual crops while minimising the residual level of mineral N at harvest. *Agronomy, MDPI*, 2017, 7 (4) (73), 22 p.10.3390/agronomy7040073.



- Meynard, J.M., 1995. La fertilisation azotée dans les nouveaux itinéraires techniques. In: Analyser et fertiliser en toute connaissance. 2e Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Blois, pp. 33–42.
- Meynard, J.M., Limaux, F., 1987. Prédiction des rendements et conduite de la fertilisation azotée. Cas du blé d'hiver. CR Acad. Agric. France 73, 117–132.
- Meynard, J.M., Boiffin, J., Caneill, J., Sebillotte, M., 1981. Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. II—Types de réponse à la fumure azotée et application du bilan prévisionnel. Agronomie 1, 795–806.
- Meynard, J.M., Justes, E., Machet, J.M., Recous, S., 1997. Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ. In: Lemaire, G., Nicolardot, B. (Eds.), Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. INRA, Paris, pp. 183–199.
- Ravier 2017 Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée : Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation. Thèse doctoral
- Rémy, J.C., Hébert, J., 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol. CR Acad. Agric. France 63, 700–710.
- Rémy, J.C., Viaux, P., 1982. The use of nitrogen fertilizers in intensive wheat growing in France. In: Symposium on Fertilizers and Intensive Wheat Production in EEC. The Fertilizer Society, pp. 67–92.
- Viaux, P., 1980. Fumure azotée des céréales d'hiver. Persp. Agric. 43, 10–26.

4.1.4 VLM Demetertool

Demeter is ook een beslissingsondersteunend systeem (DSS) maar wordt hier kort aangehaald en niet onder de DSS omdat het een strikt statisch systeem is (althans voor de nutriënten N en P). In essentie wordt de N bemesting binnen Demeter berekend op basis van een uitgebreide N balansmethode. De P bemesting wordt berekend uitgaande van de P bodemtoestand (op basis van het P-AL getal), de P behoefte van het gewas en de P inhoud van de toegepaste organische stoffen. Er wordt ook een volledige P balans berekend en gerapporteerd. Daarnaast wordt ook een simulatie berekend van de evolutie van het BOC gehalte. Gezien het Demeter systeem ontworpen is samen met VLM en in Vlaanderen vrij ruim ingang gevonden heeft wordt het hier niet verder in detail behandeld.

4.1.5 Het RB209-systeem van Engeland en Wales

De "RB209 Fertilizer Manual" (AHDB, 2010) maakt gebruik van indices om de N-voorraad in de bodem (Soil Nitrogen Supply, SNS) voor een bepaald perceel te schatten en vervolgens worden deze SNS-indexen gebruikt om het N bemestingsadvies voor een bepaalde gewassoort te bepalen. De SNS-indexwaarden zijn schattingen van de voor het gewas beschikbare N (minerale N in de bodem plus N gemineraliseerd uit gewasresten). De SNS-indexen hebben waarden van 0-6 en elke indexwaarde komt overeen met een verschillende bijkomende toevoer van minerale N in de bodem in de wortelzone (in kg N ha⁻¹). Voor SNS-indices van 0-6 zijn de respectieve hoeveelheden aangeleverde N <60, 61-80, 81-100, 101-120, 121-160, 161-240 en >240 kg N ha 1.

Voor een specifiek perceel wordt de juiste SNS-index bepaald aan de hand van tabellen waarin rekening wordt gehouden met de gemiddelde jaarlijkse neerslag, de bodemtextuur en de residuen van de voorgaande teelt. Zodra de N-voorraad van de bodem voor een bepaald perceel is geschat, wordt de aanbevolen N-mestgift voor die SNS-index bepaald. Voor elke gewas zijn er aparte tabellen waarin de aanbevolen N-mestgift wordt gerelateerd aan de SNS Index-waarden. Er zijn tabellen voor veel groente- en akkerbouwgewassen. Voor sla bijvoorbeeld komen SNS Index-waarden van 0 tot 6 overeen met aanbevolen N-mestgiften van 200, 180, 160, 150, 125, 75 en 30 kg N ha⁻¹.

Rahn (2012) beschreef het gebruik van de RB209 Fertilizer Manual om N-bemestingsadviezen te bepalen. Metingen van minerale N in de bodem, bij zaaien/planten, kunnen worden meegenomen in de adviezen (Rahn, 2012) en worden vooral aangeraden bij bv. grote of slecht gekende hoeveelheden gewasresten (Rahn, 2012). De volledige RB209 Fertilizer Manual kan gratis worden gedownload bij AHDB (2010). De RB209 Fertiliser Manual is een uitgebreide gids voor het beheer van meststoffen. Hij bestrijkt vele gewassen, behandelt verschillende bodemtypes en beheerspraktijken, en bevat gedetailleerde toelichtingen en nuttige aanvullende informatie. Een herziening van de RB209 Fertiliser Manual, de AHDB (Agriculture and Horticulture Development Board) Nutrient Management Guide werd in 2017 doorgevoerd. Sinds de publicatie hiervan zijn de aanbevelingen jaarlijks herzien, met het meest recente onafhankelijke onderzoek gefinancierd door AHDB en zijn partners.

Het gratis verkrijgbare softwareprogramma PLANET (DEFRA, 2014) is een geautomatiseerde vorm van de RB209 Fertilizer Manual, en zal kort worden besproken in het deel over DSS. Veel telers in Engeland en Wales hebben een exemplaar van RB209 of PLANET (C. Rahn, persoonlijke mededeling). Hoewel het moeilijk te zeggen is hoeveel telers deze aanbevelingen daadwerkelijk regelmatig gebruiken, lijkt het erop dat veel telers dat doen.

Referenties RB209

AHDB. (2010). Fertiliser Manual RB209, 8th edn. (Norwich, UK: TSO), pp.257.

DEFRA. (2014). PLANET (Planning Land Applications of Nutrients for Efficiency and the environment) Nutrient Management decision support tool V3.3. <http://mvw.planet4farmers.co.uk/Content.aspx?name=PLANET>.

Rahn, C. (2012). Soil Nitrogen Supply for Field Vegetable Crops, Factsheet 09/12 (Kenilworth, UK: Horticultural Development Company)

4.1.6 Methoden op basis van gewasanalyses

Analyse van plantenweefsel, meestal in de vorm van analyse van bladmonsters (meestal het laatst volledig uitgegroeide blad) is al tientallen jaren een gevestigde methode om de nutriëntstatus van gewassen voor een breed scala van nutriënten te beoordelen (Geraldson en Tyler, 1990; Hartz en Hochmuth, 1996). Over het algemeen werd weefselanalyse vooral gebruikt voor diagnose wanneer visuele tekenen van voedingsproblemen duidelijk zijn.



In de jaren 1980 werd de sapanalyse geïntroduceerd als een snelle procedure ter ondersteuning van het bemestingsbeheer. Mansson (1984) introduceerde een laboratoriummethode met snelle analyse van bladsap om te helpen bij nutriëntentoeediening onder fertigatie, niet alleen voor N (gebaseerd op NO₃-analyse) maar ook voor andere macronutriënten en voor micronutriënten. Rond die tijd werd voor aardappelen een methode voor het testen van het plantsap ter ondersteuning van de N bemesting ingevoerd, waarbij de NO₃-concentratie van bladsteeltjes werd bepaald (Westcott et al, 1993). Olsen en Lyons (1994) meldden dat voor het bepalen van de N-status van paprika de NO₃-concentratie van het petioolsap veel gevoeliger was dan het totale N-gehalte van het blad. Een groot voordeel van sapanalyse ten opzichte van weefselanalyse is dat telers de analyse van de sap NO₃-concentratie snel in het veld kunnen uitvoeren met behulp van handmeters (Parks et al., 2012). De analyse op het landbouwbedrijf moet echter met de nodige zorg worden uitgevoerd en regelmatig worden gecontroleerd; over het algemeen wordt de voorkeur gegeven aan analyse door opgeleide technici in een efficiënt, lokaal laboratorium (Parks et al., 2012).

Petiool-sap testen zijn tot op zekere hoogte gebruikt om te helpen bij bijbemesting van gewassen zoals aardappel, tomaat en andere groenten (Farneselli et al, 2010; van Geel et al, 2014). Andere auteurs concludeerden dat plantensaponderzoek een nuttig aanvullend instrument kan zijn, maar dat het verder moet worden ontwikkeld. Sonneveld en De Bes (1983) toonden aan dat plantsap de nutriëntstatus van het gewas zeer goed weergaf voor N en K en vrij goed voor Mg, P, en slechts in beperkte mate voor andere nutriënten. Hoewel algemeen werd aanvaard dat analyse van plantsap NO₃- een nuttige methode kan zijn om de N-status van groenten te evalueren, bleef de praktische toepassing van sapanalyse over het algemeen beperkt. Een van de redenen is dat de NO₃-concentratie kan worden beïnvloed door tal van factoren, zoals het type en de leeftijd van het bemonsterde plantendeel, reeds uitgevoerde N-bemestingen en de tijd tussen de bemonstering en de analyse (Goffart et al, 2008). Strikte bemonsterings- en behandelingsprotocollen kunnen de effecten van deze factoren aanzienlijk beperken (Goffart et al, 2008). Een belangrijke kwestie die van invloed is op het gebruik van sapanalyse en andere vormen van plantenanalyse is de eis van toereikendheid of referentiewaarden die interpretatie van de resultaten mogelijk maken (MacKerron et al, 1995). Deze moeten worden bepaald of geverifieerd voor bepaalde gewassen op bepaalde locaties; momenteel zijn er echter weinig lokaal bepaalde of geverifieerde referentiewaarden beschikbaar.

Peña-Fleitas et al. (2015) toonden aan dat de NO₃-concentratie in het sap van de bladsteel zeer sterk gerelateerd was aan de N-status van het gewas bij tomaten en meloenen onder fertigatie. Bovendien suggereerden de resultaten van Peña-Fleitas et al. (2015) dat voor gefertigeerde tomaat die onder zeer verschillende omstandigheden werd geteeld, zeer vergelijkbare referentiewaarden konden worden gebruikt.

In Nederland en België is het gebruik van plantsaptesten (in sommige gevallen met bladweefsel) een aantal jaren geleden nieuw leven ingeblazen door enkele particuliere adviesbureaus en commerciële laboratoria (Smits, 2008). Om rekening te houden met de variabiliteit van de nutriëntenconcentratie binnen planten en in de tijd, en mogelijk ook tussen cultivars, worden strikte bemonsterings- en behandelingsprocedures gebruikt. Eén particulier laboratorium gebruikt bijvoorbeeld een procedure waarbij het bovenste blad van het blad aan de bloemtros en het blad aan de vijfde tros met tussenpozen van twee weken worden bemonsterd. Dit laboratorium ontwikkelde op basis van empirische gegevens streefwaarden voor de blad-NO₃-concentratie (en andere voedingsstoffen). Met deze aanpak wordt de samenstelling van de voedingsoplossing voor fertigatie, met name de NO₃- en K-concentraties, aangepast op basis van de tweewekelijkse analyseresultaten. Hoewel

deze methode sterk empirisch lijkt te zijn zonder duidelijke wetenschappelijke basis, is gebleken dat zij vrij doeltreffend is in die zin dat de telers in staat zijn geweest de toegepaste hoeveelheid N aanzienlijk te verminderen met behoud van de opbrengsten. Deze methode wint steeds meer aan populariteit, zowel bij kas- als vollegrondsgroentetelers in Nederland.

Een zeer omvattende review omtrent analyse van gewassen (met nadruk op groenten) in het kader van N bemesting is zeer recent gepubliceerd door Padilla et al. (2020), en we verwijzen dan ook naar deze review voor uitgebreide technische details en toepassing van deze methoden.

Referenties bladanalysemethoden

- Farneselli, M., Benincasa, P. and Tei, F. 2010. Validation of N nutritional status tools for processing tomato. *Acta Hortic.* 852, 227-232.
- Geraldson, C.M., Tyler, K.B. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops. In *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd edn, R.L. Westerman, ed. (Madison, WI USA: Soil Science Society of America), p.549-562.
- Goffart, J., Olivier, M., Frankinet, M. 2008. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. *Potato Res.* 51 (3-4), 355-383.
- Hartz, T.J.C., Hochmuth, G.T. 1996. Fertility management of drip-irrigated vegetables. *Horttechnology* 6, 168-172.
- MacKerron, D.K.L., Young, M.W., and Davies, H.V. 1995. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant Soil* 172(2), 247-260.
- Mansson, L. 1984. Plant-sap analyses - Another way to register the nutrient uptake in plants. *Acta Hortic.* 145, 297-303.
- Olsen, J.K., Lyons, D.J. 1994. Petiole sap nitrate is better than total nitrogen in dried leaf for indicating nitrogen status and yield responsiveness of capsicum in subtropical Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 34 (6): 835-843.
- Padilla, F.M., Farneselli, M., Gianquinto, G., Tei, F., Thompson, R.B. 2020. Monitoring nitrogen status of vegetable crops and soils for optimal nitrogen management. *Agric. Water Manage.* 240: 106356.
- Parks, S.E., Irving, D.E., Milham, P.J. 2012. A critical evaluation of on-farm rapid tests for measuring nitrate in leafy vegetables. *Sci. Hortic.* 134, 1-6.
- Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M., Thompson, R.B., Farneselli M., Padilla, F.M. 2015. Assessing crop N status of fertigated vegetable crops using plant and soil monitoring techniques. *Ann. Appl. Biol* 167 (5), 387-405.
- Smits, S. 2008. Plant sap method to reduce risks. *Groenten + Fruit* 33, 32-33.



Sonneveld, C., De Bes, S.S. 1983. Relationship between analytical data of plant sap and dried material of glasshouse crops. Communications in Soil Science and Plant Analysis 14. 75-87.

van Geel, W., Kroonen-Backbier, B.M.A., van der Schans, D.A., Malda, J. 2014. Nieuwe Bijmestsystemen en - Strategieën voor Aardappel op Zand- en Lossgrond. Deel 2: Resultaten Veldproeven 2012 en 2013 (Lelystad, The Netherlands: PPO-AGV), pp.66.

Westcott, M.P., Rosen, C.J, Inskeep, W.P. 1993. Direct measurement of petiole sap nitrate in potato to determine crop nitrogen status. J Plant Nutr. 16 (3): 515-521.

4.1.7 Computersimulatiemodellen en beslissingsondersteunende systemen (DSS)

Een simulatiemodel is een wiskundige voorstelling van een systeem. In de context van bemestingsadviezen verwijst dit naar een gewassimulatiemodel als een voorstelling van een bepaald gewas dat groeit op een bepaalde bodem en in een bepaald klimaat. In gewasmodellen wordt het systeem gescheiden in componenten (b.v. gewas, bodem en klimaat) en worden de belangrijkste processen gekarakteriseerd met behulp van wiskundige vergelijkingen (Gallardo et al. 2020). Modellen kunnen worden gebruikt voor onderzoekstoepassingen, voor scenarioanalyse of voor gewasbeheer en bemesting in de praktijk. Complexe mechanistische modellen worden gebruikt in onderzoek, als een manier om kennis te bundelen of om dure veldexperimenten aan te vullen. Een beslissingsondersteunend systeem (DSS) is een computer gebaseerd informatiesysteem dat besluitvorming ondersteunt, meestal door het geven van aanbevelingen. Een doeltreffend DSS is een interactief softwarepakket dat landbouwers, adviseurs of beheerders kan helpen bij het nemen van beslissingen die de synthese van talrijke en uiteenlopende gegevens vereisen. In het algemeen incorporeren DSS's een of meer simulatiemodellen waarmee aanbevelingen kunnen worden opgesteld die rekening houden met gewas- en plaats specifieke factoren zoals klimaat, plantdata, bodemtypes, kenmerken van irrigatiesystemen, enz. DSS's zijn meestal softwarepakketten die bestaan uit een of meer simulatiemodellen en communicatietools om inputs en outputs te beheren. Voor gegevensverwerking kan er sprake zijn van verbinding met a) specifieke webdiensten (bv. satellietbeelden, real time tijd, voorspelde en retrospectieve klimaatgegevens, bodemgegevens, gewaskenmerken) en b) sensoren die realtimegegevens verstrekken (bv. klimaat, bodemvochtgehalte). Modelgebaseerde DSS's met sensoren stellen gebruikers in staat de modelvoorspelling te verifiëren en de aanbevelingen te verfijnen.

4.1.7.1 Algemene beschouwingen

Het probleem van modelcomplexiteit versus gebruiksvriendelijkheid

Een belangrijk punt bij de ontwikkeling van modellen en modelgebaseerde DSS's voor praktisch gewasbeheer is de mate van complexiteit van de simulatiemodellen. Toenemende complexiteit verhoogt over het algemeen de nauwkeurigheid van de simulatie. Het zal echter de waarschijnlijkheid verminderen dat dergelijk systeem ook effectief ingang zal vinden. Er wordt algemeen aangenomen dat er een wisselwerking bestaat tussen de nauwkeurigheid van een DSS of simulatie model en de praktische bruikbaarheid ervan (Gallardo et al. 2020). Dit komt doordat telers en voorlichters niet bereid zijn veel tijd te besteden aan het gebruik van een DSS. Bijgevolg willen die potentiële gebruikers eenvoudige, gemakkelijk te gebruiken interfaces en een beperkte manuele gegevensinput. Recente ontwikkelingen bij de toegang tot gegevens uit on-linedatabanken (klimaatgegevens,



bodemgegevens) en van sensoren (b.v. klimaat, bodem, planten) maakt het echter meer en meer mogelijk dat modellen hun complexiteit en nauwkeurigheid kunnen behouden, terwijl de handmatige gegevensinvoer door de gebruikers toch erg beperkt blijft. Simulatiemodellen die in DSS's worden geïntegreerd, moeten dus a) relatief eenvoudig zijn met een klein aantal relatief beschikbare inputs, of b) eenvoudig in het gebruik zijn, maar met de mogelijkheid inputs te verkrijgen uit on-linegegevensbanken en van sensoren om het hogere niveau van complexiteit te bereiken dat nodig is om de nauwkeurigheid van de simulatie te verhogen.

Kalibratie en validatie

Om de nauwkeurigheid van op zichzelf staande simulatiemodellen of modellen die onderdeel zijn van DSS's te verhogen is bijna altijd een zekere kalibratie en validatie van het simulatiemodel nodig. Kalibratie is nodig om de modelcoëfficiënten aan te passen aan de specifieke kenmerken van de gewassoort, de teeltomstandigheden, enz. Bij validatie wordt de prestatie van het gekalibreerde model vergeleken met gemeten waarden. De validatie moet worden uitgevoerd met andere gegevensreeksen dan die welke voor de kalibratie zijn gebruikt, en van een andere plaats. Idealiter zouden de gevalideerde modellen, zodra ze in de DSS's zijn opgenomen, moeten i) worden geëvalueerd onder de commerciële veldomstandigheden waarvoor ze zijn ontworpen, en (ii) vergeleken met de praktijken van lokale telers om hun mogelijke voordeel te begroten (bv. besparing van water en/of meststoffen, economisch rendement) (Mirás-Avalos et al., 2019). De nood aan kalibratie en validatie hangt sterk af van de modelcomplexiteit. In geval van eenvoudige modellen gebruikt in de praktijk van het bemestingsadvies zal een kalibratie en validatie niet nodig zijn, behalve in de fase van het ontwikkelen van het model.

"Stand-alone" of webgebaseerde systemen

DSS kunnen "stand-alone" systemen zijn waarbij het programma rechtstreeks op een apparaat is geïnstalleerd (b.v. computer, smartphone en tablet), of webgebaseerde programma's die kunnen worden geraadpleegd via een smartphone, tablet enz. Het gebruik van computertechnologie, hetzij in stand-alone of webgebaseerde modi, maakt het mogelijk om talrijke en frequente berekeningen te maken, verschillende inputs in aanmerking te nemen, gebruik maken van opgeslagen gegevens in databanken, en het bijhouden van simulatieresultaten. Webgebaseerde programma's hebben praktische voordelen ten opzichte van stand-alone programma's. Gebruikers kunnen toegang krijgen tot informatie vanaf verschillende mobiele apparaten, rechtstreeks in het veld, en door verschillende gebruikers tegelijk. Zowel stand-alone en webgebaseerde DSS's die realtimegegevens gebruiken, vereisen dat gegevens worden ingevoerd van sensoren en/of databanken op regelmatige of continue basis. De huidige generatie DSS's zijn meer en meer webgebaseerd met toegang

via computers, tablets of smartphones en beschikken gewoonlijk over automatische klimaatgegevens uit online databanken of klimaatstations. Zij kunnen, waar nodig, ook worden gebruikt om te werken met remote sensing gegevens en GIS (Acutis et al, 2010). Smartphone apps zijn een zeer effectieve methode om toegang te krijgen tot webgebaseerde DSS's.

Statische versus dynamische modellen

Er zijn globaal twee benaderingen voor simulatiemodellen die in DSS worden opgenomen. Ze zijn ofwel "statisch" in die zin dat standaardomstandigheden worden aangenomen, zoals verwachte opbrengst en gemiddelde klimatologische omstandigheden, of ze zijn "dynamisch" in die zin dat ze berekeningen doen in



functie van de tijd en reageren op voorspelde omstandigheden. Statische benaderingen vereisen minder inputgegevens omdat groei en opbrengst gekend worden verondersteld; databanken met gemiddelde klimaatgegevens kunnen ook in het DSS worden opgenomen, zodat er geen klimaatgegevens hoeven te worden ingevoerd. Dynamische modellen simuleren groei en productie op basis van de werkelijke teeltomstandigheden en kunnen reageren op schommelingen in de feitelijke klimaatomstandigheden.

Hier zal vooral worden ingegaan op de simulatie van de N dynamiek en bemesting vanwege het landbouwkundige en milieubelang ervan. Er zijn twee belangrijke algemene benaderingen waarmee simulatiemodellen en DSS worden gebruikt om te helpen bij het nutriëntenbeheer van gewassen, namelijk (1) berekening van de meststofbehoefte voor individuele gewassen, en (2) scenario-analyse om de effecten aan te tonen van verschillende bemestingspraktijken op de respons van gewassen en nutriëntenverliezen. Een derde opkomende benadering is die van DSS voor de interpretatie van gewas- of bodem metingen (bv. proximale sensoren, bodemanalyses, sapanalyses (Incrocci et al., 2017; Thompson et al., 2017; Padilla et al. (2020)). DDS voor nutriëntenbeheer van diverse gewassen zijn sinds eind jaren tachtig beschikbaar als aangepaste spreadsheets of stand-alone computerprogramma's (Thompson et al., 1997).

In het algemeen bevatten praktische DSS voor de berekening van gewas- en plaats specifieke meststofbehoeften voor afzonderlijke gewassen relatief eenvoudige simulatiemodellen met weinig inputs. De informatie voor deze inputs is over het algemeen gemakkelijk beschikbaar voor telers en adviseurs. Dergelijke DSS hebben relatief weinig parameters die moeten worden gekalibreerd. Voorbeelden van praktische DSS met deze kenmerken zijn CropManage (Cahn et al., 2014) en VegSyst-DSS (Gallardo et al., 2014). Modellen die worden gebruikt voor scenarioanalyse zijn over het algemeen aanmerkelijk complexer met meer inputs en parameters, bv. EU-Rotate_N (Rahn et al., 2010), en ondanks hun nut voor demonstratiedoeleinden zijn ze te complex voor praktische toepassingen.

Voor het bepalen van de N-behoefte van gewassen berekenen modellen en DSS die in de praktijk voor bemestingsadvies worden gebruikt over het algemeen N-balansen (Tei et al., 2020), en schatten veel van de componenten van de N-balans, bijv. gewas N-opname, gemineraliseerde N, N-verliezen. Sommige N-budgetcomponenten, bv. N mineralisatie en N-verliezen kunnen worden geschat met behulp van eenvoudige factoren, betrekkelijk eenvoudige vergelijkingen of modellen. Het totale verlies kan worden geschat op basis van de efficiëntie van het N-gebruik (bv. in VegSyst-DSS). De N-efficiëntieterm is het percentage van de N-bronnen dat wordt teruggevonden in het gewas (Thompson et al., 2017).

In complexere modellen worden de verschillende N-verlies processen afzonderlijk gesimuleerd met submodellen waarvoor tal van inputs nodig zijn. Het schatten van individuele N-verliezen is echter complex, en vaak worden dan ook samengestelde N-verliestermen of N-efficiëntiefactoren gebruikt om zo het aantal inputs realistisch te houden. De N-opname van gewassen wordt meestal gemodelleerd via simulatie van zowel de drogestofproductie als het N-gehalte van het gewas; het product van de twee is de gewas N-opname. Het N-gehalte van het gewas wordt vaak geschat met behulp van N-verdunningscurven (Greenwood et al., 1990).

Andere benaderingen voor de berekening van de N-opname door gewassen zijn gebaseerd op de verwachte opbrengst, die dan een inputparameter wordt, of in meer mechanistische modellen door rekening te houden met N-opname door wortels (Incrocci et al., 2017). De meer complexe modellen (bv. EU-Rotate_N (Rahn

et al., 2010)) simuleren talrijke gewas- en bodemprocessen zoals droge stof productie, N-opname door gewassen, opbrengst, ETC, wortelgroei en -verdeling, wortel N-opname, verschillende componenten van de bodem N en water dynamiek en specifieke N-verliezen. GesCoN is een ander DSS waarbij wortelgroei wordt gemodelleerd en de N-bodemdynamiek wordt gesimuleerd (Elia & Conversa, 2015).

Meer praktische modellen en DSS daarentegen, zoals het VegSyst-DSS (Gallardo et al., 2014) simuleren een klein aantal processen met betrekking tot gewasgroei, N-opname en ETC. Hierdoor wordt de complexiteit vermeden die gepaard gaat met het modelleren van wortelgroei, bodem waterdynamiek, N-transformaties in de bodem en N-verliezen. In wat volgt concentreren we ons vooral op voorbeelden van modellen/DSS die effectief bedoeld zijn om gebruikt te worden in de praktijk.

Modellen en DSS voor toepassing in de praktijk

In Europa zijn verschillende DSS op basis van simulatiemodellen ontwikkeld om te helpen bij de N-bemesting van groenten, bv. N-Expert (Fink en Scharpf, 1993; Feller, 2015), Azofert® (Parneadeau et al., 2009; Machet et al., 2017), VegSyst-DSS (Gallardo et al., 2016) en GeCoN (Elia en Conversa, 2015). Gemeenschappelijk aan deze DSS is de algemene doelstelling om minerale N-meststoffen te gebruiken als aanvulling op organische N-bronnen (bv. bodemorganische stof, gewasresten, mest), en dat de aanvullende hoeveelheid minerale N-meststof voldoende is om maximale productie te garanderen en het verlies aan N te minimaliseren. Gezien de grootste problemen rond bemesting zich voordoen bij groenten hoeft het niet te verwonderen dat veel van deze systemen ook de nadruk leggen op het berekenen van bemestingsadviezen voor groenten. Het N-Expert systeem werd eerder reeds behandeld, gezien dit als een update van het KNS kan beschouwd worden.

Het Franse Azofert®-systeem (uitgebreid beschreven in Bijlage 4) wordt gebruikt om N-aanbevelingen te doen voor talrijke groentegewassen en granen (Parneadeau et al., 2009; Machet et al., 2017). Het is aangepast aan verschillende regio's in Frankrijk, België en Zwitserland (Maltas et al., 2015; Machet et al., 2017). Azofert® gebruikt een N-balansbenadering om een N-bemestingsadvies op te stellen. De N-opname van het gewas is gebaseerd op de verwachte opbrengst en standaardwaarden voor het N-gehalte van gewassen. De meeste N-balanstermen worden gemodelleerd, zoals N-mineralisatie uit verschillende bronnen, en de N-verliestermen zoals immobilisatie, NO₃-uitspoeling en ammoniakvervluchtiging. Bodem minerale N aan het begin van het gewas kan worden gemeten (Machet et al., 2017). Azofert® is een Windows-programma dat werkt in een stand-alone modus of als webgebaseerd programma. Het is ontworpen om te integreren met data management systemen die worden gebruikt door Franse landbouwlaboratoria (Machet et al., 2017). Azofert® probeert de gebruiksvriendelijkheid te maximaliseren door een beperkt aantal inputs en een praktische focus.

De CAL-FERT software (Incrocci et al., 2013) is een DSS dat bemestingsadviezen voor N, P en K berekent voor verschillende groentesoorten, in Toscane, Italië, door rekening te houden met bodemanalyse, opname van nutriënten door gewassen en de mineralisatie van nutriënten uit organisch bodemmateriaal en gewasresten. Het is (in het Italiaans) beschikbaar op <http://www.cespevi.it/softunipi/calfert.html>. De CAL-FERT software

is een statisch model dat werkt met een doelopbrengstwaarde, verstrekt door de gebruiker, en een database van gemiddelde klimaatgegevens op lange termijn. Uit de informatie van de verwachte opbrengst, de teeltdata en de klimaatomstandigheden, past CAL-FERT een N-opnamecurve voor het gewas, die vervolgens wordt gebruikt met een dagelijkse N balansberekening om de dagelijkse N-behoefte te schatten. Gebruikers



kunnen ook real time of voorspelde klimaatgegevens invoeren.

PLANET (Planning Land Applications of Nutrients for Efficiency and the environment, (<http://www.planet4farmers.co.uk/Content.aspx?name=Home>) is een op Windows gebaseerd DSS voor nutriëntenbeheer, ontwikkeld voor gebruik door landbouwers en adviseurs in Engeland, Wales en Schotland. Het geeft aanbevelingen voor N, P en K voor graan- en groentegewassen. PLANET bevat geautomatiseerde versies van zowel de RB209 Fertilizer Manual for England and Wales (zie Thompson et al., 2017; en de technische notities van Scotland's Rural College (SRUC) (http://www.sruc.ac.uk/downloads/120.451/crop_technical_notes). Een deel ervan is in wezen een databank die de talrijke tabellen met bemestingsadviezen van de RB209 Fertilizer Manual, en de relevante Schotse aanbevelingen integreert. Bovendien laat het gedetailleerde registratie van afzonderlijke percelen toe (gewasgeschiedenis, bodemanalyses, mesttoedieningen, grootte van het veld, enz.) en kan het tijdens het teeltseizoen worden bijgewerkt. Ook nutriëntenbalansen kunnen worden berekend. Het PLANET DSS werd recent (2020) herzien door de betreffende Britse instanties. Een aantal commerciële alternatieven zijn beschikbaar, waaronder GateKeeper <https://farmplan.co.uk/crops/gatekeeper-grower/> en Muddy Boots

<http://en.muddyboots.com/>.

FertiliCalc (Villalobos et al., 2020) is een recent ontwikkeld, zeer uitgebreid, stand-alone Windows programma dat de N, P en K-vereisten berekent voor 149 gewassen, waaronder veel groentegewassen, in diverse omgevingen. Het is beschikbaar in 29 talen, en kan worden gedownload op <http://www.uco.es/fitotecnia/fertilicalc.html>. Aanbevelingen voor stikstof zijn gebaseerd op de verwachte opbrengst en op de N-voorraad in de bodem.

Een DSS dat N-meststofaanbevelingen berekent voor bladgroenten werd ontwikkeld door Massa et al. (2013) in Italië. Het simulatiemodel binnen dit DSS berekent de optimale hoeveelheid minerale N in de wortelzone om een maximale productie te garanderen en tegelijkertijd een overmatige N-gift te vermijden. De N bemestingsadviezen die vervolgens worden berekend zijn de hoeveelheden die nodig zijn om het optimale gehalte aan minerale N in de wortelzone te handhaven. Dit DSS is gebaseerd op de dagelijkse simulatie van de N-opname door het gewas en een dagelijkse berekening van de N-balans. Dit DSS werd met succes getest in spinazie (Massa et al., 2013).

Verscheidene DSS's zijn ontwikkeld die zowel de N-opname van gewassen als de irrigatiebehoefte berekenen voor groentegewassen onder fertigatie zoals GesCoN (Elia en Conversa, 2015) en VegSyst-DSS (Gallardo et al., 2014, 2016) in Europa en CropManage (Cahn et al., 2014) in Californië.

Modellen en DSS's voor scenario-analyses van nutriëntenbeheer

Veel van de simulatiemodellen die zijn ontwikkeld voor het evalueren van de effecten van nutriëntenbeheer op de productie en het verlies van nutriënten naar het milieu zijn complexe wetenschappelijke modellen. Het gebruik ervan is over het algemeen beperkt tot wetenschappelijke studies, waar zij worden gebruikt om kennis te bundelen of om een scenarioanalyse uit te voeren. Scenario-analyse neemt gewoonlijk twee vormen aan, namelijk (a) het aantonen van de gevolgen van het beheer aan bepaalde stakeholders, of (b) als alternatief voor dure experimentele veldproeven met meerdere behandelingen.



Over het algemeen simuleren deze modellen de N- en waterdynamiek in het bodem-gewassysteem. Er zijn tal van dergelijke modellen ontwikkeld, zoals EPIC (Williams et al., 1984), STICS (Brisson et al., 2003), CropSyst (Stöckle et al., 2003), en de DSSAT-groep van modellen (Jones et al., 2003). Deze modellen zijn groot en complex, met talrijke inputs. Ze werden in het algemeen ontwikkeld voor graangewassen; er zijn een klein aantal aanpassingen geweest om de N-dynamiek in groentegewassen te simuleren (bv. Caverio et al., 1998; Rinaldi et al., 2007; Onofri et al., 2009). Hoewel zij een aanzienlijke wetenschappelijke waarde kunnen hebben, is hun praktische gebruikswaarde voor N-beheer van commerciële groentegewassen beperkt. Het EU-Rotate_N model behoort ook tot deze categorie, maar wordt hier verder niet besproken omdat dit model al in tal van andere studies uitgebreid besproken en gebruikt is.

CropSyst is een gevestigde suite van programma's voor de analyse van gewasproductie en milieubeheer en -performantie op verschillende temporele en ruimtelijke schalen (Stöckle et al., 2003). De meeste studies zijn uitgevoerd met granen; er is weinig werk verricht met groentegewassen. Twee uitzonderingen zijn Giménez et al. (2016) met knoflook, en Suárez-Rey et al. (2016) met bladgroenten. Deze laatsten rapporteerden dat het onvermogen van CropSyst om rekening te houden met druppel irrigatie en fertigatie een belangrijke beperking was voor het gebruik ervan met groentegewassen.

Referenties simulatiemodellen en DSS

- Acutis, M., Perego, A., Bernardoni, E., Rinaldi, M., 2010. AQUATERS software as a DSS for irrigation management in semi-arid Mediterranean areas. *Ital. J. Agron.* 5, 205–215.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussièrre, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillère, J.P., Hénault, C., Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H., 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.* 18 (3), 309–332.
- Cahn, M., Smith, R., Farrara, B., Hartz, T., Johnson, L., Melton, F., Post, K., 2014. Irrigation and nitrogen management decision support tool for vegetables and berries. In: *Proceedings of the U.S Committee on Irrigation and Drainage Conference: Groundwater Issues and Water Management—Strategies Addressing the Challenges of Sustainability USCID*. Sacramento, CA, USA. pp. 53–64.
- Caverio, J., Plant, R.E., Shennan, C., Williams, J.R., Kiniry, J.R., Benson, V.W., 1998. Application of Epic model to nitrogen cycling in irrigated processing tomatoes under different management systems. *J. Agric. Food Syst. Community Dev.* 56, 391–414.
- Elia, A., Conversa, G., 2015. A decision support system (GesCoN) for managing fertigation in open field vegetable crops. Part I—methodological approach and description of the software. *Front. Plant Sci.* 6, 319.
- Feller, C., 2015. N-Expert – Fertiliser Recommendations for Field Vegetables. <http://www.igzev.de/n-expert/?lang=en>
- Fink, M., Scharpf, H.C., 1993. N-expert- a decision support system for vegetable fertilization in the field. *Acta. Hortic.* 339, 67–74.



- Gallardo, M., Thompson, R.B., Giménez, C., Padilla, F.M., Stöckle, C.O., 2014. Prototype decision support system based on the VegSyst simulation model to calculate crop N and water requirements for tomato under plastic cover. *Irrig. Sci.* 32, 237–253.
- Gallardo, M., Elia, A., Thompson, R.B., 2020. Decision support systems and models for aiding irrigation and nutrient management of vegetable crops. *Agr. Water Manage* 240: 106209.
- Gallardo, M., Fernández, M.D., Giménez, C., Padilla, F.M., Thompson, R.B., 2016. Revised VegSyst model to calculate dry matter production, critical N uptake and ET_c of several vegetable species grown in Mediterranean greenhouses. *Agric. Syst.* 146, 30–43.
- Giménez, C., Stöckle, C.O., Suárez-Rey, E.M., Gallardo, M., 2016. Crop yields and N losses tradeoffs in a garlic-wheat rotation in southern Spain. *Eur. J. Agron.* 73, 160–169.
- Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., Neeteson, J.J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66, 425–436.
- Incrocci, L., Massa, D., Pardossi, A., 2017. New trends in the fertigation management of irrigated vegetable crops. *Horticulturae* 3, 37.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18 (3), 235–265.
- Machet, J.-M., Dubrulle, P., Damay, N., Duval, R., Julien, J.L., Recous, S., 2017. A dynamic decision-making tool for calculating the optimal rates of N application for 40 annual crops while minimising the residual level of mineral N at harvest. *Agronomy* 7, 73.
- Maltas, A., Machet, J.-M., Le Roux, C., Damay, N., Sinaj, S., 2015. Evaluation of AzoFert[®], a software tool for optimizing nitrogen fertilization of Swiss field crops. *Recherche Agronomique Suisse* 6, 336–345.
- Massa, D., Incrocci, L., Incrocci, G., Diara, C., Pardossi, A., 2013. An integrated model for the management of nitrogen fertilization in leafy vegetables. In: D’Haene, K., Vandecasteele, B., De Vis, R., Crapé, S., Callens, D., Mechant, E., Hofman, G., De Neve, S. (Eds.), *Proceedings of the NUTRIHORT, Nutrient Management Innovative Techniques and Nutrient Legislation in Intensive Horticulture for an Improved Water Quality Conference*. Ghent, Belgium. pp. 174–178, 16-18 September 2013.
- Mirás-Avalos, J.M., Rubio-Asensio, J.S., Ramírez-Cuesta, J.M., Maestre-Valero, J.F., Intrigliolo, D.S., 2019. Irrigation-advisor—a decision support system for irrigation of vegetable crops. *Water* 11, 2245.
- Onofri, A., Beccafichi, C., Benincasa, P., Guiducci, M., Tei, F., 2009. Is CropSyst adequate for management-oriented simulation of growth and yield of processing tomato? *J. Appl. Hortic.* 11 (1), 17–22.
- Padilla, F.M., Farneselli, M., Gianquinto, G., Tei, F., Thompson, R.B., 2020. Monitoring N status of vegetable crops for optimal N management. *Agric. Water Manage*.



- Parneadeau, V., Jeuffroy, M.H., Machet, J.M., Reau, R., Bissuel-Belaygue, C., Eveillard, P., Ostergaard, H.S., Orson, J.A., 2009. Methods for determining the nitrogen fertiliser requirements of some major arable crops. In: Proc. of the International Fertiliser Society, No. 661. International Fertiliser Society. York, UK. pp. 2–26.
- Rahn, C.R., Zhang, K., Lillywhite, R., Ramos, C., Doltra, J., de Paz, J.M., Riley, H., Fink, M., Nendel, C., Thorup-Kristensen, K., Pedersen, A., Piro, F., Venezia, A., Firth, C., Schmutz, U., Rayns, F., Strohmeyer, K., 2010. EU-Rotate_N - a european decision support system - to predict environmental and economic consequences of the management of nitrogen fertiliser in crop rotations. *Eur. J. Hortic. Sci.* 75, 20–32.
- Rinaldi, M., Ventrella, D., Gagliano, C., 2007. Comparison of nitrogen and irrigation strategies in tomato using CROPGRO model. A case study from Southern Italy. *Agr. Water Manage.* 87 (1), 91–105.
- Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18 (3), 289-307.
- Suárez-Rey, E.M., Romero-Gámez, M., Giménez, C., Thompson, R.B., Gallardo, M., 2016. Use of EU-Rotate_N and CropSyst models to predict yield, growth and water and N dynamics of fertigated leafy vegetables in a Mediterranean climate and to determine N fertilizer requirements. *Agric. Syst.* 149, 150-164.
- Tei, F., de Neve, S., de Haan, J., Kristensen, H., 2020. N management of vegetable crops. *Agric. Water Manage.* 240: 106316.
- Thompson, R.B., Morse, D., Kelling, K., Lanyon, L., 1997. Computer programs that calculate manure application rates. *J. Prod. Agric.* 10, 58-69.
- Thompson, R.B., Tremblay, N., Fink, M., Gallardo, M., Padilla, F.M., 2017. Tools and strategies for sustainable nitrogen fertilisation of vegetable crops. In: Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (Eds.), *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. Advances in Olericulture.* Springer, Cham, Switzerland, pp. 11-63.
- Villalobos, F.J., Delgado, A., López-Bernal, A., Quemada, M., 2020. FertilCalc: a decision support system for fertilizer management. *Int. J. Plant Prod.* 14, pages 299-308.
- Williams, J.R., Jones, C.A., Dyke, P.T., 1984. A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27, 129-144.

4.2 PARAMETERWAARDEN VOOR N EN P IN BEMESTINGSADVIESSYSTEMEN

Het opstellen van een correct bemestingsadviessysteem start met een goede kennis van alle (bodem)processen die belangrijk zijn voor het formuleren van een N en P advies. Enkel vanuit deze kennis kan de juiste informatie worden opgevraagd bij de landbouwer, en kunnen de juiste parameters in het advies worden opgenomen. Voor alle belangrijke processen (vooral N inhoud en N mineralisatie uit alle mogelijke organische stikstofbronnen, inclusief oogstresten, groenbemesters en vanggewassen) werden richtwaarden van deze parameters (verder ook parameterwaarden genoemd) verzameld samen met een typische vork (waarnaar verder ook soms



verwezen wordt als variatie). De R nummering is gebruikt om deze referenties duidelijk te scheiden van de andere (algemene) referenties in het rapport. Op die manier blijven deze bronnen gebruikt voor het opzoeken van deze parameterwaarden mooi samen en vormen een coherent geheel.

4.2.1 Parameterwaarden voor N

4.2.1.1 Gewas N opname

Bestaande literatuur (rapporten, publicaties) afkomstig uit België en regio's uit omliggende landen met vergelijkbare landbouwpraktijk en klimaat werd doorzocht op opnamecijfers van N door landbouwgewassen die gangbaar geteeld worden in Vlaanderen. A.d.h.v. variatie op gevonden cijfers van verschillende bronnen bekomen we een maat van de te verwachten spreiding op de N-opname door deze gewassen. Dit geeft dan ook weer een indicatie van de onzekerheid op de bodem N-balans geïntroduceerd door de term gewas N-opname. In totaal werden 11 bronnen geraadpleegd (Tabel 5) en uit R4 en R10 werden bijkomend N-opname cijfers berekend, en deze bronnen worden voor dit deel weergegeven door een specifieke nummering (formaat Rn).

Tabel 5: bronnen geraadpleegd voor het specifieke deel van de parameterwaarden voor N opname door gewassen (genummerd als Rn)

R1	Berekeningen a.d.h.v. R10, met aanname opbrengstcijfers ALV_Raming van de gemiddelde opbrengst van 2001-2010, verse opbrengst van het hoofdproduct.
R2	Technisch document MAP4 Akkerbouw, totale productie
R3	Technisch document MAP4 Groenten, brutoproductie
R4	Kennisakker.nl (2022) http://kennisakker.nl Protect'eau (2022) https://protecteau.be/fr/nitrate/agriculteurs/fertilisation-raisonnee/ferti-culture
R5	Bodemkundige Dienst van België & UGent (2008) Analyse van nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw. VLM/MESTBANK/TWOL2006/MB2006/4. Vlaamse Landmaatschappij afdeling Mestbank, Brussel, 185p.
R6	AHDB (2017) Nutrient management Guide. Section 6: vegetables and bulbs (RB209). Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB), Warwickshire, 47 p.
R7	D'Haene et al. (2019) Stikstofbemesting in vollegrondsgroenten: een economische - ecologische benadering. Vlaamse Landmaatschappij, Brussel, 52p.
R8	Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P.-J., Scharpf, H.-C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., Ziegler, J. (2011) Düngung Im Freilandgemüsebau. Leibniz-Institut für Gemüse- Und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren, 265 p.
R9	Manchet et al. (2017) A Dynamic Decision-Making Tool for Calculating the Optimal Rates of N Application for 40 Annual Crops While Minimising the Residual Level of Mineral N at Harvest. <i>Agronomy</i> 7, 73 (doi:10.3390/agronomy7040073)
R10	Coopman et al. (2014) (Het documenteren en milieukundig bijstellen van het KNS en andere bemestingsadviesystemen in de tuinbouw met het oog op een ruimere toepassing in de tuinbouw zoals voorzien in het Actieprogramma 2011-2014). Vlaamse Landmaatschappij, Brussel, 233p.
R11	



Smit, A.L. (1994). Stikstofbenutting. In: Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt.
R12 Themaboek nr 18. p 9-22. PAGV. Lelystad.

Enkel gewassen waarvan tenminste twee N-opname getallen werden bekomen werden opgenomen in Tabel 6. Van gewassen met tenminste vier verschillende gevonden N-opnamecijfers werden eveneens box-plots aangemaakt (Figuur 20, Figuur 21).

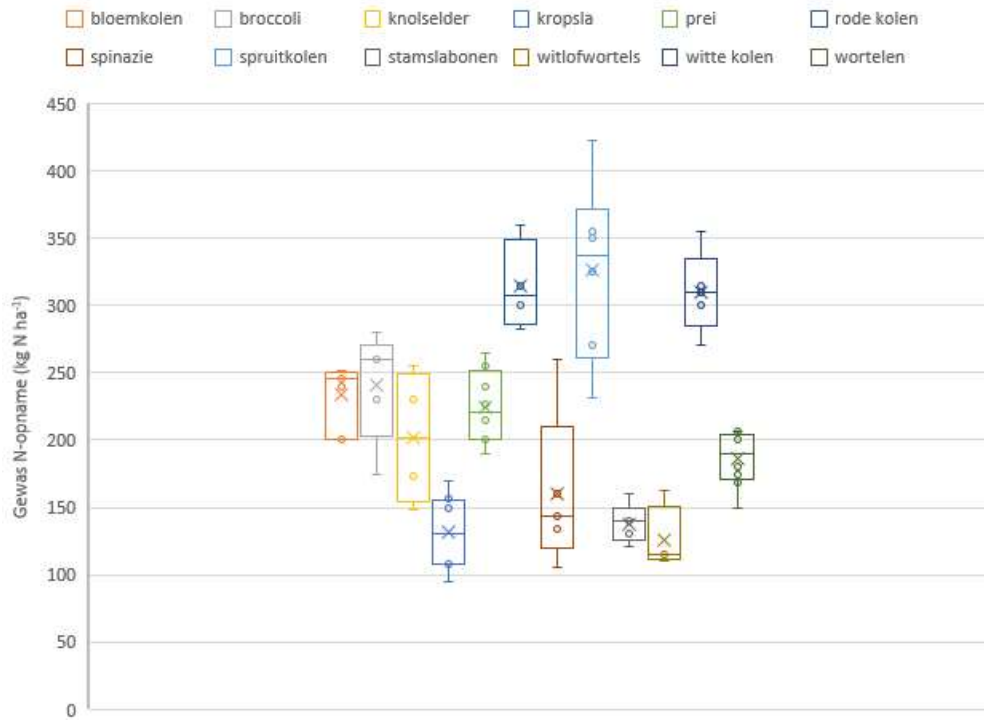


Tabel 6: Spreiding op aangenomen (overzichtsrapporten, N-adviesystemen) of gemeten volledige gewas N-opname (kg N ha⁻¹) volgens verschillende bronnen.

Teelt	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	MIN	MED	MAX	n
aardappelen		265		200	250								200	200	225	265	4
bloemkolen			250				250	246	200	251		240	200	200	246	251	8
broccoli							260			260	230	280	175	175	260	280	5
cichorei					200	150					200			150	200	200	3
erwten droog geoogst							180			188			225	180	188	225	3
gerst, wintergerst	175	162												162	169	175	3
gerst, zomergerst	120				124									120	122	124	2
haver	103	162			126									103	126	162	3
knolselder			255				230			173			148	148	202	255	4
koolzaad, winterkoolzaad	222				200									200	211	222	2
koolzaad, zomerkoolzaad	173				214									173	194	214	2
kropsla			170	110			150	157	110	108		150	95	95	130	170	9
maïs, korrelmaïs	231	207			200	260								200	219	260	5
maïs, snijmaïs	252	216			200	260							255	200	252	260	6
prei			255	200			240	265	190	227		215	200	190	221	265	9
raapkolen							170			179			150	150	170	179	3
rode kolen							300			282		315	360	282	308	360	4
savooikolen							300			263		320		263	300	320	3
spinazi									134	144	260	160	105	105	144	260	7
spruitkolen			270				325	350	355	423			232	232	338	423	6
stamslabonen							140			121	160	130	140	121	140	160	5
suikerbieten		278			240						220		250	220	245	278	5
tarwe, wintertarwe	240	209			214								245	209	227	245	5
tarwe, zomertarwe	179				147									147	163	179	2
triticale	208	206												206	207	208	2
ui											160	195	125	125	160	195	3
voederbieten		390	390		280						260		350	260	350	390	5
witlofwortels							115			163	110		115	110	115	163	4
witte kolen			310				300			270		355	315	270	310	355	5
wortelen			180				175	169	206	207	200	200	150	150	190	207	9



GROENTEN



Figuur 20 Variatie in veronderstelde volledige gewas N-opname door groenten waarvoor minimaal 4 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde.



AKKERBOUW & VOEDERGEWASSEN



Figuur 21 Variatie in veronderstelde volledige gewas N-opname door akkerbouw- en voedergerewassen waarvoor minimaal 4 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde.

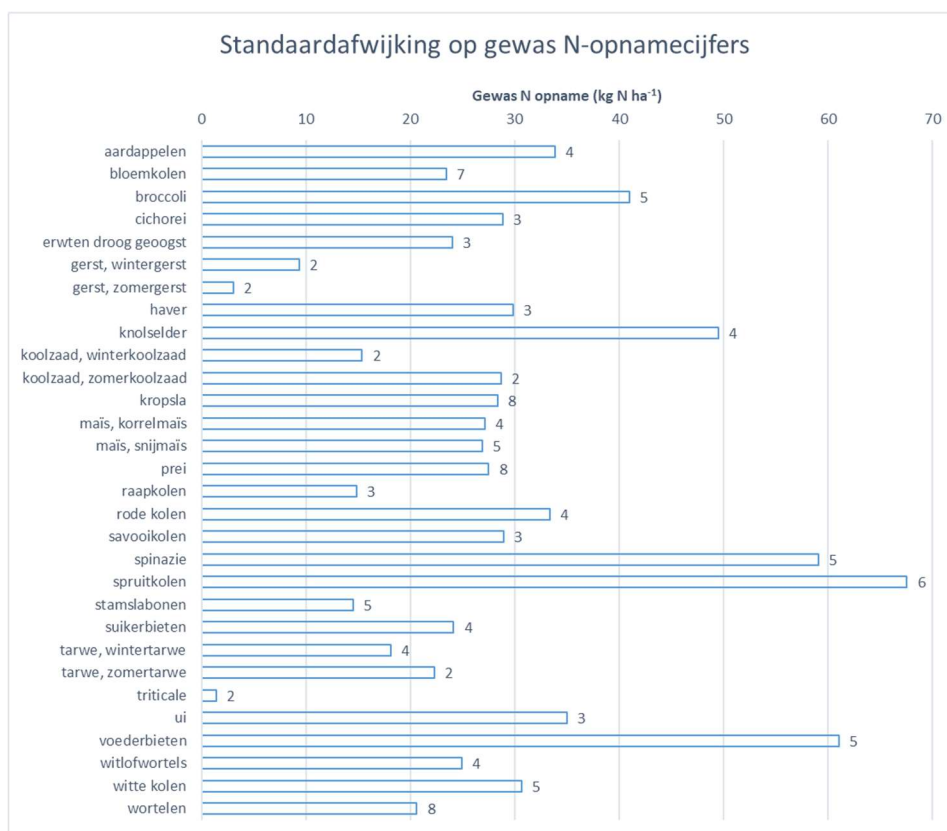
Uit Figuur 20 blijkt dat er voor sommige groenteteelten grote verschillen bestaan in aangenomen gemiddelde gewas N-opname. Meer bepaald was er een grote spreiding op de gerapporteerde N-opname van knolselder, spinazie en spruitkolen, met een contrast tussen de hoogste en laagste waarde van zo'n 100 kg N ha⁻¹.

Bij andere groenten (bloemkool, kropsla, prei, stamslabonen, witlof, wortelen) waren verzamelde cijfers meer in overeenstemming (verschillen eerder beperkt tot zo'n 50 kg N ha⁻¹). De mediaan en gemiddelde waarden lagen ook dicht bij elkaar wat erop duidt dat de gevonden spreiding niet grotendeels aan één of twee sterk afwijkende studies lag.

Uit Figuur 21 valt op dat voor de meeste akkerbouw en voedergerewassen de spreiding in de aangenomen gemiddelde gewas N-opname ongeveer 50 kg N ha⁻¹ bedraagt, een stuk beperkter dus dan de vollegrondsgroenten. Een uitzondering hierop vormt voederbiet. Voor voeder en graangewassen werd de N-opname lineair afhankelijk gesteld van de gewasopbrengst door een aantal referenties zoals bv. in het Waalse online advies van Protect'eau (2022). Hierbij werden gemiddelde opbrengsten voor Vlaanderen uit ALV-schattingen gehanteerd. Gezien dit lineaire verband tussen opbrengst en gewas N-opname vertaalt de variatie in de aangenomen opbrengst zich meteen ook naar een zekere afwijking in de aangenomen N-opname. B.v. volgens statbel was de opbrengst van winter tarwe in 2016 en 2019 respectievelijk 6.8 t ha⁻¹ en 9.5 t ha⁻¹, wat

zou resulteren in een verwachte N-opname van 170 en 237 kg N ha⁻¹. Voor deze opdracht werden gemiddelde opbrengstcijfers gebruikt waardoor deze variatie eigen aan adviessystemen die N-opname afhankelijk stellen van gewasopbrengst niet werd doorgerekend. Nu blijkt wel dat deze variatie (weer zo'n 50 kg N ha⁻¹) van dezelfde grootteorde was als de typische spreiding in N-opname cijfers gevonden tussen de hier beschouwde bronnen.

Tenslotte tonen we in Figuur 22 ook de berekende standaardafwijking op de volledige gewas N-opname dataset, met inbegrip van gewassen waarvoor slechts twee cijfers beschikbaar waren. Er blijkt steeds een standaardafwijking te bestaan op de N-opnamecijfers van zo'n 20-30 kg N ha⁻¹. M.a.w. ± 7 op de 10 keer zal de aangenomen gewas N opname niet meer dan 20-30 kg N ha⁻¹ afwijken van het gemiddelde van de binnen deze opdracht verzamelde cijfers.



Figuur 22: Standaardafwijking op een compilatie van gewas N-opname cijfers gerapporteerd door verschillende bronnen; het aantal beschikbare kengetallen staat steeds per gewas aangegeven

4.2.1.2 Nalevering van N uit oogstresten

Aanvullend op referenties R1-R12 werden specifiek ook volgende publicaties geraadpleegd om de spreiding op aangenomen N-nalevering uit gewasoogstresten in kaart te brengen.

Tabel 7: Bijkomende bronnen geraadpleegd voor het specifieke deel van de N nalevering uit oogstresten (genummerd als Rn)

R15	Vlaar L.N.C., Leendertse P.C., Kool A., Luske B. (2008) Emissiereductie van broeikasgassen in open teelten, ontwikkeling van een klimaatmodule voor het Milieukeurschema Plantaardige producten. LM Onderzoek en advies & Blonk Milieu Advies, Gouda 96p.
R16	Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., Willekens, K., De Neve, S. (2014). 'Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP4): Hoofdrapport', studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 149p.
R20	L.J.M. Kater en S.A.M. de Kool (2004) Management van oogstresten van vollegrondsgroentegewassen PPO 330775. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
R21	Geypens M., Herelixka E., Vogels N., Hofman G., D'haene K., Librecht J. & Van Orshoven J. (2002) Onderbouwing Van Het Derogatieverzoek En Mogelijke Managementmaatregelen Ter Beperking Van De Residuele Stikstof. KVIV-studie- en vervolmakingsdag 'Stikstofproblematiek in de landbouw: evaluatie, maatregelen, consequenties'. Proceedings, 89-125.
R22	HilHorst G., Verloop K. (2018) Koeien en kansen rapport nr. 83. Uitspoeling risico van maïsstro. Resultaten experiment De Marke. Wageningen Livestock Research, Wageningen. 15p. (https://doi.org/10.18174/464558)

Tabel 8: Gerapporteerde N-inhoud van gewas-oogstresten (kg N ha⁻¹) uit verschillende bronnen (metingen en overzichtscijfers) (MIN, MED, MAX respectievelijk minimum, mediaan en maximum)

Gewas	R8	R6	R9	R15	R16	R20	R21	R22	MIN	MED	MAX
aardappelen	20		20	26		61			20	23	61
asperge 1 jaar			23	24		73			23	24	73
bloemkolen	130	130	120		140	114			114	130	140
broccoli	175	175	155			122			122	165	175
bruine bonen		95							95	95	95
erwten droog geoogst	120	120	188						120	120	188
gerst, wintergerst			18	2					2	10	18
gerst, zomergerst			14	2					2	8	14
gras, tijdelijk grasland							45		45	45	45
graszaad				28					28	28	28
knolselder	100	100	75		60				60	87	100
kropsla		40	20			31			20	31	40
maïs, korrelmaïs			0					35	0	17	35
maïs, snijmaïs			0	2			25		0	1	25

prei	75	80	60	53	75	53	75	80
raapkolen		80	52			52	66	80
rode kolen	140	140	175		114	114	140	175
rogge (gewone teelt)			19	2		2	10	19
savooikolen		140	140			140	140	140
spinazie				62	36	36	49	62
spruitkolen	190	190	135		169	200	135	190
stamslabonen	95	95	95				95	95
suikerbieten			120	174		140	120	140
tarwe, wintertarwe			45	3	31	30	3	31
tarwe, zomertarwe				3			3	3
ui				4			4	4
veldbonen		90		16			16	53
voederbieten						90		90
witlofwortels		44	44		36		36	44
witte kolen	150	150	115		175	124	115	150
wortelen		75	40	99			40	75

Gewassen met een grote N behoefte en totale opname zoals koolsoorten, broccoli, suiker- en voederbieten, maar ook leguminosen als erwten, bruine bonen en stamslabonen laten veel N ($> 90 \text{ kg N ha}^{-1}$) in hun oogstresten achter op het veld. De variatie op teruggevonden cijfermateriaal is vrij groot, maar toch beperkter dan voor gehele plant N-opname. Typisch was de spreiding tussen het hoogst en laagst teruggevonden N-gehalte van oogstresten voor deze N-behoefteige gewassen zo'n $40\text{-}50 \text{ kg N ha}^{-1}$. Bij een tweede groep gewassen met gemiddelde N-inhoud van oogstresten, à ratio $40\text{-}80 \text{ kg N ha}^{-1}$, (wortelen, veldbonen, prei, raapkolen, knolselder, tijdelijk gras, spinazie, witlofwortels), en bedroeg deze spreiding op teruggevonden cijfers weer zo'n $30\text{-}50 \text{ kg N ha}^{-1}$. Ten derde zijn er heel wat gewassen met erg lage hoeveelheid N aanwezig in achtergebleven oogstresten (mediaan $< 35 \text{ kg N ha}^{-1}$), onder andere voor graangewassen waarbij stro wordt afgevoerd (tarwe, gerst, rogge), maar ook aardappelen, ui, kropsla, maïs en asperge. Voor deze groep is de spreiding op gerapporteerde cijfers doorgaans beperkter tot $10\text{-}40 \text{ kg N ha}^{-1}$.

Vervolgens werden rapporten en overzichtspublicaties en gegevens uit enkele N-bemestingsadviesystemen rond N-nalevering aan de volgende teelt bijeengebracht in Tabel 9. Enkel studies waarbij oogstresten op het veld werden achtergelaten werden beschouwd voor bepaling van de vork op gerapporteerde N-nalevering. In de laatste kolom van Tabel 9 worden ook enkele cijfers uit R10 gegeven voor N-nalevering aan een volgteelt in hetzelfde jaar. Bij alle gerapporteerde cijfers wordt ook N-nalevering beschouwd na een N-min meting, t.t.z. vrijstelling van N ten gunste van de teelt (in $\pm \text{apr/mei-sep}$) nog niet mee gemeten bij een staalname voor minerale N bodemanalyse in het voorjaar. Een uitzondering hierop vormt bron R2a, waar niet werd uitgegaan van een N-min meting en bijgevolg de volledige N-vrijstelling en nalevering werd opgegeven.

Tabel 9: Gerapporteerde N-nalevering door mineralisatie van gewasoogstresten (kg N ha⁻¹) uit verschillende bronnen (metingen en overzichtscijfers) (MIN, MED, MAX, respectievelijk minimum, mediaan en maximum) voor een vervolgteelt in het volgende jaar (uitgezonderd voor R10b). Cijfers van de N-nalevering volgend na een N-min meting

Gewas	R10a	R2a	R2b ^c	R5 ^a	R7	R17	R22	MIN	MED	MAX	R10b ^b
aardappelen				20	0	6		0	6	20	
bloemkolen	30	30	20					20	30	30	40-60
broccoli	30	30	20					20	30	30	40-60
bruine bonen				30	30			30	30	30	30-40
cichorei				10				10	10	10	
erwten droog geoogst				30	30	15		15	30	30	50-80
gerst, wintergerst		0	0	-5	0			-5	0	0	
gerst, zomergerst		0	0	-5	0			-5	0	0	
graszaad					0			0	0	0	
haver				-5	0			-5	-2,5	0	
klaver, rode klaver					30			30	30	30	
klaver, witte klaver					30			30	30	30	
koolzaad, winterkoolzaad				20	10			10	15	20	
koolzaad, zomerkoolzaad				20	10			10	15	20	
kropsla								-	-	-	30-40
luzerne		75	50	30	30			30	40	75	
maïs, ccm		0	0		10			0	0	10	
maïs, korrelmaïs		0	0	-20	10		0	-20	0	10	
maïs, snijmaïs				0	0			0	0	0	
prei	30	20	14					14	20	30	
rode kolen	30	30	20					20	30	30	40-60
rogge (gewone teelt)		0	0	-5	0			-5	0	0	
savooikolen	30	30	20					20	30	30	
spelt		0	0	-5				-5	0	0	
spinazie						10		10	10	10	
spruitkolen	30	40	27					27	30	40	40-60
stamslabonen				30	30	10		10	30	30	30-40
suikerbieten	30	30	20	20	20	15		15	20	30	
tarwe, wintertarwe		0	0	-5	0			-5	0	0	
tarwe, zomertarwe		0	0	-5	0			-5	0	0	
triticale		0	0	-5	0			-5	0	0	
veldbonen				30	30			30	30	30	30-40

vlas, vezelvlas				0			0	0	0	
vlas, zaad				0			0	0	0	
voederbieten		30	20	20	30	27	20	27	30	
witlofwortels				10		8	8	9	10	
witte kolen	30	30	20				20	30	30	40-60
wortelen				10		13	10	11,5	13	

^a gemiddelde van gerapporteerde uitersten

^b N-nalevering aan volgteelt in hetzelfde jaar; cijfer niet opgenomen in de statistieken

^c Zonder N-min meting

De gewassen kunnen in twee groepen worden onderverdeeld, nl. groentegewassen, luzerne, klaver en bieten met enkele tientallen kg N-nalevering en andere gewassen waarbij N-nalevering verwaarloosbaar is binnen de bodem N balans. Bij de eerste groep is spreiding beperkt tot 10-20 kg N ha⁻¹, behalve voor luzerne. Voor graangewassen, incl. maïs, vlas, wortelen, witlof en aardappelen is er een N-nalevering van 0 tot zo'n 10 kg N ha⁻¹ en is het weinig zinvol om variatie in uit literatuur gevonden cijfers verder te beschouwen. De N-nalevering wordt in sommige N-adviesystemen afhankelijk gesteld van gewas specifieke N-mineralisatie parameters en weersomstandigheden (temperatuur en bodemvochtbeschikbaarheid). Enkele testberekeningen met de methodiek gehanteerd door het Franse Azofert systeem gaf een algemeen lage N-nalevering voor alle gewassen (0-20 kg N ha⁻¹) tussen mei en augustus bij inwerking van oogstresten in eind oktober, ook voor N-rijke groentegewasresten. Allicht werd de N-mineralisatie tot aan de N-min meting in april voor de Vlaamse situatie overschat en daarom werd besloten om geen cijfermateriaal uit Azofert mee te nemen in de hier getoonde analyse van N-naleveringscijfers.



Tabel 10: N-nalevering aan de volgende teelt (in kg N ha⁻¹) na inwerken van groenbemesters

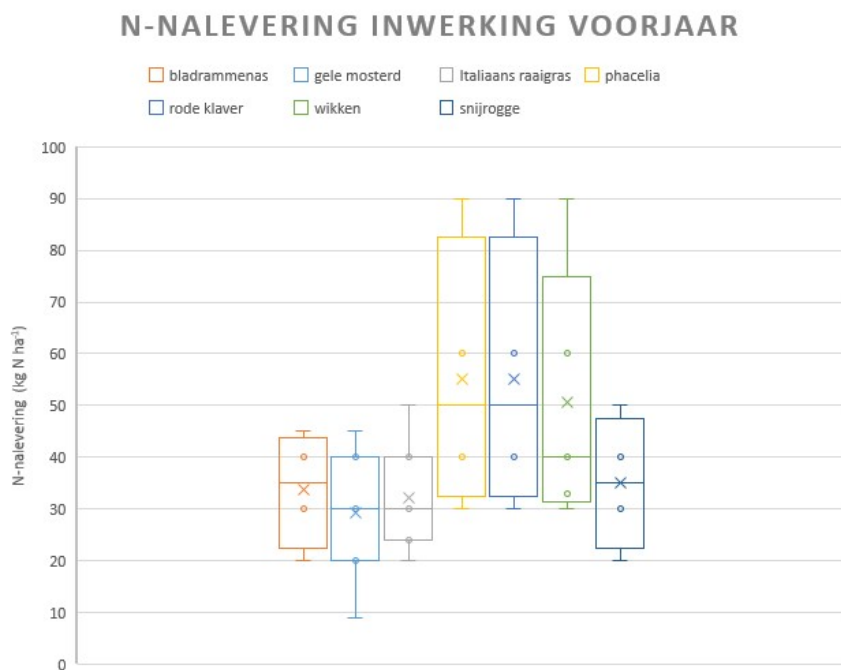
Tijdstip inwerken/afsterven	voorjaar												goed of normaal			
	Ontwikkeling	goed	matig	goed	zwak	goed	matig	zwak	hoog	normaal				MIN	MED	MAX
Referentie	R10	R10	R2	R2	R11	R11	R11	R7	R5	R5	R17 ^a	R18 ^a				
bladrammenas	30	15	40	20	45	30	15	20						20	35	45
gele mosterd	30	15	40	20	45	30	15	20	45	30	9	31		9	30	45
gras na maïs	30	15						0						0	15	30
Engels raaigras	30	15	40	20	50	35	20	20	40	30				20	30	50
Italiaans raaigras	30	15	40	20	50	35	20	20	40	30	24	31		20	30	50
phacelia					45	30	15	20	30	25				20	25	45
klaver, rode klaver			60	30	90	60	30	40	45	30				30	50	90
klaver, witte klaver			60	30	90	60	30	40	45	30				30	50	90
wikken			60	30	90	60	30	40	45	30		33		30	40	90
snijrogge			40	20	50	35	20	20	40	30				20	35	50

Tabel 10 *vervolg*

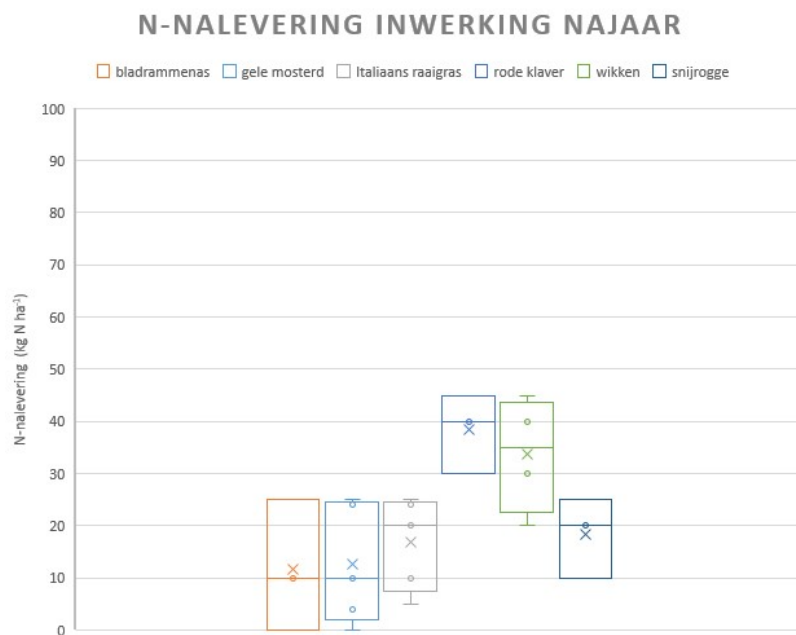
Tijdstip inwerken/afsterven	najaar									goed of normaal			
	Ontwikkeling	goed	zwak	goed	matig	zwak	zwak				MIN	MED	MAX
Referentie	R2	R2	R7	R11	R11	R11	R5	R17 ^a	R18 ^a				
bladrammenas	0	0	10	25	15	10					0	10	25
gele mosterd	0	0	10	25	15	10	15	4	24		0	10	25
gras na maïs			0								0	0	0
Engels raaigras	20	10	10	25	15	10	20				10	20	25
Italiaans raaigras	20	10	10	25	15	10	20	5	24		5	20	25
phacelia			10	25	15	10	20				10	18	25
klaver, rode klaver	40	20	30	45	30	15	15				30	40	45
klaver, witte klaver	40	20	30	45	30	15	15				30	40	45
wikken	40	20	30	45	30	15	15		20		20	35	45
snijrogge	20	10	10	25	15	10	20				10	20	25

^a gemiddelde van twee gerapporteerde waarden





Figuur 24: Variatie in gerapporteerde N-nalevering bij inwerken in het voorjaar van groenbemesters waarvoor minimaal 3 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde



Figuur 25: Variatie in gerapporteerde N-nalevering bij inwerken in het najaar van groenbemesters waarvoor minimaal 3 kengetallen beschikbaar waren; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde



Uit Figuur 24 en Figuur 25 komt naar voor dat bij voorjaarsinwerking N-fixerende groenbemesters (Klaver, Wikken) veel N naleveren en dat spreiding tussen minimale en maximale waarde groot kan zijn, nl. zo'n 60 kg N ha⁻¹. Voor niet-N-fixeerders en bij najaarsinwerking in het algemeen is spreiding op de gerapporteerde N-nalevering veel kleiner, nl. zo'n 20 kg N ha⁻¹.

Tabel 11: Gewas N-opname (in kg N ha⁻¹) in functie van gewashoogte (overgenomen uit Selin Noren et al. (2021))

Soort	Gewashoogte (cm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>Japanse haver</i>	20	35	45	55	60	70	75	80	80	85
<i>Bladrammenas</i>	25	35	45	55	75	100	125	165	215	280
<i>Facelia</i>	-	25	40	55	70	85	90	90	90	-

Tabel 12: Gewas N-opname (in kg N ha⁻¹) in functie zaaitijdstip (overgenomen uit Selin Noren et al. (2021))

Soort	Zaaitijdstip						
	15-Jul	01-Aug	15-Aug	01-Sep	15-Sep	01-Okt	15-Okt
<i>Winterrogge</i>	-	-	-	-	75	55	40
<i>Japanse haver</i>	-	115	75	45	40	35	25
<i>Wikke</i>	-	-	-	-	95	-	-
<i>Bladrammenas</i>	240	175	110	80	55	40	-
<i>Italiaans raaigras</i>	-	-	-	-	-	40	-
<i>Facelia</i>	-	70	45	30	25	-	-
<i>Rietzwenkgras</i>	-	-	-	-	40	40	-
<i>Gele mosterd</i>	145	120	95	80	65	55	-
<i>Wintergerst</i>	-	-	-	40	40	40	20
<i>Tagetes</i>	125	125	125	-	-	-	-

Uit Tabel 11 en Tabel 12 Figuur 25 blijkt verder dat N-opname bijna een factor 10 kan verschillen tussen zeer slechte en zeer goede ontwikkeling. De opname van N door een groenbedekker varieert doorgaans tussen 20 en 100 kg N/ha, met extremen tussen 20 en 280 kg N ha⁻¹. Gezien alle biomassa van groenbemesters terugkeert naar de bodem zal er logischerwijze ook in de praktijk een grote spreiding bestaan op potentiële N-nalevering afhankelijk van de gewasontwikkeling. De in Tabel 10 geïllustreerde spreiding op gerapporteerde N-nalevering na inwerken van groenbemesters blijkt hiermee niet proportioneel te zijn, allicht omdat vnl. wordt uitgegaan van gemiddelde groenbemesterontwikkeling in zowel de literatuur als in de bemestingsadviessystemen. Maar verder bestaat er uiteraard ook geen één op één verband tussen N-opname en nalevering doordat een deel N wordt geïmmobiliseerd in bodem organische stof of pas traag wordt vrijgegeven bij langzame afbraak van ingewerkte groenbemesterresten. Zo stelden Reubens et al. (2010) dat er tot maximum 1/3 van de opgenomen

N nuttig gebruikt kan worden door het volggewas. In een gemiddeld jaar vertaalt dit zich in een bescheiden winst aan N-vrijstelling in de orde van 5 tot 20 kg N ha⁻¹, met cijfers die kunnen oplopen tot 80 kg N ha⁻¹.

4.2.1.4 N levering uit toegediende organische mest

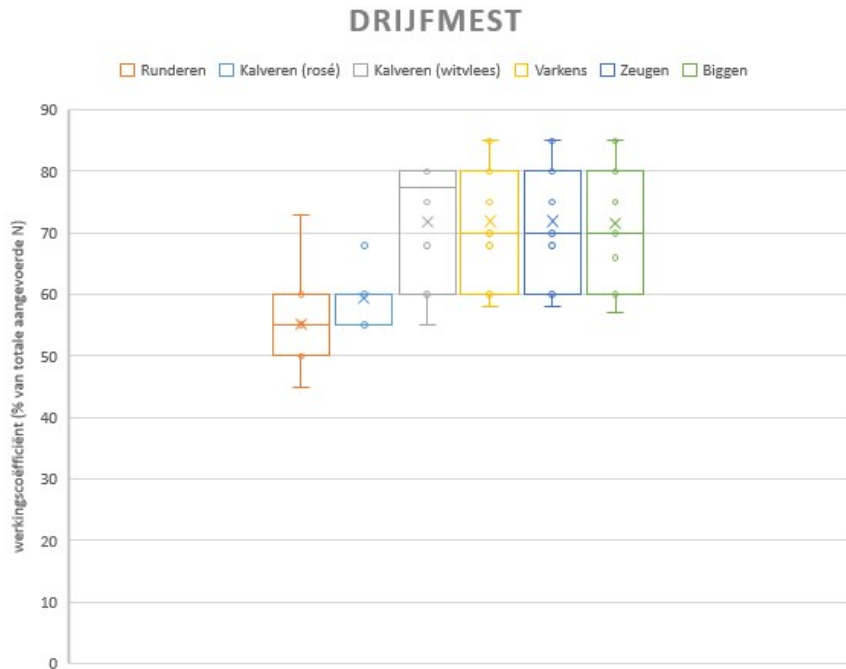
Sinds 2016 geldt binnen het MAP alleen nog het systeem van werkzame stikstof. Werkzame stikstof is de hoeveelheid stikstof uit meststoffen, die het gewas het eerste jaar nuttig kan gebruiken. Niet alle N aanwezig in organisch materiaal (OM) zoals mest, compost, organisch biologisch afval, digestaat, enz. is volledig beschikbaar voor gewassen. Dergelijk exogeen OM bevat ten dele minerale N (NH₄⁺ en NO₃⁻) waarvan kan aangenomen worden dat dit grotendeels plant-beschikbaar is. Maar daarnaast is er een belangrijke organische N fractie die slechts geleidelijk beschikbaar komt na mineralisatie, een biologisch proces dat in hoofdzaak afhankelijk is van de kwaliteit van het OM zelf en de bodemtemperatuur. De fractie van de totale N-inhoud die beschikbaar wordt gesteld voor de opvolgende teelt wordt uitgedrukt in een werkingscoëfficiënt (tussen 0 en 1). Deze praktische maatstaf van N-beschikbaarheid voor de teelt houdt meestal ook rekening met de periode waarbinnen een gewas vnl. N uit de bodem opneemt. Uit vier bronnen werd weer de vork op gerapporteerde werkingscoëfficiënten afgeleid (Tabel 14; Figuur 26, Figuur 27, Figuur 28). Algemeen wordt de werkingscoëfficiënt in functie gesteld van aanvoertijdstip: bijna alle voorhanden cijfers gaan evenwel uit van voorjaaraanvoer. Voor twee bronnen was er ook een differentiatie voor verschillende bodemtexturen – zoals ook weergegeven in de Tabel 14. Slechts één bron (Kennissakker, 2022 – R2) stelde N-werkingscoëfficiënten ook in functie van duur van N-opname van het volggewas.

Aanvullend op voordien vermeldde referenties werden specifiek ook nog drie publicaties geraadpleegd om de spreiding op aangenomen N-werkingscoëfficiënt van organische bemesting in kaart te brengen.

Tabel 13: Bijkomende bronnen geraadpleegd voor het specifieke deel van de N nalevering uit toegediende organische mest (genummerd als Rn)

R13	VLM – Normen en Richtwaarden 2021. Vlaamse Land Maatschappij, Brussel. https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Bemestingsnormen_2021.pdf
R14	Coppens G., Vandendriessche H., Moens W., Bries J. 2009. De mestwegwijzer. Overzicht van 15 jaar mestanalyse door de Bodemkundige Dienst van België. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee. 95p.
R15	RVO 2019. Tabel 9: Werkzame stikstof landbouwgrond. Mestbeleid 2019-2021, Werkzame stikstof landbouwgrond. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/01/Tabel-3-Werkingscoefficient-2019-2021.pdf)

De spreiding op de N-werkingscoëfficiënt uit rundermest (drijfmest) is beperkt tot een 10%, daar waar deze spreiding voor drijfmest van kalveren (witvlees), varkens, zeugen en biggen eerder zo'n 20% bedraagt (Figuur 26). Met name de veronderstelde N-opname door het volggewas blijkt bepalender te zijn voor de werkingscoëfficiënt van deze laatste groep (Tabel 14).

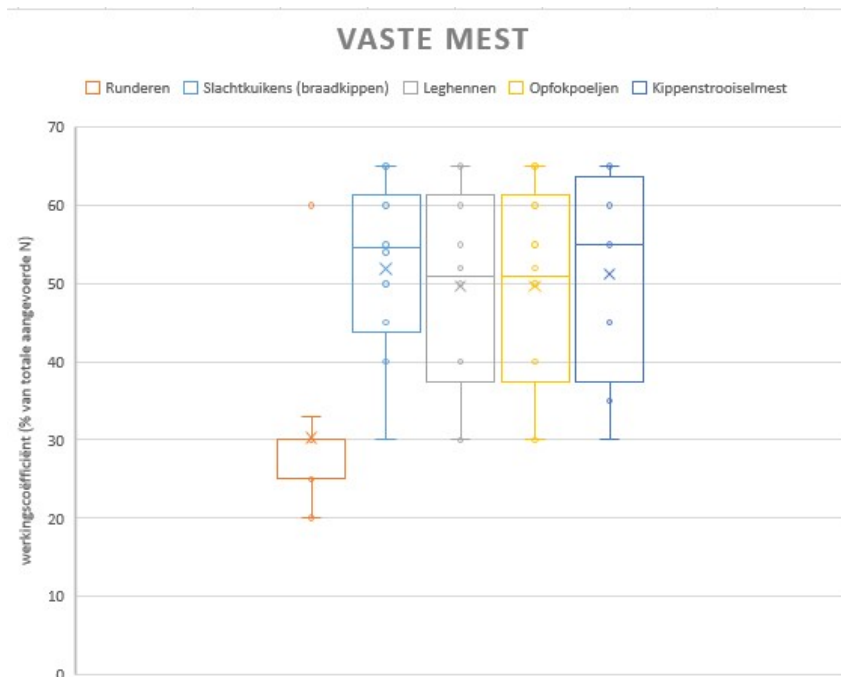


Figuur 26: Variatie in gerapporteerde N-werkingscoëfficiënt bij voorjaarsaanvoer van drijfmest; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde

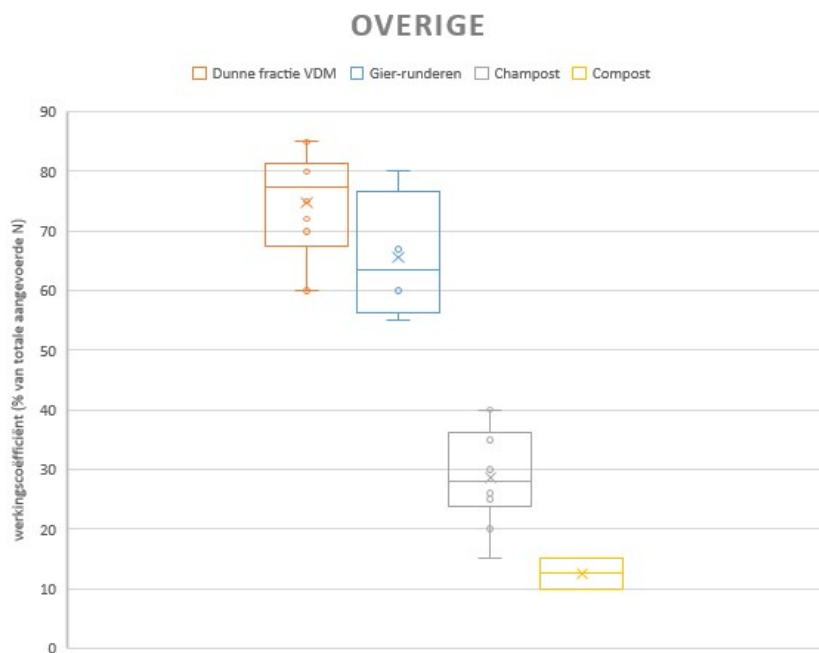
De spreiding op de N-werkingscoëfficiënt uit vaste mest vertoont een vergelijkbaar beeld als drijfmest: met name een $\pm 10\%$ spreiding voor rundermest, en veel grotere spreiding van zo'n 25% op voor vaste mest van Slachtkuikens (braadkippen), Leghennen, Opfokpoeljen en kippenstrooiselmest (Figuur 27).

De gerapporteerde N-werkingscoëfficiënt uit de dunne fractie van varkensdrijfmest varieert evenals drijfmest met zo'n 20% (Figuur 28). Er is een mindere spreiding op de gerapporteerde N-werkingscoëfficiënt van champost (à rato 15%) en compost (5%).





Figuur 27: Variatie in gerapporteerde N-werkingscoëfficiënt bij voorjaarsaanvoer van vaste mest; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde



Figuur 28: Variatie in gerapporteerde N-werkingscoëfficiënt bij voorjaarsaanvoer van vaste mest; _ = mediaan, x = gemiddelde, o = waarde



Tabel 14: Gerapporteerde N-werkingscoëfficiënt uit organische bemesting (in % van totale aangevoerde N) uit verschillende bronnen (metingen en overzichtscijfers). MIN en MAX zijn respectievelijk minimum en maximum tussen de voorjaarsaanvoercijfers (incl. R14 voor Feb & Mar)

	R13	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R15	R15	R14	R14	R14 ^e	MIN	MAX
Tijdstip aanvoer	VJ	VJ	VJ	VJ	VJ	VJ	VJ	VJ	VJ	Feb	Mar	oktober		
Bodemtextuur	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	Z/ZL/L/KI		
N-opname volggewas	-	tot 1 jun	tot 1 jul	tot 1 aug	tot 1 sep	tot 1 okt	tot 1 nov	-	-	-	-	-		
<u>Drijfmest</u>														
Runderen	60	50	50	55	55	55	55	45 ^a	60 ^b	50	73	19/23/27/21	45	73
Kalveren (rosé)	60	55	55	60	60	60	60	60		55	68	18/21/25/18	55	68
Kalveren (witvlees)	60	75	80	80	80	80	80	60 ^c		55	68	18/21/25/18	55	80
Varkens	60	70	75	80	80	85	85	60 ^c	70 ^d	58	68	22/26/30/23	58	85
Zeugen	60	70	75	80	80	85	85	60 ^c	70 ^d	58	68	22/26/30/22	58	85
Biggen	60	70	75	80	80	85	85	60	70 ^d	57	66	25/28/31/25	57	85
Dunne fractie VDM	60	70	75	80	80	85	85	80		60	72	19/22/28/19	60	85
<u>Vaste mest</u>														
Runderen	30	20	20	25	25	30	30	30	60	30	33	15/16/18/15	20	60
Slachtkuikens (braadkippen)	30	40	45	55	60	65	65	55		50	54	34/37/39/35	30	65
Leghennen	30	30	40	50	60	65	65	55		50	52	35/38/40/37	30	65
Opfokpoeljen	30	30	40	50	60	65	65	55		50	52	35/38/40/38	30	65
Kippenstrooiselmest	30	35	45	55	60	65	65	55					30	65
Gier-runderen	60							80		55	67	20	55	80
Champost	30	15	20	30	35	40	40	25		25	26	18	15	40
Compost	15							10					10	15

^a afkomstig van eigen bedrijf met beweiding; ^b afkomstig van eigen bedrijf zonder beweiding; ^c op klei en veen; ^d op zand en löss (lemige bodems); ^e najaarsaanvoercijfers van R14 werden niet meegenomen in de berekende minima en maxima



4.2.1.5 Bodem N mineralisatie

Bodem organische stof (BOS) is het substraat van heterotrofe bodemorganismen (bacteriën, schimmels, meso en macrofauna) en wordt voortdurend door hen afgebroken en omgezet in minerale C en N, microbiële biomassa en overige restanten. Jaarlijks breekt in ons klimaat zo'n 1.5 tot 3% van de aanwezige BOS af wat dan resulteert in netto C mineralisatie van zo'n 1.5-3 t C ha⁻¹ jaar⁻¹. BOS is N-rijk en heeft doorgaans een C:N verhouding in landbouwbodems van 9 tot 14, waardoor per eenheid C gemineraliseerd ongeveer een tiende hoeveelheid organische N mineraliseert tot NH₄⁺. Een groot deel van die minerale N wordt ook weer opgenomen door micro-organismen en accumuleert terug in BOS (N-immobilisatie). De resultante van deze bruto N-mineralisatie en N-immobilisatie is in landbouwbodems quasi steeds positief: er is een netto accumulatie van minerale N in de bodem die kan variëren tussen 75 tot meer dan 200 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Dit N-leverend vermogen van de bodem is een belangrijke term in de N-balans van landbouwteelten. Belangrijke factoren die netto N-levering uit BOS afbraak sturen zijn het BOS gehalte en kwaliteit, de bodem C:N verhouding, bodemtextuur en weersomstandigheden. Bij opstellen van een N-bemestingsadvies kan uiteraard niet à priori rekening gehouden worden met het toekomstige weer, maar het is wel duidelijk dat cijfers voor N-levering uit BOS vrij regio-specifiek zijn. Kennis van de BOS kwaliteit ontbreekt nagenoeg steeds, maar gezien die bepaald wordt door gebruikshistoriek inzake bemestingspraktijk worden inschattingen van het N-leverend vermogen idealiter hiervoor verder gespecificeerd.

Binnen het groeiseizoen van de meeste landbouwteelten zal het N-leverend vermogen eerder beperkt zijn tot 60-140 kg N ha⁻¹ (Bokhorst & van der Burght, 2012). De te verwachten N-levering uit BOS afbraak wordt dus verder best ingeschat rekening houdende met de periode waarbinnen gewassen effectief N opnemen. Dit impliceert dan ook wel kennis van N-levering op een fijnere tijdschaal dan één jaar. Verder is het evident dat voor een preciezere inschatting van N-levering uit BOS ook rekening wordt gehouden met N-mineralisatie die reeds heeft bijgedragen tot de bodem N-min inhoud in het voorjaar.

Een algemene vergelijking van gerapporteerde cijfers omtrent N mineralisatie uit BOS afbraak, analoog aan de overige hierboven behandelde termen van de N-balans, is weinig zinvol gezien de diversiteit aan gehanteerde benaderingen tussen verschillende bronnen. We bekijken deze benaderingen hier in een volgorde van toenemende mate waarin bovenvermelde differentiatie inzake teelt, bemestingsvoorgeschiedenis, bodemtype, BOS% en eventuele andere bepalende factoren in rekening worden gebracht. In plaats van een kwantitatief overzicht bespreken we hieronder vnl. kwalitatief een aantal van die rekenwijzen (1°, 2°, 3°) en vergelijken twee voorbeeldsituaties (4°) als maatstaf van de te verwachten spreiding op bodem N-levering binnen de Vlaamse landbouw.

1° Bodem N-levering in functie van het bodem organische stof gehalte en de bemestingsvoorgeschiedenis

In zijn meest eenvoudige vorm wordt voor alle teelten een vaste N-levering verondersteld die eventueel verder gespecificeerd wordt voor één of twee niet-teeltspecifieke bepalende factoren. We geven hieronder het voorbeeld van Nitrawal (nu Protect'eau) uit Wallonië (R5) en een Nederlands voorbeeld (R23).

In het Waalse Nitrawal bemestingsadvies werden de frequentie van bemesting en het BOS gehalte afzonderlijk gehanteerd als bepalende factoren voor de bodem N-vrijstelling voor de hoofdteelten suikerbiet, maïs en aardappel. In de huidige online bemestingstool "Module ferti culture" van de Protect'eau.be site (R5) worden



deze factoren nu enkel nog in rekening gebracht bij bemestingsadvies voor suikerbiet. Bij quasi jaarlijkse toediening van organisch materiaal (mest, compost,...) wordt uitgegaan van ongeveer een kwart meer N-levering t.o.v. percelen waaraan nooit exogeen OM wordt toegediend (Tabel 15). Bijna jaarlijks organisch bemeste percelen leveren aan suikerbiet, maïs of aardappel zo'n 15-25 kg N ha⁻¹ extra t.o.v. nooit bemeste percelen.

Het BOS% heeft een vergelijkbare invloed op de bodem N-levering met een verschil volgens R5 van zo'n 20 kg N ha⁻¹ tussen een perceel met laag BOS gehalte ($\approx <0.9-1.0\%$ OC) en eerder normaal tot vrij hoog ($\approx >1.3-1.5\%$ OC) gehalte. Deze contrasten lijken eerder conservatief verondersteld wanneer de vergelijking wordt gemaakt met een verder voorbeeld uit Nederland (R23) gegeven in Tabel 16. Hoe dan ook is het duidelijk dat bodem N-levering voor bepaalde gewassen een aanzienlijk deel van de N-behoefte kan invullen, en logischerwijze dus ook voor zover mogelijk correct wordt ingeschat. Parameters zoals het BOS of OC% en bemestingspraktijk zijn nagenoeg steeds gekend en worden dus idealiter in rekening gebracht bij inschatting van de bodem N-levering. Ook de bodemtextuur werd door R5 (en verder R23) in rekening gebracht met duidelijk grotere N-levering uit lemige bodems dan zware texturen of bodems met suboptimaal lage pH.

Tabel 15: N-levering door de bodem (kg N ha⁻¹) volgens het Waalse Nitrawal (voorloper van het huidige Protect'eau (bron: R5) in functie van bodem organische stofgehalte, frequentie van toediening van organisch materiaal en landbouwteelt

Bodemtype & BOS%	Frequentie van toediening van organisch materiaal							
	1-2jaar		3-5jaar		5-10jaar		nooit	
	SB ^a	Maïs, AA	SB	Maïs, AA	SB	Maïs, AA	SB	Maïs, AA
<i>sol limoneux ou limono-argileux</i>								
<1.8	84	60	77	55	70	50	63	45
1.8-2.1	96	66	88	61	80	55	72	50
2.1-2.5	100	78	99	72	90	65	81	59
>2.5	100	84	100	77	100	70	90	63
<i>sols très argileux ou pH acide</i>								
<1.8	60	42	55	39	50	35	45	32
1.8-2.1	72	48	66	44	60	40	54	36
2.1-2.5	84	60	77	55	70	50	63	45
>2.5	96	66	88	61	80	55	72	50

^a SB: Suikerbieten; AA: Aardappel

Voor Nederlandse bodems stelt R23 eveneens een aanzienlijke spreiding in bodem N-levering in functie van de OM-aanvoer (Tabel 16). In tegenstelling tot Protect'eau wordt aangenomen dat N-levering ongeveer verdubbelt tussen bodems met lage of hoge OM toediening (bij Protect'eau ongeveer een stijging met 1/3 tussen geen en jaarlijkse OM toediening). Het is evenwel duidelijk dat een dergelijke benadering in de praktijk sterk afhangt van de arbitraire beslissing of nu een zware, lichte of gemiddelde aanvoer van OM plaatsvond, met toch wel grote impact op het gegenereerde N-bemestingsadvies. Lage hetzij hoge historische toediening van organisch

materiaal beïnvloedt naast de bodem C en N inhoud ook de kwaliteit van de BOS. De factor ‘organische stofvoorziening’ omvat dus impliciet het BOS gehalte, maar ook de kwaliteit daarvan. Het is dan niet meteen mogelijk om de partiële invloed van beide factoren af te leiden uit dit voorbeeld. De invloed van de factor bodemtextuur blijkt eerder beperkt te zijn en het is evenmin duidelijk of in deze verschillende bodem/regio-types eventueel inherent typische variatie in BOS% geïntegreerd zit.

Tabel 16: N-leverend vermogen in kg N ha⁻¹ voor het groeiseizoen maart – september in Nederlandse bodems volgens R23 (Bokhorst & van der Burgt, 2012)

Bodem/regio	OM aanvoer		
	Laag	Gemiddeld	Hoog
zavel en klei ZW	69	111	144
zavel en klei N	77	94	147
zand ZO	78	95	141
zand veenkol	60	86	138

2° Fijnere temporele resolutie van bodem N levering

Bodem N-levering is een geleidelijk proces en het is evident dat er ook meer N-levering dient in rekening te worden gebracht voor teelten met een lange N-opname periode t.o.v. kortere teelten bij opmaak van een N-bemestingsadvies. Het Protect’eau systeem differentieert bodem N-levering inderdaad ook in functie van de desbetreffende hoofdteelt (Tabel 15), zij het echter enkel voor maïs en suikerbiet (met een verschil van zo’n 30 kg N ha⁻¹ tussen beide). Het contrast met wintergranen of teelten met een kortere groeiperiode zal allicht groter zijn, maar cijfers ontbreken om voor iedere teelt/bodem combinatie afzonderlijk bodem N-levering in te schatten. Een veelal gebruikte benadering vertrekt van de verwachte N-levering op kortere (maandelijkse - dagelijkse) tijdschaal. Per gewas kan dan a.d.h.v. het gekende groeiseizoen (of beter de periode waarbinnen N-opname plaatsvindt) een betere "op maat" inschatting van bodem N-levering worden afgeleid.

In het Vlaamse “Code van goede landbouwpraktijken - nutriënten : akkerbouw” bv. (R24) werd dagelijkse N-mineralisatie uit BOS gespecificeerd in functie van de historische organisch materiaal voorziening (Tabel 17) en voor akkerbouw of intensieve groententeelt. Algemeen hogere N-levering wordt verwacht bij groententeelt, allicht als resultante van typisch hoge (organische) N-bemesting, aanzienlijke historische bodem N-relikwaten en belangrijke N-nalevering door N-rijke en gemakkelijk afbreekbare groentegewasresten. Het is daarbij onduidelijk in welke mate bij deze cijfers ook nog N-levering uit residuen van de voorgaande dient in rekening te worden gebracht voor de Intensieve Groententeelt. Demyttenare (1991) rapporteerde lagere cijfers dan R24 voor de periode 1 mei tot 31 september, nl. 0.76 en 0.95 kg N ha⁻¹ dag⁻¹ voor resp. lage en matige/hoge organische bemesting.

De specificering van een netto N-levering op dagelijkse tijdschaal laat toe om per teelt een specifieke schatting te maken van voor het daadwerkelijk opneembare bodem N-levering. Al kan dan wel weer de bedenking gemaakt worden dat bij een dergelijke benadering wordt uitgegaan van een gemiddelde netto N-mineralisatie, terwijl hierin een duidelijke seizoenaliteit bestaat. In het zgn. N-eco² project (R24) werd netto bodem N-



mineralisatie per maand opgegeven (Tabel 18). Dan blijken er inderdaad grote verschillen te zijn in N-levering tussen de verschillende seizoenen, met b.v. bijna dubbele N-levering in juli dan in april. Weer wordt ook de invloed van het OC% duidelijk met bijna dubbele N-levering uit bodems met hoog t.o.v. laag OC%. De mediërende rol van bodemtextuur op de relatie tussen OC% en N-levering lijkt evenwel veel beperkter te zijn dan volgens Protect'eau (R5). Volgens R24 is N-levering in juni voor een leembodem met 1.4%OC = 19 kg ha⁻¹, t.o.v. in een zandbodem met 1.5%OC = 20 kg N ha⁻¹ (Tabel 18). In de N-eco² studie werd de bemestingsvoorgeschiedenis niet in rekening gebracht. In de online DEMETER-Tool voor Vlaamse en Zuid-Nederlandse velden (<https://eloket.vlm.be/Demeter/Account/LogOn>) wordt een vergelijkbare benadering gehanteerd als R24, maar er is ook nog een verdere verfijning van de maandelijkse N-levering in functie van de bemestingsvoorgeschiedenis. Het moet ook benadrukt worden dat deze benaderingen enkel de verschillen in temperatuur in rekening brengen, maar uitgaan van een optimaal vochtgehalte voor N mineralisatie. Zeker de recente jaren hebben duidelijk aangetoond dat tijdens lange droge en hete periodes de N mineralisatie ook in onze streken zeer sterk beperkt kan worden door een gebrek aan vocht. Dit vormt een enorme uitdaging voor de betrouwbare inschatting van de N mineralisatie.

Tabel 17: Dagelijks verwachte bodem netto N mineralisatie in het groeiseizoen voor Vlaamse landbouwbodems in functie van de bemestingsvoorgeschiedenis volgens R24

Teeltrotatie	Organische stofvoorziening	Bodem N-vrijstelling (kg N ha ⁻¹ dag ⁻¹)
Klassieke Akkerbouw	Laag	0.50-0.70
	Matig	0.90-1.10
	Hoog	1.10-1.30
Intensieve Groententeelt	Laag	0.90-1.10
	Matig	1.10-1.30
	Hoog	1.50-1.70

Tabel 18: N-levering door de bodem (kg N ha⁻¹) op maandelijkse tijdschaal bij gegeven textuur en %OC, volgens R24 (N-eco² studie)

Textuur	OC%	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Zand	2,3	12	12	17	20	27	34	37	36	31	21	16	13
	1,8	9	9	13	16	21	26	29	28	25	17	13	10
	1,5	7	7	10	12	16	20	22	22	19	13	9	7
Zandleem	1,3	7	7	11	13	17	21	23	23	20	13	10	8
	1,1	6	6	9	11	15	19	20	20	17	12	9	7
	0,7	4	4	6	7	9	11	13	12	11	7	5	4
Leem	1,4	7	7	9	11	15	19	21	20	18	12	9	7
	1,2	6	6	9	10	14	17	19	18	16	11	8	6

	0,9	4	4	6	8	10	13	14	14	12	8	6	5
klei	2,8	17	17	24	32	44	55	60	59	48	34	23	18
	1,2	6	6	8	11	15	18	20	20	16	11	8	6
	0,9	4	4	6	8	11	13	15	14	12	8	6	4

3° Inschatting van bodem N-levering a.d.h.v. een bodem-simulatiemodel

Tenslotte zijn er ook verscheidene bodemsimulatiemodellen die bodemtemperatuur, vochtgehalte en microbiële activiteit doorrekenen om de N-vrijstelling uit één of meerdere BOS-pools te simuleren op fijne tijdschaal. Naast het in Vlaanderen (en ook in dit project) reeds vaak gebruikte EU-Rotate_N model, werden bv. in Nederland de modellen MINIP en MOTOR ontwikkeld (Heinen & de Willigen, 2005). Meestal worden dergelijke complexe benaderingen niet gehanteerd voor de generatie van N-bemestingsadviezen. Een uitzondering hierop vormt het Franse Azofert N-adviesstelsel welke wel een dynamische simulatie van de bodem N levering hanteert. Simulaties starten bij de oogst van het voorafgaand gewas. Hierbij wordt dan meteen naast N-levering uit BOS ook de afbraak van oogstresten en eventueel ingewerkte groenbemesters gesimuleerd. De potentiële N-mineralisatie V_p bij optimale omstandigheden wordt berekend door de organische N-voorraad N_{org} van de bouwvoor te vermenigvuldigen met een mineralisatie-constante k_2 :

$$V_p = k_2 \cdot N_{org}$$

De mineralisatie-constante k_2 is afhankelijk van de bodemtextuur en kalkgehalte:

$$k_2 = \frac{22}{(125 + \%klei) \cdot (545 + \%kalksteen)}$$

De organische N pool bestaat uit twee fracties, een actieve fractie FN_{act} en inerte N FN_{inert} , welke niet bijdraagt aan bodem N-levering. Ook de gebruikshistoriek van een perceel beïnvloed finale berekende N-levering a.d.h.v. een factor F_{syst} .

De invloed van temperatuur en bodemvochtbeschikbaarheid op het bodem N-mineralisatieproces worden in rekening gebracht (factoren $f(T)$ en $g(W)$ in onderstaande vergelijking). Voor bepaling van de bodemvocht-beïnvloedingsfactor dient ook vochtgehalte bij veldcapaciteit en verwelkingspunt gekend te zijn, welke uiteraard bodemtextuur specifiek zijn.

De mineralisatiesnelheid van een bepaalde bodemlaag M_h wordt uiteindelijk dan:

$$M_h = V_p \cdot f(t) \cdot g(W) \cdot FN_{act} \cdot F_{syst}$$

Net zoals in onder 1° en 2° besproken cijfermateriaal houdt Azofert dus rekening met de bemestingsvoorgeschiedenis, de bodemtextuur en uiteraard de desbetreffende teelt en lengte van het N-opnameseizoen. Verder in rekening brengen van klimaatparameters lijkt vnl. relevant voor de Franse situatie waar grote contrasten bestaan binnen Frankrijk zelf. Tenslotte wordt bij opstelling van een N-bemestingsadvies in Vlaanderen bijna standaard gestart van een bodem N-min meting in het voorjaar. Dit maakt dat een simulatie

van N-vrijstelling vanaf de oogst van het voorgaande gewas, zoals gehanteerd door Azofert, voor de Vlaamse situatie minder relevant is.

4° rekenvoorbeelden van bodem N-levering

A.d.h.v. twee voorbeelden (suikerbieten en rode kool) illustreren we welke 'vork' er ontstaat indien de boven geïllustreerde benaderingen (uitgezonderd simulatiemodellen) gebruikt worden voor inschatting van de bodem N-levering.

i) Suikerbiet in een akkerbouwrotatie op leem met 1.2%C, regelmatige toediening van mengmest ((vorige teelt aardappel):

Demetertool: 78 kg N ha⁻¹ (1.2%C, leem, begin teelt in april en einde in oktober)

Protect'eau (R5): 96 kg N ha⁻¹ (OM toediening 1 à 2 jaar, OS% 1.8-2.1, sols limoneux, SB)

R24: 135-155 kg N ha⁻¹ (matige bemestingsvoorgeschiedenis in klassieke akkerbouw, 150 dagen N-opname mogelijk verondersteld)

Demyttenaere (1991): 114 kg N ha⁻¹ (laag tot matig gebruikt OM, 150 dagen N-opname mogelijk verondersteld)

Er blijkt een aanzienlijk verschil te bestaan tussen de laagste en hoogste veronderstelde bodem N-levering. Aan de onderzijde rekent Demetertool met een opvallend lage N-levering. Hierbij dient echter opgemerkt dat de Demetertool afzonderlijk ook nog N-levering uit mineralisatie van een voorafgaande groenbemester (30 kg N ha⁻¹) en N-levering uit eventueel toegediende mest (22 kg N ha⁻¹) berekent. Hoe dan ook blijkt er ook tussen het Waalse Protect'eau en eenvoudige benaderingen waarin geen rekening wordt gehouden met het bodem OC-gehalte of specifieke cijfers voor een akkerbouw leembodem wel een aanzienlijk verschil in N-levering van tot wel 50-60 kg N ha⁻¹ te zijn.

i) Rode kool in intensieve groententeelt op zandleem met 1.5%C, hoge jaarlijkse toediening van mengmest (vorige teelt aardappel) en dit jaar 20 t varkensmengmest met 4.4 kg N t⁻¹:

Demetertool: 91 kg N ha⁻¹ (1.5%C, zandleem, begin teelt in mei en einde in oktober, maximale org. bemesting)

Protect'eau (R5): teelt niet opgenomen (stel late maïs i.p.v. rode kool, met vergelijkbare groeiperiode): 78 kg N ha⁻¹

R24: 230 kg N ha⁻¹ (hoge bemestingsvoorgeschiedenis in klassieke akkerbouw, 135 dagen N-opname verondersteld)

Demyttenaere (1991): 121 kg N ha⁻¹ (hoge giften OM, 10 weken in mineralisatie periode 1mei-31sep)

Voor rode kool is er een nog grotere spreiding in veronderstelde N-levering van meer dan 130 kg N ha⁻¹. Weer dient vermeld te worden dat het niet duidelijk is of vaste N-leveringscijfers per dag zoals gehanteerd door R24



ook impliciet andere bronnen van N meenemen (voortelt, voorafgaande groenbemester, N-depositie, levering uit toegediende organische mest), daar waar gedetailleerde systemen zoals Demetertool en voor sommige teelten Protect'eau dit wel doen. B.v. laatste bron rekent met 50 kg N levering uit 20 t varkensmest. Problematisch bij berekeningen met R24 was ook dat het moeilijk in te schatten is welk aantal mineralisatiedagen in rekening dient te worden gebracht.

Beide voorbeelden illustreren dat er een grote spreiding van 50 kg N ha⁻¹ en meer kan verwacht worden op veronderstelde N-levering tussen verschillende bronnen voor gangbare akkerlandpercelen, en dat bij hoge historische bemesting en vrij late teelt verschillen kunnen oplopen tot >100 kg N ha⁻¹. Daarnaast kan al dan niet in rekening brengen van de factor BOS of OC% ook tot grote verschillen in geschatte N-levering leiden, terwijl het niet steeds duidelijk is of de factor bemestingsvoorgeschiedenis ook verwachte verschillen in OS-gehalte impliciet meeneemt.

Referenties

Bodemkundige Dienst van België et al. 2003. Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument (besteknr 2000/1). N-eco². Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. Bodemkundige Dienst van België, Instituut voor Land- en Waterbeheer (K.U.Leuven), Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en -biologie (K.U.Leuven); Bodemkunde en Fertilititeit (R.U.Gent), SADL (K.U.Leuven).

Bokhorst J., van der Burght G.-J. 2012. Organische stofbeheer en stikstofleverend vermogen van de grond in de Nederlandse akkerbouw. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 14p.

Heinen M, de Willingen P. 2005. Vergelijking van de organische stofmodellen MOTOR en MINIP. Alterra Rapport 1260. Wageningen, Alterra. 50p.

Reubens B., D'Haene K., D'Hose T., Ruyschaert G. 2010. Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie. Activiteit 1 van het Interregproject BodemBreed. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke-Lemberge, België. 203 p.

Selin Noren, I., van Geel, W., de Haan, J. (2021) Cover crop reference values: effective organic matter and nitrogen uptake, Wageningen Research, Report WPR 877.

4.2.2 Parameterwaarden voor P

P bemestingsadvies systemen werken op de lange termijn en hebben als uitgangspunten: i) de P beschikbaarheid in de bodem, en ii) de P afvoer door het gewas. Richtwaarden met een typische vork voor de P afvoer door het gewas en het P gehalte van organische bemesting vormen dan ook de basis voor het opstellen van de bodem P balans. Hiertoe werden de meest recente onderzoeksgegevens geraadpleegd.



4.2.2.1 Gewas P-afvoer

Bestaande literatuur (rapporten, publicaties) afkomstig uit België en regio's uit omliggende landen met vergelijkbare landbouwpraktijk en klimaat werd doorzocht op P afvoer cijfers door landbouwgewassen die gangbaar geteeld worden in Vlaanderen. A.d.h.v. variatie op gevonden cijfers van verschillende bronnen bekomen we een maat van de te verwachten spreiding op de P afvoer door deze gewassen. Deze maat is tevens een maat voor de onzekerheid op de bodem P balans door de gewas P afvoer. In totaal werden zeven bronnen (R1-R7) geraadpleegd.

R1	Denoroy P., Jordan-Meille L. and Sagot S. (2019) – La fertilization P-K-Mg: Les bases du raisonnement (Comifer), 40 p.
R2	VLM, UGent, NMI (2017) – Demeter – Life+ project
R3	D'Haene K. and Hofman G. (2015) – Phosphorus offtake and optimal phosphorus fertilization rate of some fodder crops and potatoes in temperate regions. <i>Agrochemistry and soil science</i> 64, p. 403-420
R4	Ehlert PAI., Dekker PHM., van der Schoot JR., Visschers R., van Middelkoop JC., van der Maas MP., Pronk AA. and van Dam AM. (2009) – Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen. <i>Alterra eindrapport 1773</i> , 125 p.
R5	Lenders S., Oeyen A. and D'hooghe J. (2012) – Bodembalans van de Blaamse landbouw, cijfers voor 2007-2009. Departement Landbouw en Visserij, afdeling monitoring en studie, 51 p.
R6	Rollet A. Williams J. and Newel-Price P. (2018) – Offtake values for phosphate and potash in crop materials. <i>Agriculture and Horticulture Development Board</i> , 72 p.
R7	Vandermoere S. (2020) – Improving agricultural phosphorus use efficiency and reducing soil phosphorus losses at the field scale. 213 p.

Een overzicht van de gevonden kengetallen voor de P afvoer van in Vlaanderen geteelde landbouwgewassen wordt gegeven in Tabel 19 – Spreiding op de P gewas afvoer zoals waargenomen in de bestaande literatuur (MIN = minimum, MED = mediaan, MEAN = gemiddelde, MAX = maximum, n = aantal waargenomen waarden), Figuur 29 en Figuur 30.

Akkerbouw- en voedergewassen, met uitzondering van grasland maaien (46 kg P/ha), voeren gemiddeld 23 tot 38 kg P/ha af (Tabel 19 en Figuur 29). Binnen deze gewassen is de waargenomen spreiding in P afvoer veelal beperkt tot 5-10 kg P/ha. Enkel voor korrelmais en granen, zoals tarwe, loopt de spreiding in P afvoer op tot 10-20 kg P/ha.

De P afvoer van groenten is gemiddeld iets lager dan deze van akkerbouw- en voedergewassen en varieert van 9 tot 19 kg P/ha (Tabel 19 en Figuur 30). Uitzonderingen hierop zijn wortelen en knolselder geteeld voor de industrie die gemiddeld 32 en 42 kg P/ha afvoeren. De spreiding in P afvoer door groenten is vrij gelijkaardig aan deze van akkerbouw- en voedergewassen en varieert van 5-10 kg P/ha. Voor wortelen en knolselder geteeld voor de industrie loopt deze spreiding op tot 10-20 kg P/ha.

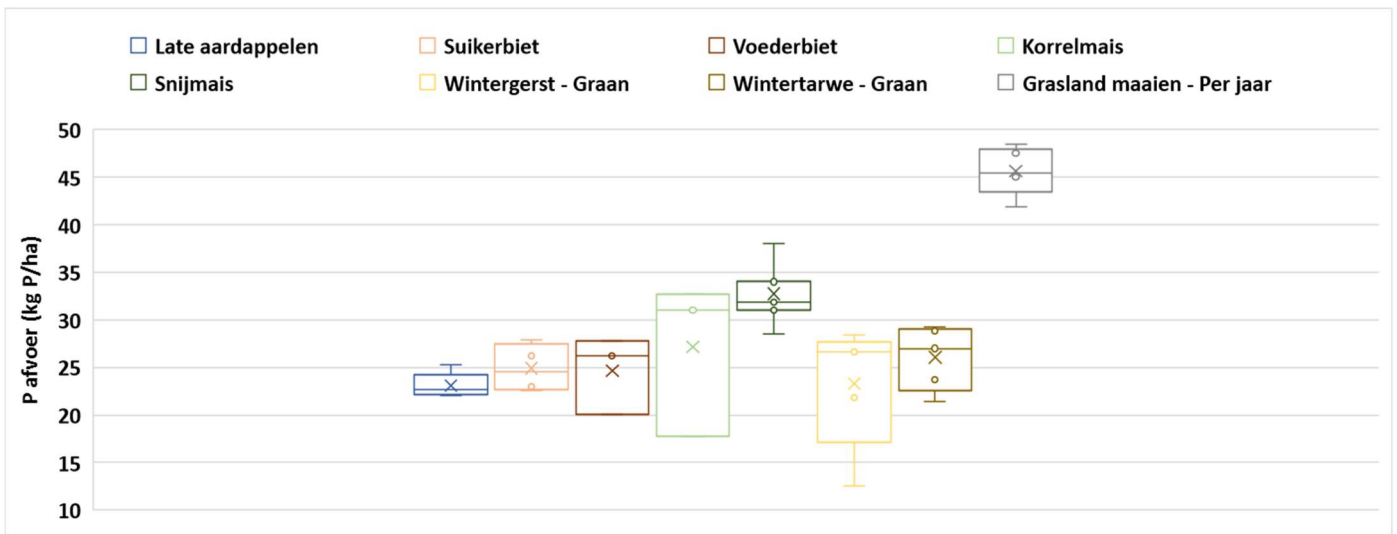
Tabel 19 – Spreiding op de P gewas afvoer zoals waargenomen in de bestaande literatuur (MIN = minimum, MED = mediaan, MEAN = gemiddelde, MAX = maximum, n = aantal waargenomen waarden)

Teelt	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	MIN	MED	MEAN	MAX	n
Vroege aardappelen	14	17						14	16	16	17	2
Late aardappelen		22	25	23	23		22	22	23	23	25	5
Bloemkool	18	14		12	10		20	10	14	15	20	5
Broccoli	11	13		5				5	11	10	13	3
Cichorei		24		21				21	23	23	24	2
Doperwt		20		7			16	7	16	14	20	3
Wintergerst - Graan		28		13	27	22	27	13	27	23	28	5
Wintergerst - Stro		3		3			7	3	3	5	7	3
Zomergerst - Graan		17		18				17	18	18	18	2
Zomergerst - Stro		2		4		17		2	4	8	17	3
Grasland maaien - Per jaar	48	45	48	45	42			42	45	46	48	5
Italiaans raaigras - 1 snede	16						10	10	13	13	16	2
Haver - Graan		20						20	20	20	20	1
Haver - Stro		3						3	3	3	3	1
Knolselder		53		29			42	29	42	42	53	3
Winterkoolzaad		24				21		21	23	23	24	2
Zomerkoolzaad		17		21				17	19	19	21	2
Kropsla	14	16		15			10	10	15	14	16	4
Korrelmais		33		18	31			18	31	27	33	3
Snijmais	32	34	38	29	31	32	34	29	32	33	38	7
Prei		20		15			20	15	20	18	20	3
Winterprei	16	20						16	18	18	20	2
Raapkool	14	19		11				11	14	14	19	3
Rode kool		22						22	22	22	22	1

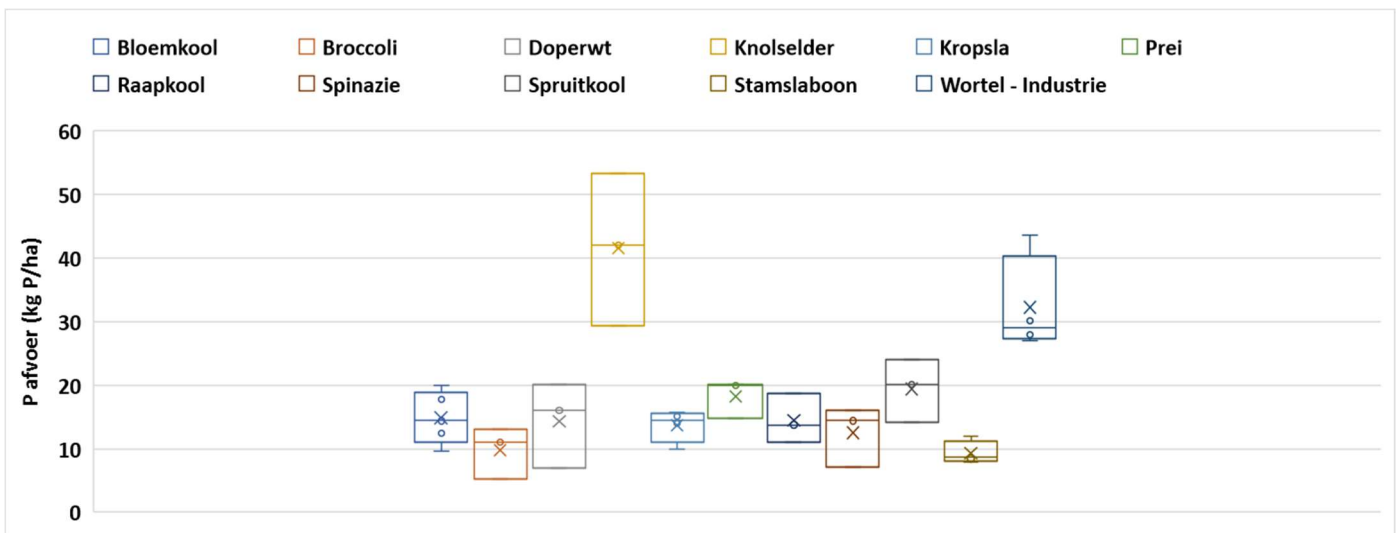


Savooikool		11				11	11	11	11	1
Rogge - Graan		15	17			15	16	16	17	2
Rogge - Stro		3				3	3	3	3	1
Snijrogge		11			10	10	11	11	11	2
Spinazie	14		7			16	7	14	13	3
Spruitkool		20	14			24	14	20	19	3
Stamslaboon	12	8	8			9	8	9	9	4
Suikerbiet		26	23	28		23	23	25	25	4
Wintertarwe - Graan		29	24	29	21	27	21	27	26	5
Wintertarwe - Stro		4	4			8	4	4	6	3
Zomertarwe - Graan		21	19				19	20	20	2
Zomertarwe - Stro		3					3	3	3	1
Triticale - Graan		25		20			20	23	23	2
Triticale - Stro		4					4	4	4	1
Ui			30				30	30	30	1
Venkel			8			11	8	9	9	2
Voederbiet	28	26	20				20	26	25	3
Witloofwortel		16	19				16	18	18	2
Witte kool		28	28				28	28	28	2
Wortel - Industrie	44	30	27			28	27	29	32	4

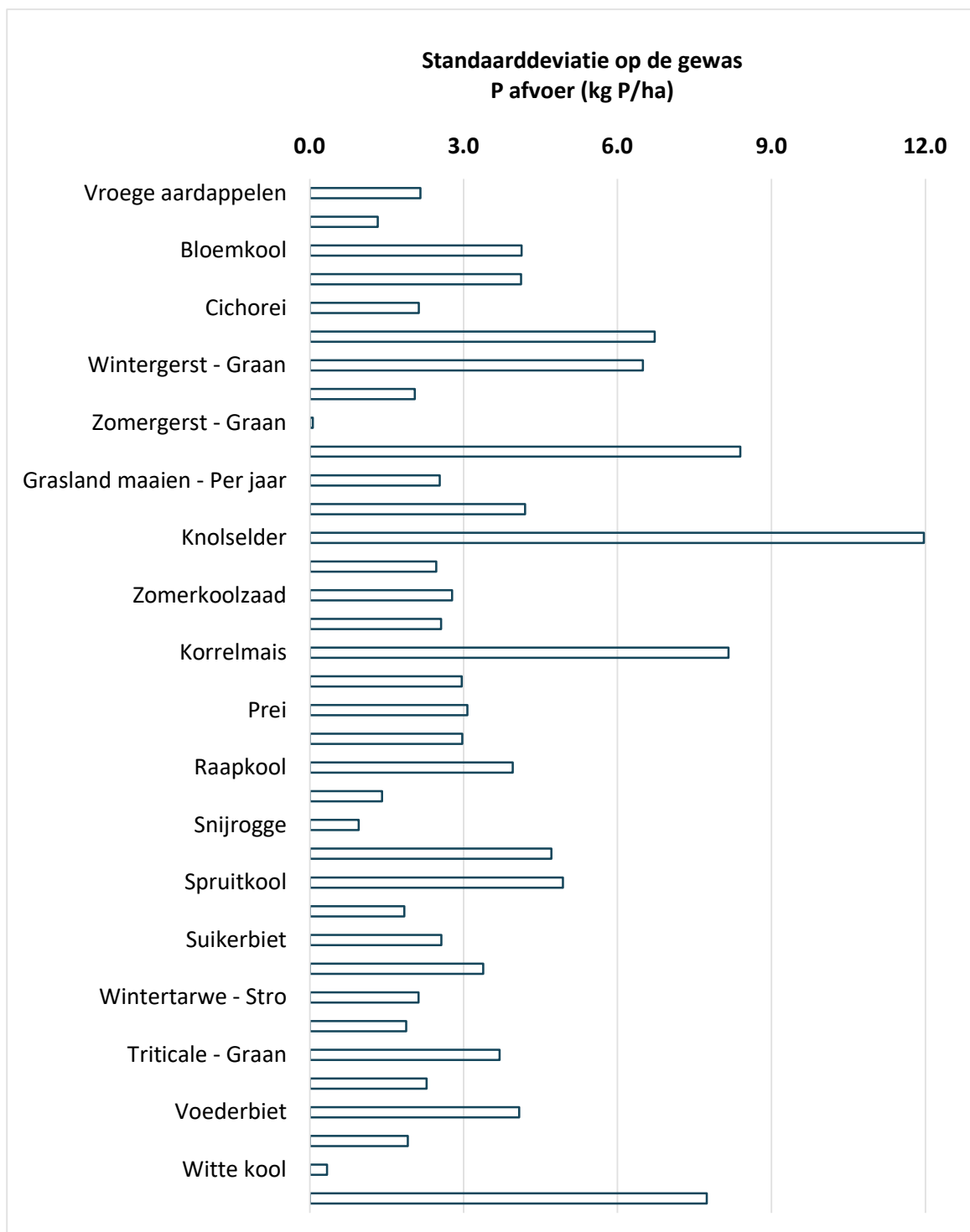




Figuur 29 – Variatie in de gewas P afvoer van akkerbouw en voeder gewassen waarvoor drie of meer kengetallen gevonden werden, weergegeven in een boxplot (x = gemiddelde, _ = mediaan, o = waarde van één individuele waarneming)



Figuur 30 – Variatie in de gewas P afvoer van groenten waarvoor drie of meer kengetallen gevonden werden, weergegeven in een boxplot (x = gemiddelde, _ = mediaan, o = waarde van één individuele waarneming)



Figuur 31: Standaardafwijking op een compilatie van P afvoer cijfers door gewassen gerapporteerd door verschillende bronnen



4.2.2.2 P gehalte organische bemesting

Bestaande literatuur (rapporten, publicaties) afkomstig uit België en regio's uit omliggende landen met vergelijkbare landbouwpraktijk en klimaat werd doorzocht op cijfers van het P gehalte van organische bemesting die gangbaar gebruikt wordt in Vlaanderen. A.d.h.v. variatie op gevonden cijfers van verschillende bronnen bekomen we een maat van de te verwachten spreiding op het P gehalte van organische bemesting. Deze maat is tevens een maat voor de onzekerheid op de bodem P balans door P aanvoer via organische bemesting. In totaal werden twaalf bronnen (R2, R8-R18) geraadpleegd.

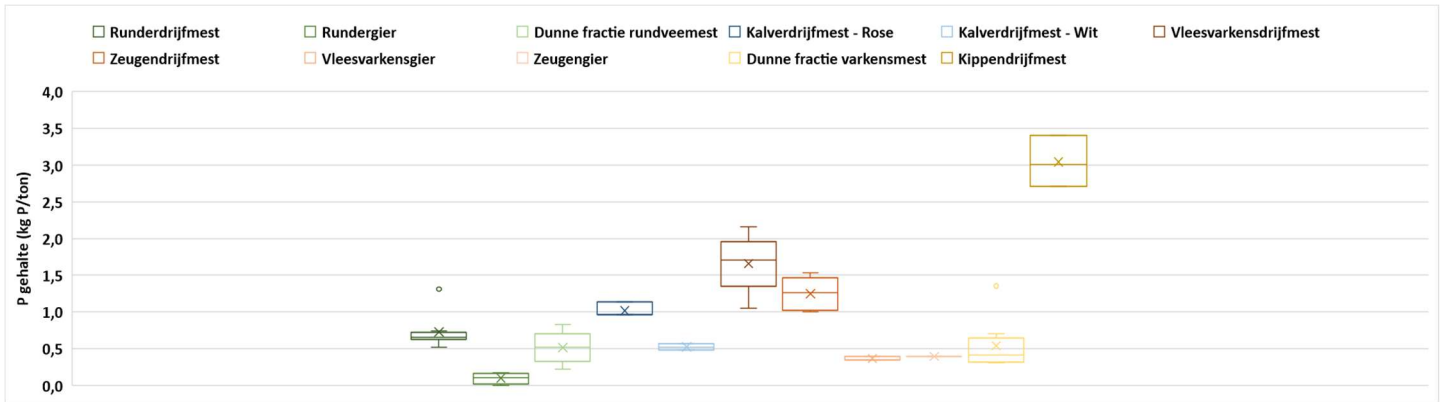
R2	VLM, UGent, NMI (2017) – Demeter – Life+ project
R8	Agriculture and Horticulture Development Board (2017) – Nutrient management guide. 44 p.
R9	Coppens G., Vandendriessche H., Moens W. and Bries J. (2009) – De mestwegwijzer: Overzicht van 15 jaar mestanalyse door de Bodemkundige Dienst van België. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee. 95 p.
R10	Feller C., Fink M., Laber H., Maync A., Paschold PJ., Scharpf HC., Schlaghecken J., Strohmeyer K., Weier U. and Ziegler J. (2011) – Düngung im freilandgemüsebau. Leibniz-Institut für Gemüse- Und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren. 265 p.
R11	Koch Eurolab (2017-2021) – Gemiddelde samenstelling organisch meststoffen in bulk. Eurolab.nl/mestof-organisch-v.htm
R12	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2014) – Mittlere Nährstoffgehalte organischer Dünger (Richtwerte). 1 p.
R13	Postma R. ,van Rotterm-Los D., Schils R., Zwart K and van Erp P. (2013) – Inventarisatie, toepasbaarheid en klimaateffecten van producten van mest. Productschap Akkerbouw, 91 p.
R14	RVO (2022)- Normen en mestcodes aanvoer en afvoer (dierlijke) mest; 2 p.
R15	Schoumans OF., Ehlert PAI., rulkens WH. And Oenema O. (2012) – Afzetmogelijkheden van de dunne fractie van varkensdrijfmest na mestscheiding. Alterra rapport 2331, 81 p.
R16	Vannecke T., Gorissen A. and Vanrespaille H. (2018) – Literatuurstudie: Waarde van de dikke fractie na mestscheiding als bron van organische stof. Vlaams coördinatiecentrum voor mestverwerking. 64 p.
R17	VCM (2011-2015) – Dunne fractie na scheiding. Vlaams coördinatiecentrum voor mestverwerking. vcm-mestverwerking.be/nl/kenniscentrum/2811/dunne-fractie-na-scheiding
R18	VLACO (2022)- Gemiddelde samenstelling van VLACO compost. VLACO. Vlaco.be/compost-gebruiken/wat-is-compost/gemiddelde-samenstelling-van-vlaco-compost

Een overzicht van de gevonden kengetallen voor het P gehalte van organische bemesting die in Vlaanderen aangewend wordt, wordt gegeven in tabel 20, figuur 32, figuur 33 en figuur 34. Het P gehalte van vloeibare dierlijke mest varieert van gemiddeld 0.10 tot 3.04 kg P/ton, waarbij gier duidelijk minder P bevat dan drijfmest of dunne fractie. Binnen de verschillende types vloeibare dierlijke mest neemt het P gehalte toe in de volgorde: vloeibare kalver/rundermest < vloeibare varkens/zeugenmest < vloeibare kippenmest. De spreiding in het P gehalte van vloeibare dierlijke mest is veelal klein en varieert van 0.10 tot 0.20 kg P/ton. Uitzondering hierop zijn dunne fractie van vloeibare mest, vleesvarkens- en zeugendrijfmest en kippendrijfmest waar de spreiding varieert van 0.50 tot 0.80 kg P/ton.

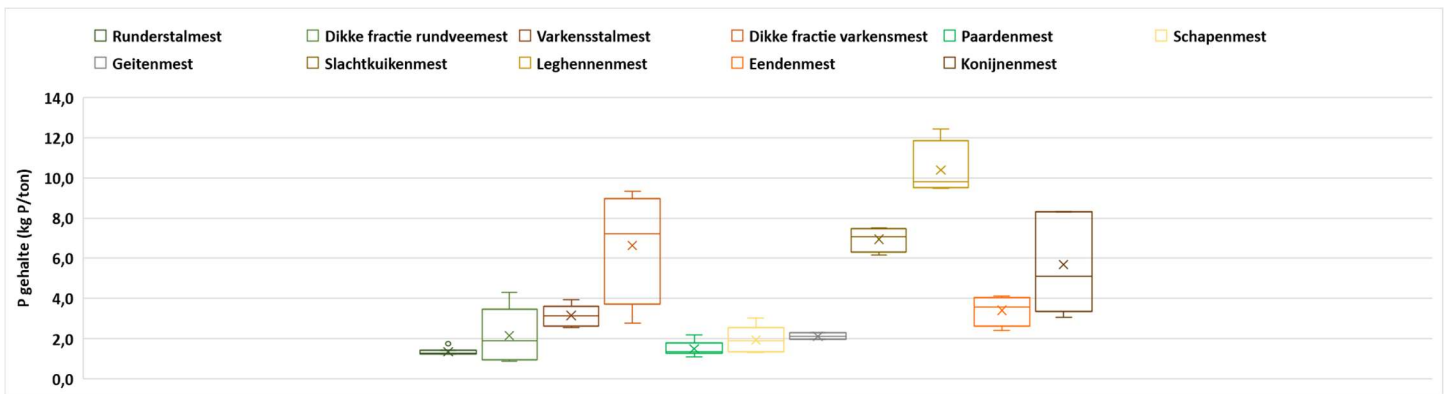
Tabel 20: Spreiding op het P gehalte van organische bemesting zoals waargenomen in de bestaande literatuur (MIN = minimum, MED = mediaan, MEAN = gemiddelde, MAX = maximum, n = aantal waargenomen waarden)

Type bemesting	R2	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R16bis	R17	R18	MIN	MED	MEAN	MAX	n
Vloeibare mest																		
Runderdrijfmest	0,61	0,52	0,66	1,31	0,66	0,74	0,66	0,66						0,52	0,66	0,73	1,31	8
Rundergier			0,17	0,00	0,09	0,13								0,00	0,11	0,10	0,17	4
Dunne fractie rundveemest							0,52	0,57		0,22	0,83	0,44		0,22	0,52	0,52	0,83	5
Kalverdrijfmest – Rose					1,14	0,96		0,96						0,96	0,96	1,02	1,14	3
Kalverdrijfmest – Wit	0,57				0,48			0,52						0,48	0,52	0,52	0,57	3
Vleesvarkendrijfmest	2,16	1,75	1,90	1,09	1,70	1,05	2,01	1,66	1,62					1,05	1,70	1,66	2,16	9
Zeugendrijfmest	1,27		1,40		1,53	1,00		1,05						1,00	1,27	1,25	1,53	5
Vleesvarkensgier				0,35	0,39	0,35								0,35	0,35	0,36	0,39	3
Zeugengier					0,39				0,39					0,39	0,39	0,39	0,39	2
Dunne fractie varkensmest		0,48	0,35				0,31	0,70	0,31	0,39	1,35	0,44		0,31	0,41	0,54	1,35	8
Kippendrijfmest	3,01				3,41			2,71						2,71	3,01	3,04	3,41	3
Vaste mest																		
Runderstalmest	1,27	1,40	1,75	1,22	1,22	1,27	1,22	1,40						1,22	1,27	1,34	1,75	8
Dikke fractie rundveemest		0,87					1,00	4,28		2,66	1,88			0,87	1,88	2,14	4,28	5
Varkensstalmest	3,93	2,62		2,53	3,45	2,84		3,49						2,53	3,14	3,14	3,93	6
Dikke fractie varkensmest							6,64	9,34		7,82	2,75			2,75	7,23	6,64	9,34	4
Paardenmest	1,31	2,18		1,66	1,31	1,40		1,09						1,09	1,35	1,49	2,18	6
Schapenmest		1,40		1,31	1,88	3,01		2,05						1,31	1,88	1,93	3,01	5
Geitenmest		1,97			2,27			2,10						1,97	2,10	2,11	2,27	3
Slachtkuikenmest	6,16		7,51		7,42			6,72						6,16	7,07	6,95	7,51	4
Leghennenmest	12,45		9,48		10,04	9,61								9,48	9,83	10,39	12,45	4
Eendenmest		2,40		3,89	3,23			4,10						2,40	3,56	3,41	4,10	4
Konijnenmest	3,62			8,30	3,06	8,30		5,11						3,06	5,11	5,68	8,30	5
Overige mest																		
Groencompost	1,22			1,70	0,96	1,35							1,22	0,96	1,22	1,29	1,70	5
GFT compost	2,88				2,62	2,23							2,62	2,23	2,62	2,59	2,88	4
Champost	1,70			3,36	1,97	1,79		1,70						1,70	1,79	2,10	3,36	5



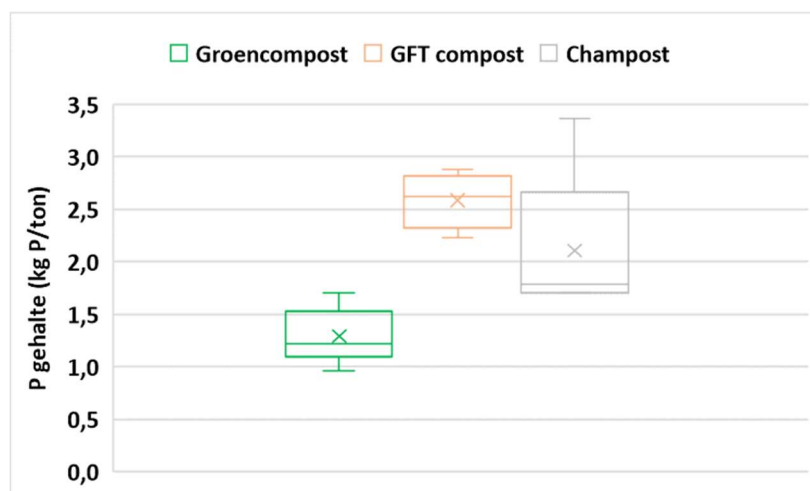


Figuur 32: Variatie in P gehalte van vloeibare organische mest waarvoor drie of meer kengetallen gevonden werden, weergegeven in een boxplot (x = gemiddelde, _ = mediaan, o = waarde van één individuele waarneming)



Figuur 33: Variatie in P gehalte van vaste organische mest waarvoor drie of meer kengetallen gevonden werden, weergegeven in een boxplot (x = gemiddelde, _ = mediaan, o = waarde van één individuele waarneming)





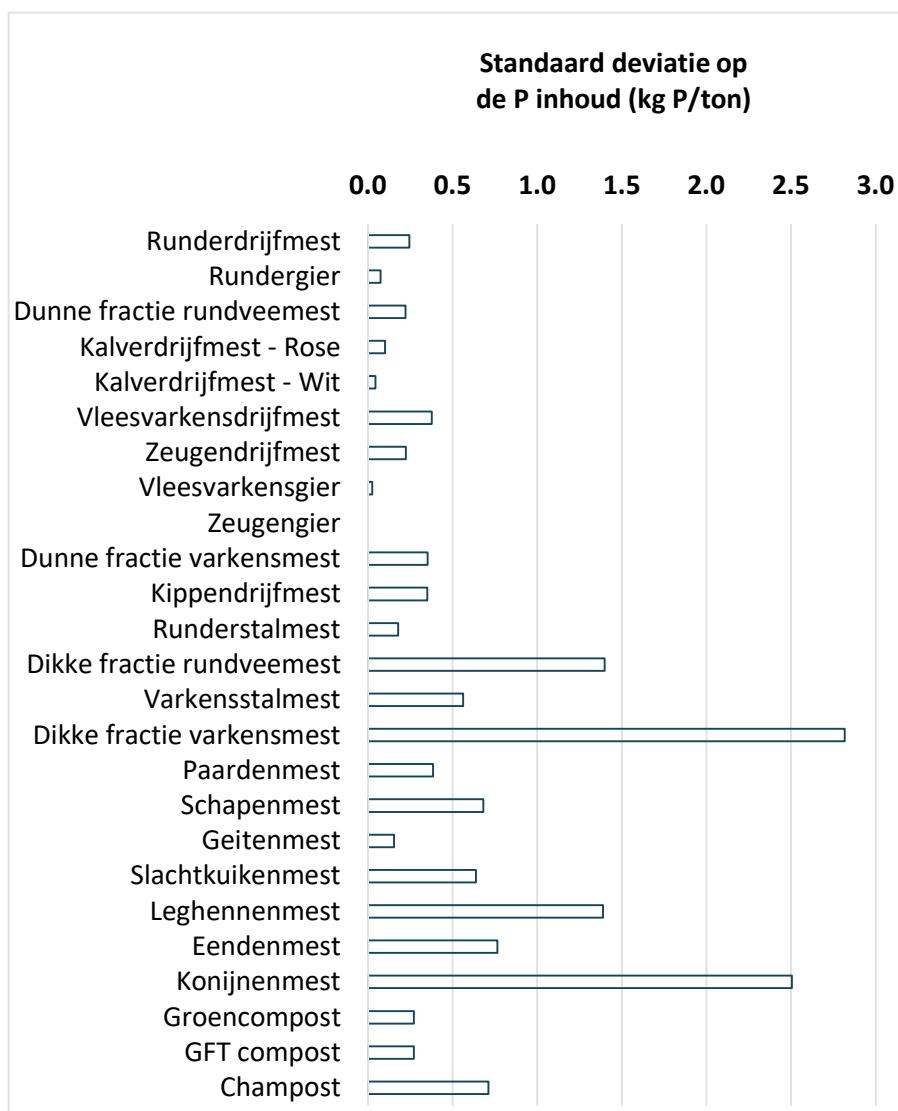
Figuur 34: Variatie in P gehalte van overige organische mest vormen waarvoor drie of meer kengetallen gevonden werden, weergegeven in een boxplot (x = gemiddelde, _ = mediaan, o = waarde van één individuele waarneming)

Binnen de vaste dierlijke mest kunnen we drie groepen onderscheiden naargelang het P gehalte en is de spreiding in P gehalte groter dan bij vloeibare dierlijke mest: runderstalmest, dikke fractie van rundveemest, varkensstalmest, paardenmest, schapenmest, geitenmest en eendenmest hebben een eerder laag P gehalte van gemiddeld 1.34 tot 3.41 kg P/ton met een spreiding van 0.20 tot 2.40 kg P/ton. Dikke fractie van varkensmest, slachtkuikenmest en konijnmest hebben een matig P gehalte van 5.68 tot 6.95 kg P/ton met een spreiding van 1.40 tot 5.20 kg P/ton. Leghennen mest heeft tot slot een hoog P gehalte van gemiddeld 10.39 kg P/ton met een spreiding van 2.97 kg P/ton.

Overige organische mest, zoals groencompost, gft compost en champost, heeft een P gehalte van 1.29 tot 2.59 kg P/ton. De spreiding binnen deze types organische mest varieert van 0.74 tot 1.74 kg P/ton.

In Figuur 35 wordt de standaardafwijking op de geïnventariseerde P inhoud cijfers van organische mest weergegeven. Voor alle types vloeibare mest, runderstalmest, geitenmest, groencompost en gft compost is de standaardafwijking ≤ 0.39 kg P/ton, wat er op wijst dat in 68.2 % van de gevallen het aangenomen P gehalte van de organische bemesting maximaal 0.39 kg P/ton zal afwijking van het gemiddeld waargenomen P gehalte in deze studie. Voor varkensstalmest, schapenmest slachtkuikenmest, eendenmest en champost varieert de standaardafwijking van 0.56 tot 0.77 kg P/ton. Voor dikke fractie van rundveemest en varkenmest, leghennenmest en konijnenmest is de standaardafwijking op de geïnventariseerde P gehalten hoog en varieert van 1.39 tot 2.82 kg P/ton.





Figuur 35: Standaardafwijking op een compilatie van P inhoud cijfers van organische bemesting gerapporteerd door verschillende bronnen

4.3 DE 4 J'S: JUISTE DOSIS - TIJDSTIP - TYPE - PLAATSING

In dit projectdeel werd alle informatie samengebracht om te komen tot concrete voorstellen voor een optimaal systeem van bemestingsadviezen, met twee belangrijke delen: welke parameters en processen moeten in een optimaal bemestingsadvies verwerkt zitten, en welke informatie dient bij landbouwers opgevraagd te worden om dergelijk optimaal advies te kunnen verstrekken. Dit gebeurt in eerste instantie door een doorgedreven analyse van de zogenaamde 4 J's (juiste dosis - juiste tijdstip - juiste type - juiste plaatsing), wat vervolgens



samengevat wordt in voorstellen voor zowel inlichtingenformulieren bij aanvraag van bodemanalyse en bemesting als voor de bemestingsadviezen zelf.

Vertrekpunt voor deze analyse waren:

- de vergelijking van bestaande adviessystemen
- de benchmarking van de adviessystemen via vergelijkende adviezen voor een aantal percelen
- parameterwaarden verzameld uit de literatuur
- de literatuurstudie van adviessystemen
- de gevoeligheidsanalyse van bemestingsadviezen
- de uitkomsten van focusgroep 1 van dit project

Bij de analyse wordt, waar dit nuttig is, gestart met een kort kennisoverzicht om alles nogmaals te kaderen, behalve dan voor de "juiste dosis", gezien deze uitgebreid aan bod komt in het overgrote deel van dit project. Vooral voor de aspecten "juiste type" en "juiste plaatsing" is dergelijke kadering zeker nuttig. Zoals ook gesteld in het projectvoorstel was het absoluut niet de bedoeling om een uitgebreide literatuurstudie uit te voeren omtrent de 4 J's, maar dus wel om na te gaan wat kan ingebouwd worden in bemestingsadviezen, en met welke prioriteit. Ook het technisch detail en realiseerbaarheid van verschillende opties van deze 4 J's nagaan en uitwerken valt uiteraard buiten het bestek van deze opdracht, waar enkel een aanzet wordt gegeven tot mogelijke pistes. Deze kunnen dan - indien beloftevol bevonden - verder in detail worden uitgewerkt.

Cruciaal is ook dat deze 4 J's niet los van elkaar gezien mogen en kunnen worden (zie ook focusgroep 1): ze hangen heel sterk samen en keuze voor een bepaalde J heeft automatisch impact op andere J's. Het voorbeeld bij uitstek hiervan is wellicht het gebruik van controlled- of slow-release meststoffen, waarbij het type meststof dus per definitie volledig de timing controleert.

Tenslotte moet worden opgemerkt dat de "juiste dosis" in eerste instantie de enige J is die direct gebruikt wordt in de berekening van het bemestingsadvies. De andere J's hebben vooral betrekking op de praktische overwegingen van de bemestingspraktijk. Wel kan er een post-hoc effect zijn op de berekende dosis, bv. indien voor specifieke teelten de berekende dosis kan verminderd worden bij gebruik van geplaatste bemesting. De nadruk ligt hier dan ook sterk op de "juiste dosis".

4.3.1 Juiste dosis

De juiste dosis meststof is de belangrijkste van de 4 J's om te komen tot een correct bemestingsadvies dat maximaal rendement nastreeft, in combinatie met minimale verliezen en nitraatresiduen op het einde van de teelt. Dit deel is grotendeels voorbereid via het opstellen van de matrices voor N en P processen/parameters, het opzoeken van de parameterwaarden uit de literatuur, en de gevoeligheidsanalyse. Ondertussen werd ook al tijdens Focusgroep 1 een format voorgesteld voor het opvragen van gegevens bij de landbouwer, waarin een



groot aantal parameters vervat zaten. Dit format is ondertussen verder uitgewerkt, en de verschillende parameters worden hier in volgorde van belangrijkheid systematisch behandeld. Voor de eigenlijke cijfers (de waarden van de verschillende parameters) te gebruiken voor het formuleren van het bemestingsadvies verwijzen we naar het deel van de literatuurstudie over de parameterwaarden.

4.3.1.1 Parameters voor N bemesting

i) N mineralisatie uit bodem organische stof

Het wordt algemeen erkend dat N mineralisatie uit bodem organische stof de meest bepalende maar wellicht ook moeilijkste parameter is voor het opstellen van een N bemestingsadvies. Bijna alle adviessystemen maken een inschatting van de N mineralisatie, maar de onzekerheid hierop is erg hoog (zie ook gevoeligheidsanalyse). Indien dus bijkomende kennis ter beschikking is omtrent de N mineralisatie dan moet het inlichtingenformulier hier zeker naar vragen. Volgende bronnen kunnen hiervoor gebruikt worden (d.w.z. bijkomende bronnen naast de algemene bodemanalyses):

- voorgeschiedenis van het perceel, met als belangrijkste elementen:
 - permanent grasland geweest in het verdere verleden (recente voorgeschiedenis wordt gebruikt om mineralisatie uit recent gescheurd (tijdelijk) grasland te berekenen, hier gaat het om oudere achtergrondeffecten)
 - historische organische bemesting: een voorgeschiedenis van zware organische bemesting (meestal dierlijke mest) kan zorgen de oorzaak zijn van een hoge N mineralisatie
- voorkennis omtrent N mineralisatie nagaan:
 - vraag stellen of de landbouwer uit eigen ervaring kennis heeft omtrent het mineralisatiepotentieel van zijn perceel (bv. op basis van resultaten met NO₃-N residuen: hoge NO₃-N residuen kunnen wijzen op (te) sterke N mineralisatie)
 - mogelijks was het perceel al ooit onderdeel van onderzoek door proefcentra
 - mogelijks heeft het adviesbureau al kennis omtrent het perceel uit vroeger uitgevoerde analyses

ii) (totale) N opname door het gewas

Uit de analyse van de parameterwaarden voor bemestingsadviezen komt de N opname - logischerwijze - als grootste term in de N balans naar voren. Een goede inschatting van de N opname door het gewas is dan ook cruciaal voor het formuleren van een correct advies, zoals ook duidelijk tot uiting is gekomen in de vergelijking van de adviezen in Luik 1 van dit project. Het onder controle houden van de variabiliteit van N opnamecijfers in bemestingsadviezen kan gebeuren door voldoende informatie op te vragen bij de landbouwers, en rekening te houden met all beïnvloedende factoren. Volgende informatie kan hierbij van belang zijn:

//

- navraag bij landbouwer naar verwachte opbrengst, of naar opbrengsten uit het recente verleden op hetzelfde of vergelijkbare percelen, uiteraard steeds in "normale" omstandigheden (qua gewasgezondheid, weersomstandigheden, ...). Deze informatie moet dan steeds vertaald worden naar een overeenkomende verwachte totale N opname. Deze informatie kan opgevraagd worden in ton productie per ha. Opvragen van deze informatie op een eerder kwalitatieve manier is wellicht weinig zinvol, gezien dit zeer subjectief is.
- het globale opbrengstpotentieel van het perceel, op te vragen op een kwalitatieve manier: laag - matig - hoog
- het bodemtype, vooral de textuur
- bestemming van de productie, bv. verse markt of industrie
- te verbouwen cultivar

iii) N vrijstelling uit dierlijke mest en uit composten

Bij een bemestingsadvies moet onderscheid gemaakt worden tussen dierlijke mest/compost die al is toegediend voor het moment van monstername, en dierlijke mest die zal toegediend worden om de N behoefte (deels) in te vullen. In geval van bv. stalresten en compost zal het in de praktijk steeds gaan om een bemesting die al voor de monstername is gebeurd. In het eerste geval maakt de dierlijke mest/compost expliciet deel uit van de berekeningen van het bemestingsadvies, in het tweede geval is het gewoon een invulling van de geadviseerde dosis. In de verdere bespreking gaat het hier enkel over het eerste geval. De N vrijstelling uit dierlijke mest kan sterk variëren binnen een bepaald type mest (runderstalresten, runderdrijfmest, varkensdrijfmest, kippemest, ...) en dit wordt vooral bepaald door de verschillen in N inhoud die samenhangen met het staltype, het voeder, de opslag van de mest, ... Indien geen meting van de N inhoud is gebeurd moet gewerkt worden met forfaitaire cijfers, die vrij sterk van de effectieve N inhoud kunnen afwijken. Volgende informatie kan hierbij van belang zijn (er wordt steeds uitgegaan van emissie-arme toediening van de mest):

- toegediende dosis (ton ha⁻¹ of m³ ha⁻¹)
- totale N inhoud
- minerale N inhoud
- datum toediening (vooral van belang voor berekening van de nog te verwachten N mineralisatie)

iv) N vrijstelling uit vanggewassen of groenbemesters

N vrijstelling uit vanggewassen en groenbemesters wordt bepaald door tal van factoren. In praktijksituaties zal nooit een analyse van de hoeveelheid (droge stof/organische stof) of de N inhoud gegeven zijn, en moet men zich dus baseren op een aantal kengetallen, afgestemd op specifieke situaties. Volgende informatie kan hierbij van belang zijn:



- type vanggewas/groenbemester
- inzaaidatum
- datum vernietiging/datum inwerking
- (visuele) inschatting (door de landbouwer) van de biomassaproductie (ontwikkeling)

v) N vrijstelling uit recent gescheurd tijdelijk grasland

Hier gaat het over grasland dat kort voor de teelt (zelfde jaar of vorige jaar) werd gescheurd. "Permanent" grasland uit een verder verleden wordt beschouwd een effect te hebben op het lange termijn N mineralisatiepotentieel van de bodem, en wordt meegenomen in de inschatting van de N mineralisatie uit bodem organische stof. Volgende informatie kan hierbij van belang zijn:

- type grasland: gras of gras/klaver, met inschatting van aandeel klaver
- inzaaidatum
- aantal afgevoerde snedes
- datum vernietiging/scheuren

vi) N vrijstelling uit oogstresten voorgaande teelt

N vrijstelling uit oogstresten van de voorgaande teelt is vooral van belang bij teelten die N rijke oogstresten achterlaten op het perceel, in eerst instantie een groot aantal groenten en suikerbieten. Vooral bij verschillende rondes groenten in hetzelfde seizoen kan N mineralisatie uit de oogstresten van de voorgaande teelt vaak een bijkomende N bemesting overbodig maken. Volgende informatie kan hierbij van belang zijn:

- bestemming productie (vers, industrie)
- ontwikkeling gewas
- datum oogst
- datum inwerken
- oogstresten afgevoerd?: afvoer van oogstresten gebeurt momenteel nog hoogst zelden, maar kan in de toekomst mogelijks belangrijker worden om vooral in teelten met N rijke oogstresten de nitraatuitspoeling onder controle te krijgen.



vii) Bodembewerking

Bodembewerking is van belang voor N bemesting, omdat het mogelijks een beperking zet op de types meststoffen die kunnen gebruikt worden (bv. onmogelijkheid tot inwerken bij directe inzaai). Ook de werking van N meststoffen kan beïnvloed worden door het type bodembewerking (bv. door het minder diep inwerken, minder intensieve menging met de bodem, tragere mineralisatie door hoger bodemvochtgehalte, mogelijks grotere efficiëntie door hogere bodemkwaliteit, ..., afhankelijk van het aantal jaren dat de bodem al minder intensief bewerkt wordt), al is het bijzonder moeilijk om daar concrete getallen aan te verbinden. Volgende aspecten kunnen voor een kwalitatieve inschatting van het effect op de N bemesting (mogelijks te gebruiken in de toekomst bij voortschrijdend wetenschappelijk inzicht) van belang zijn:

- Kerend of niet-kerend, directe inzaai
- Aantal jaren onder verminderde bodembewerking

Bovengenoemde parameters zijn per definitie allemaal te bevragen bij de landbouwers. Het is duidelijk dat adviesbureaus daarnaast een zeer grote expertise moeten hebben omtrent al deze aspecten van N bemesting, in het bijzonder omtrent de meest optimale parameterwaarden die te gebruiken zijn. Databanken met deze parameterwaarden moeten bovendien ten gepaste tijde ge-update worden om nieuwe kennis in rekening te brengen, hetgeen uiteraard een enorme uitdaging vormt voor adviesbureau's, want houdt een zeer grote en continue inspanning in. Dergelijke inspanning kan veel efficiënter verlopen indien dit zou gebeuren in een samenwerkingsverband, en bij voorkeur onder supervisie van een centraal orgaan, zodat gemakkelijk tot consensuswaarden kan gekomen worden. Consensuswaarden van parameters zal ook de verschillen tussen adviezen doen afnemen of zelfs doen verdwijnen, wat de duidelijkheid naar de landbouwer toe zeer sterk zou verhogen, en het vertrouwen van landbouwers in de adviezen zou ten goede komen.

Behalve gegevens aan te leveren door de landbouwer kan ook nog gebruik gemaakt worden van beschikbare databanken, bv.

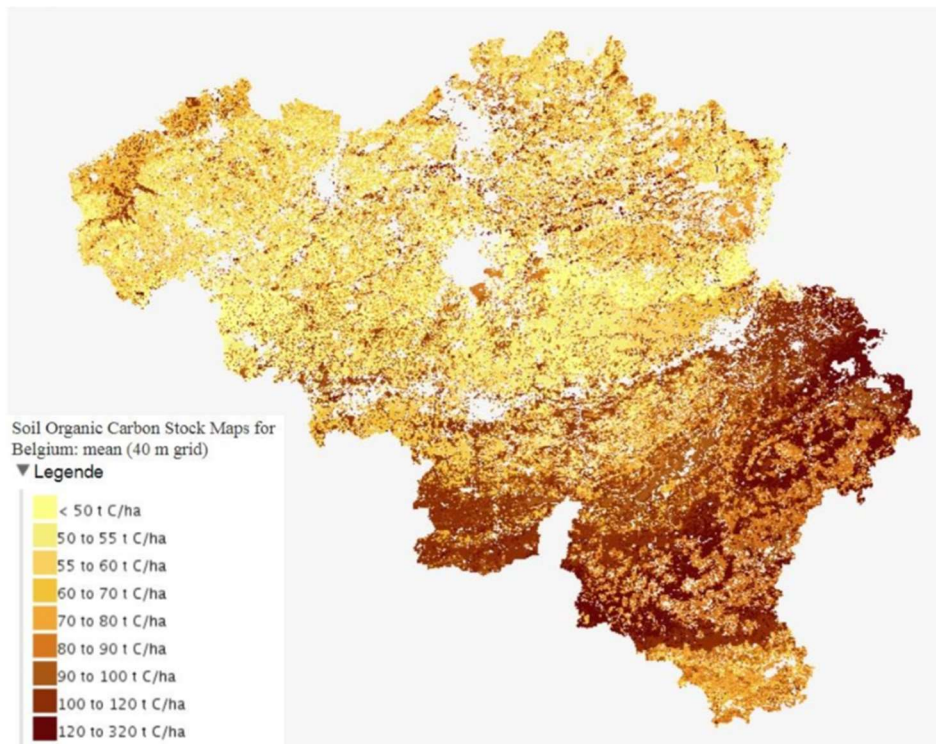
viii) BOC gehalte

Het organische koolstofgehalte, en nog beter het totale stikstofgehalte van een bodem zijn cruciaal bij het inschatten van het mineralisatiepotentieel van een bodem. Indien geen organisch koolstofgehalte voorhanden is en ook geen analyse werd aangevraagd door de landbouwer kan toch een onderbouwde inschatting hiervan gemaakt worden op basis van de ligging van het perceel en de Databank Ondergrond Vlaanderen, met name de internationale GSOC kaart voor België (<https://dov.vlaanderen.be/page/organische-stof>) (Figuur 36). Deze is gebaseerd op de 'Soil organic carbon stock maps for Belgium' (2017), die het resultaat zijn van een samenwerking tussen de Vlaamse en Waalse overheid en zijn beschikbaar in 2 resoluties: het fijne 40m grid (Lambert72) en het grove 1 km grid (WGS 84), waarbij de eerste dus in principe bruikbaar is voor inschatten van het BOC gehalte op perceelsniveau.

Een verdere verfijning kan er in bestaan om uit het BOC gehalte ook het totale N gehalte in te schatten. Dit kan bv. gebeuren volgens de aanpak voorgesteld door Sleutel et al. in het VLM project "Inschatting van de gevolgen van wijzigend landbouw- en mestbeleid op oppervlaktewater" (Seuntjens et al. 2007). Hierbij werden de



regressievergelijkingen opgesteld door Gobin et al. (2005) gebruikt om voor akkerland en weiland afzonderlijk de totale N gehaltes te berekenen uit de BOC gehalten, en werden op die manier kaarten (weliswaar op gemeenteniveau) opgesteld om per textuurklasse N mineralisatie in te schatten.



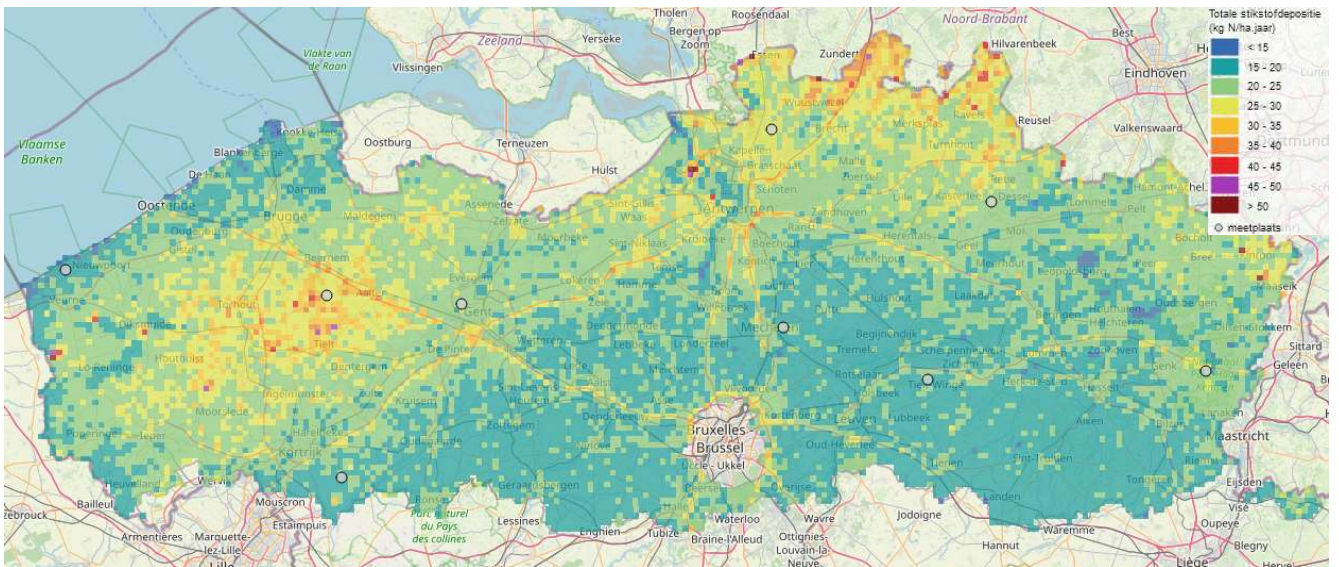
Figuur 36: Bodem organische koolstofstocks in de bovenste 30 cm in België

ix) Atmosferische depositie

De gemiddelde atmosferische N depositie in Vlaanderen bedraagt momenteel (laatst beschikbare cijfers slaan op de situatie in 2020³, <https://www.vmm.be/lucht/stikstof/stikstofdepositie>) 22.0 kg N ha⁻¹ (som van NH_x, NO_y en organische N), maar met vrij grote regionale verschillen (Figuur 37). N depositie wordt normaal gezien niet in rekening gebracht in een bemestingsadvies, omdat bij bemestingsproeven deze N impliciet meegenomen wordt in de berekening van de optimale N dosis. Maar door de belangrijke regionale verschillen kan het toch belangrijk zijn om een expliciete correctie voor de N depositie in rekening te brengen. Dit zou bv. kunnen door aan te nemen dat optimale N dosissen gebaseerd zijn op gemiddelde N depositiecijfers, en de optimale N dosis te verhogen resp. te verlagen bij lokaal lagere of hogere waarden van N depositie. Dergelijke correcties kunnen oplopen tot soms 10% van de totale N opname.

³ Voorlopige cijfers op datum van dit rapport: de depositie in 2020 werd berekend met emissies van 2019 en meteogegevens van 2020. Voor organische stikstof wordt een constante depositie in de tijd aangenomen.





Figuur 37: De gemiddelde atmosferische N depositie ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) in Vlaanderen in 2020.

In de toekomst zouden mogelijks steeds meer gegevens die nuttig zijn voor een bemestingsadvies rechtstreeks door adviesinstanties kunnen opgevraagd worden uit bestaande of nieuwe databanken. Hierbij zou dan moeten gezocht worden naar een evenwicht tussen enerzijds privacy en anderzijds het zo weinig mogelijk bevragen van landbouwers voor gegevens die op andere manieren kunnen verkregen worden. Het opstellen van een bodempaspoort, zoals ook in Focusgroep 1 werd gesuggereerd, zou hierin een zeer belangrijke stap betekenen.

4.3.1.2 Parameters voor P bemesting

Voor P bemesting, zeker in Vlaanderen, is de situatie opnieuw een heel stuk eenvoudiger. Uit de kennis van de wetenschappelijke literatuur ter zake is er geen enkele reden om de huidige principes rond P bemesting te verlaten of te wijzigen, m.a.w. men formuleert een P bemesting op basis van de bodem P toestand (gemeten in maximaal de voorbije 3-4 jaar) en van de P behoefte van het gewas. De bodem P toestand primeert zeer sterk op de P behoefte. Mogelijke "probleem"punten hierbij zijn het type analyse gebruikt in de bepaling van de bodem P toestand, en de interpretatie van deze P toestand. In de twee grote studies uitgevoerd in Vlaanderen in het recente verleden omtrent o.a. de bepaling van de bodem P toestand en de interpretatie ervan zijn enigszins verschillende conclusies gekomen. Met betrekking tot welke type analyse beter zou zijn wordt hier verder geen discussie gevoerd, en gezien de algemene verbreidheid in Vlaanderen stellen we voor om de P-AL analyse (in de bovenste 30 cm) voorlopig gewoon verder te gebruiken. Het lijkt ons wel cruciaal dat de interpretatie van deze P-AL analyse nog eens grondig doorgelicht wordt, omdat bij vergelijking van onze grenswaarden van P klassen blijkt dat die vaak (zeer) veel hoger liggen dan in het buitenland (zie bv. Jordan-Meille et al. 2012). Deze hoge grenswaarden van P klassen werden weliswaar bevestigd in de studie APLM/2014/3 (Amery et al. 2019), maar zijn wellicht één van de oorzaken van de nog steeds relatief hoge P adviezen ondanks (zeer) hoge bodem P toestand (naar internationale normen). Uit de studie van Vandermoere et al. bleek dat P bemesting, zelfs voor de meest P gevoelige gewassen, geen opbrengstverhoging geeft in het



merendeel van onze bodems. De grootste hinderpaal voor een correcte P bemesting is dan ook het grote aanbod aan dierlijke mest, waardoor een P bemesting meestal neerkomt op het maximaal invullen van de P normen.

De enige informatie die voor een P bemesting moet worden opgevraagd bij de landbouwer (of zelf moet worden gemeten) is de P toestand van het perceel. Bij een bodem P toestand die niet zeer hoog of hoog is (maar volgens welke normen!) moet dit gecombineerd worden met de P behoefte van het gewas. Bij een P bemesting kunnen, althans op de korte termijn, normaal gezien weinig grote fouten gemaakt worden. Veranderingen in P toestand verlopen immers zeer traag, en een eenmalige te hoge P bemesting zal milieukundig weinig invloed hebben. Pas bij langdurig overdreven P bemesting zullen de gevolgen zichtbaar worden in de P toestand van de bodem. Het opvolgen van de P toestand van een perceel in functie van de tijd is in dat opzicht heel belangrijk (bv. via een bodempaspoort).

4.3.2 Juiste tijdstip

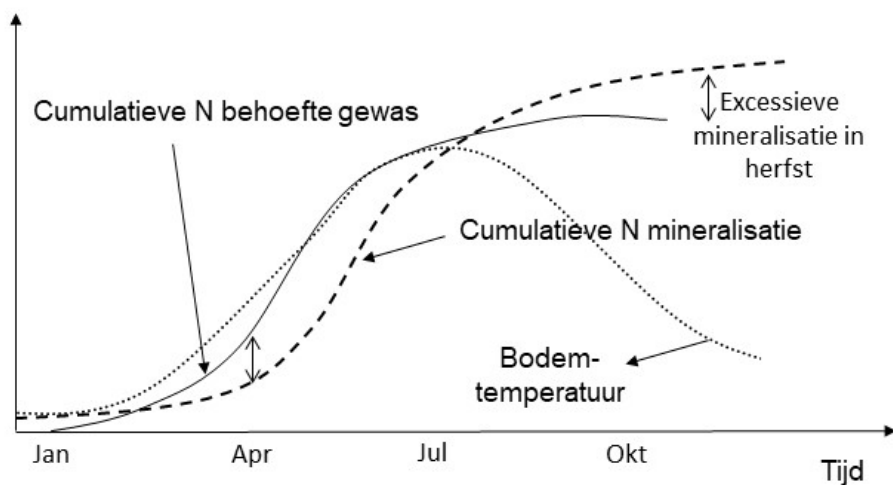
Het juiste tijdstip van bemesten is zowel voor minerale als organische bemesting van belang. Voor minerale meststoffen heeft het juiste tijdstip vooral betrekking op het verschil tussen een eenmalige N gift en een gefractioneerde bemesting. Het belang van het tijdstip van minerale bemesting hangt in eerste instantie af van de (uiteraard niet voorspelbare) weersomstandigheden. Een belangrijk aspect van het beheer van organisch materiaal is de synchronisatie van de N-mineralisatie met de N-vraag van het gewas om opbrengstverlies te voorkomen en/of het risico van N-verliezen te minimaliseren (voor een conceptuele voorstelling hiervan zie Figuur 38) (De Neve et al. 2017; Tei et al. 2020). Een gebrek aan synchronisatie kan zich bijvoorbeeld voordoen in het vroege voorjaar in gematigde vochtige klimaten, wanneer de N-vraag van de gewassen al hoog kan zijn terwijl de N-mineralisatie uit bodem organische stof nog beperkt is als gevolg van relatief lage bodemtemperaturen. In de herfst kan de N mineralisatie van N-rijke gewasresten nog steeds hoog zijn als gevolg van hoge bodemtemperaturen op een moment dat de grond onbegroeid is of de N-vraag laag is. Het gebrek aan synchronisatie in het voorjaar kan gemakkelijk worden verholpen door extra bemesting, maar buitensporige N-mineralisatie in de herfst is veel moeilijker te beheersen en is een van de hoofdoorzaken van grote N-verliezen. De timing van bemesting, en in het bijzonder de fractionering van bemesting, werd zeer recent uitvoerig beschreven via een literatuurstudie door Nawara et al. (2021) in opdracht van VLM.

Organische meststoffen worden dus best in het eerste deel van het groeiseizoen toegediend, zodat de kans op tijdige mineralisatie maximaal is. In geval van vloeibare organische meststoffen (drijfmest) zou men kunnen verwachten dat er een minder grote gevoeligheid is aan droogte dan bij minerale meststoffen omdat per definitie een belangrijke hoeveelheid vocht wordt toegediend. Nochtans zal dit vocht in een echt droge bodem zeer snel door diffusie verdund worden en zal het effect zeer snel verdwijnen.

Bijbemesting moet alleszins beredeneerd gebeuren, want de resultaten voor opbrengst en nitraatresidu kunnen sterk uiteenlopen afhankelijk van het effectieve moment van bijbemesten, de weersomstandigheden, en de N-mineralisatie uit bodem organische stof. Volgende elementen zijn hierbij van belang (

Tabel 21)





Figuur 38: Conceptuele voorstelling van (gebrek aan) synchronisatie bij N mineralisatie uit verschillende bronnen

Tabel 21: Mate waarin de timing van de bemesting (eenmalige bemesting aan het begin van het groeiseizoen versus gefractioneerde bemesting) invloed heeft op factoren die de N beschikbaarheid doorheen het groeiseizoen bepalen (- en + : respectievelijk negatieve en positieve invloed)

	Enmalige dosis	Gefractioneerde bemesting
N mineralisatie uit BOS in rekening brengen	-	+
N nalevering uit andere bronnen van organisch materiaal (mest, oogstresten, vanggewassen, groenbemesters, ...)	-	+
Droogte verhindert oplossing en opname	+	-
Stand van het gewas en N opname in rekening brengen	-	+
N uitspoeling in zeer nat voorjaar op zandbodems	-	+



Veel onderzoek naar bijbemesting heeft zich geconcentreerd op aardappelen, omwille van de relatief ondiepe beworteling en de vaak hoge nitraatresiduen in het najaar. Bij proeven waarin een eenmalige bemesting (100% basisbemesting) werd vergeleken met een gefractioneerde bemesting (70% als basis + 30% als bijbemesting) (Nawara et al. 2021), was het verschil in totale opbrengst en vermarktbaar sortering tussen de objecten verwaarloosbaar klein. De invloed op het nitraatresidu varieerde. Zo werd bij zo'n 33% van de gevallen een daling van 10 kg van het nitraatresidu-N waargenomen, terwijl bij 33% van de gevallen een stijging van nitraatresidu-N van meer dan 10% werd waargenomen in vergelijking met de 100% basisbemesting. Het tijdstip van de bijbemesting bleek cruciaal om een deel van deze verhoogde nitraatresiduen te verklaren. De grootste N-opname bij aardappelen vindt namelijk plaats tot 60 dagen na opkomst, en in geval van bijbemesting na deze periode stijgt net de kans op verhoogde nitraatresiduen in vergelijking met een niet-gefractioneerde bemesting. In de Blauwer et al. (2013a) wordt daarom gesteld dat bijbemesten in principe voor 1 juli moet gebeuren. Maar ook in droge omstandigheden heeft bijbemesten mogelijks geen zin, met name als de meststof niet meer opgelost geraakt en dus te laat beschikbaar komt in de bodem, wat opnieuw aanleiding zou geven tot hogere nitraatresiduen dan bij niet-gefractioneerde bemesting.

4.3.3 Juiste type

Voor de keuze van het juiste type meststof moet rekening gehouden worden met volgende aspecten:

- de organische mest die beschikbaar is op het bedrijf en die kan/zal aangewend worden: dit kan gaan over zeer sterk uiteenlopende types bepaald door het staltype (drijfmest, stalmest), de diersoort, het al dan niet verwerkt zijn (dunne fractie, dikke fractie, digestaat, ...), de voorbehandeling (bv. boerderijcompost)
- het soort minerale meststoffen: hierbij moeten basisprincipes gerespecteerd worden, zoals geen ureum of NH_3/NH_4 -houdende meststoffen op percelen met alkalische bodemreactie
- omgaan met 'nieuwe types' organisch materiaal: over een aantal meer recente types van organisch materiaal (digestaten, dunne fractie, boerderijcompost, biochar, reststoffen uit voedingsindustrie/landbouwindustrie, ...) bestaat minder informatie dan omtrent de meer klassieke organische stoffen (dierlijke mest, groenbemesters, ...) Dit maakt het voor de landbouwer lastig om de juiste N-werking in te schatten
- de startdatum en de groeicurve van de teelt: bij teelten die erg vroeg gezaaid worden of die een trage groei kennen in het begin van het seizoen moeten gemakkelijk uitspoelbare meststoffen (nitraten) vermeden worden, zeker op bodems die uitspoelingsgevoelig zijn (zandbodems)

Bij het gebruik van meststoffen is de fundamentele keuze meestal tussen minerale meststoffen en organische meststoffen. In principe zou deze keuze moeten gebaseerd zijn op puur agronomische beschouwingen, maar de realiteit is vaak anders, omwille van de nood aan afzet van dierlijke mest. Idealiter wordt de dierlijke mest ingezet als basisbemesting, en wordt minerale N bemesting gebruikt voor de bijbemesting als finetuning.



4.3.3.1 Vloeibare meststoffen onder droge omstandigheden

Onderzoeksresultaten laten vooralsnog geen duidelijke voordelen zien van gebruik van vloeibare meststoffen in zijn algemeenheid. Voor bijbemesting onder droge omstandigheden waarbij niet kan worden berekend, kunnen vloeibare meststoffen een voordeel bieden ten opzichte van korrelmeststoffen. De efficiëntie van vloeibare meststoffen is bij droogte tijdens en na toediening wat hoger dan van vaste meststoffen. Doordat korrelmeststoffen onder droge omstandigheden slecht oplossen, komen de nutriënten (te) langzaam beschikbaar en kan het gewas die nutriënten mogelijks niet tijdig meer opnemen. Met het oog op klimaatverandering wordt dit wellicht een steeds belangrijker element

4.3.3.2 N meststoffen met gecontroleerde vrijstelling

In het geval van minerale meststoffen verwijst het juiste type van N-meststoffen ook naar het kiezen van plantbeschikbare stikstofvormen die worden vrijgegeven op een manier die het best past bij de vraag van het gewas. Enhanced-Efficiency N Fertilizers (EEF's) (Chien et al., 2009; Snyder, 2017) zijn een voorbeeld van deze aanpak en betreft langzaam en gecontroleerd vrijkomende N-meststoffen, met nitrificatieremmers behandelde N-meststoffen, met ureaseremmers behandelde N-meststoffen of producten met zowel nitrificatie- als ureaseremmers.

Meststoffen met langzame afgifte ("slow release fertilizers" of SRF's) komen langzaam in oplossing door hun lage oplosbaarheid en worden omgezet in voor planten beschikbare N door microbiële afbraak en hydrolyse (Guertal, 2009; Morgan et al., 2009). Voorbeelden van SRF's zijn ureum-formaldehyde (UF) en isobutyleendiureum (IBDU). Het voornaamste mechanisme van het vrijkomen van N in UF is microbiële afbraak van het polymeer, maar omgevingsfactoren zoals bodemtemperatuur, bodemvochtgehalte, pH en zuurstofgehalte werken allemaal in op de microbiële activiteit. Het vrijkomen van N uit IBDU daarentegen is niet afhankelijk van microbiële activiteit, maar de N wordt beschikbaar gemaakt door hydrolyse ook bij lage temperaturen. Gezien dat de N-vrijstelling wordt versneld door hoge bodemtemperaturen (en lage pH) wordt deze meststof bij voorkeur gebruikt in het koele seizoen (Morgan et al., 2009). Meststoffen met gecontroleerde vrijstelling ("controlled release fertilizers" of CRF's) hebben een afgiftemechanisme dat wordt geregeld door een niet in water oplosbare coating (d.w.z. zwavel-, een polymeer-, of zowel zwavel en polymeercoating) die de snelheid van de waterpenetratie en het vrijkomen van N beperkt of regelt, afhankelijk van de bodemtemperatuur en het vochtgehalte die de microporeuze coating beïnvloeden (Simonne en Hutchinson, 2005; Morgan et al., 2009; Van Eerd et al., 2018). Zowel SRF's als CRF's bleken effectief te zijn in het verminderen van N-uitspoeling met name op zandbodems (Simonne en Hutchinson, 2005; Hartz en Smith, 2009). Het gebruik ervan is echter beperkt omdat synchronisatie van de N-afgifte uit de meststof met de variërende N-vraag van het gewas moeilijk is, vooral bij gewassen met een korte groeicyclus en hoge N-behoefte, en omdat ze duurder zijn dan conventionele minerale N-meststoffen per eenheid N (Thompson et al., 2017).

Nitrificatieremmers (NI's) vertragen de omzetting van ammonium in nitraat en verminderen zo het risico van nitraatuitspoeling. De temperatuur is een belangrijke factor die de doeltreffendheid van NI's beïnvloedt. Verschillende publicaties hebben aangetoond dat het gebruik van NI's de efficiëntie van het gebruik van N-meststoffen heeft verbeterd, de nitraatuitspoeling heeft verminderd en de N₂O-emissies heeft teruggedrongen (Ruser en Schulz, 2015). Uit een meta-analyse op basis van 62 peer reviewed publicaties (1984-2013) met 859 datasets over de hele wereld (Qiao et al., 2015) bleek dat het gebruik van NI's de uitloging van opgeloste



anorganisch N met 48 % verminderde (betrouwbaarheidsinterval 56-38%). Bovendien kan door het gebruik van NI's het aantal N-toedieningen worden verminderd (Pasda et al., 2001) alsook de nitraatconcentratie in bladgroenten (Irigoyen et al., 2006). De meest gebruikte chemische nitrificatieremmers zijn 3,4-dimethylpyrazolfosfaat (DMPP) en dicyaandiamide (DCD) (Pasda et al., 2001; Gilsanz et al., 2016). De nitrificatieremmingseffectiviteit van DMPP is meer afhankelijk van het bodemtype dan die van DCD, hoewel de effectiviteit van beide remmers lager was in bodems met hogere pH en een laag BOS gehalte (Guardia et al., 2018). In incubatie-experimenten remde DCD de nitrificatie uit bloemkoolresiduen gedurende 50 dagen en DMPP gedurende ten minste 95 dagen (Chaves et al., 2006), en vandaar dat vooral DMPP mogelijk potentieel vertoont om de nitraatuitspoeling na inwerken van gewasresten te verminderen.

Ureaseremmers (UI's) zijn chemische stoffen die de activiteit van het alomtegenwoordige enzym urease, dat de hydrolyse van ureum in ammonium katalyseert, blokkeren. In bodems met een hoge pH of bodems met zwakke pH buffering, kan de snelle hydrolyse van ureum leiden tot een accumulatie van ammoniak in plaats van ammonium: door te verhinderen dat ureum hydrolyseert, beschermen ureaseremmers tegen de vervluchtiging van ammoniak. Dus ook UI's bleken, samen met NI's, effectief te zijn in het verhogen van opbrengsten en N efficiëntie (zie meta-analyse van Abalos et al., 2014). Doorgaans kunnen UI's een paar weken beschermen tegen ammoniakverlies uit oppervlakkig toegediende bemesting, afhankelijk van de temperatuur en het bodemvochtgehalte. De belangrijkste UI's zijn N-(n-butyl)thiofosfortriamide (NBPT) en N-(n-propyl)thiofosfortriamide (NPPT). Urease- en nitrificatieremmers kunnen ook gecombineerd aanwezig zijn (Snyder, 2017).

Het gebruik van NI's en UI's vertaalt zich mogelijk niet in opbrengst- of milieuvordelen als de weers- en bodemomstandigheden niet bevorderlijk zijn voor N-verlies, of als de N-hoeveelheden te hoog zijn. Gezien de bezorgdheid over gezonde voeding moet er bovendien aandacht worden besteed aan het feit dat er geen of minimale residuen van NI's en hun afbraakproducten in eetbare plantendelen aanwezig zijn (Thompson et al., 2017). Globaal genomen blijken EEF's vooral toegepast te worden in landbouwsystemen waar men de tijd niet wil of kan investeren om de bemesting toe te dienen op het meest gepast tijdstip (één van de andere 4 J's). In de VS bv. worden ureumhoudende meststoffen vaak op het einde van de herfst al toegediend om tijdig te kunnen zaaien in de lente, en kunnen NUs de uitspoeling tijdens de winter sterk verminderen. De toepassing in de intensieve landbouwsystemen in West-Europa blijft beperkt, want het algemene effect van EEF's is daar twijfelachtig. De Ruijter et al. (2010b) onderzochten verschillende soorten EEF's in verschillende groentegewassen. De resultaten voor EEF's waren vergelijkbaar met het gebruik van CAN (Calcium Ammonium Nitraat) wanneer toegepast volgens goede landbouwpraktijken (met gebruik van bv. gefractioneerde bemesting).

Referenties 4.3.3.2

- Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., Vallejo, A., 2014. Meta- analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agr. Ecosyst. Environ.* 189, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>.
- Chaves, B., Opoku, A., De Neve, S., Boeckx, P., Can Cleemput, O., Hofman, G., 2006. Influence of DCD and DMPP on soil N dynamics after incorporation of vegetable crop residues. *Biol. Fertil. Soils* 43, 62–68. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0061-6>.



Snyder, C.S., 2017. Enhanced nitrogen fertilizer technologies support the '4R' concept to optimise crop production and minimise environmental losses. Soil Res. 55, 463–472. <https://doi.org/10.1071/SR16335>.

Thompson, R.B., Tremblay, N., Fink, M., Gallardo, M., Padilla, F.M., 2017. Tools and strategies for sustainable nitrogen fertilisation of vegetable crops. In: Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (Eds.), Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, pp. 11–63. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_2.

Van Eerd, L.L., Turnbull, J.J.D., Bakker, C.J., Vyn, R.J., McKeowan, A.W., Westerveld, S.M., 2018. Comparing soluble to controlled-release nitrogen fertilizers: storage cabbage yield, profit margins, and N use efficiency. Can. J. Plant Sci. 98, 815–829. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9914-x>.

4.3.4 Juiste plaats

4.3.4.1 Juiste plaatsing van N meststoffen

i) Inwerken versus oppervlakkig toedienen

Als meststoffen waarvan de stikstof geheel of merendeels uit ureum- en/of ammonium bestaat, direct in de bodem worden gebracht (geïnjecteed), treedt vrijwel geen stikstofverlies door ammoniakvervluchtiging op. De stikstofwerking blijkt dan vergelijkbaar te zijn met die van KAS. Bij oppervlakkige toediening is de stikstofwerking van deze meststoffen veelal lager dan van KAS, vooral op percelen met een hoge pH. Voor kunstmest en een reststroom als spuiwater geldt weliswaar geen inwerkplicht, maar het verbetert wel de stikstofbenutting, en zou dus voor dit type meststoffen standaard moeten gebeuren. Voor mineralenconcentraten verkregen uit drijfmest geldt, evenals voor dierlijke mest en digestaat, wel een inwerkplicht: het inwerken beperkt de NH_3 verliezen tot een kleine fractie (~5%) van de ingewerkte N.

ii) Geplaatste bemesting

Bij geplaatste bemesting kan het gaan om bandbemesting, rijenbemesting, puntbemesting. We beperken ons hier tot een aantal bedenkingen omtrent rijenbemesting. Rijenbemesting is de geconcentreerde plaatsing van de meststof in of vlak naast de plantenrij. Dit kan plaatsing schuin onder het zaad of plantje zijn of plaatsing schuin onder, schuin boven of naast de poter. Van belang is dat de meststof zodanig wordt geplaatst dat deze enerzijds dichtbij de wortels van de planten komt te liggen en de jonge planten er al snel over kunnen beschikken, maar dat anderzijds geen zoutschade optreedt. Voor een recent overzicht van de stand van zaken van geplaatste bemesting verwijzen we bv. naar Nawara et al. (2021), en naar een infofiche vanuit B3W omtrent rijenbemesting in aardappelen (<https://b3w.vlaanderen.be/system/files/2021-05/infofiche%20rijenbemesting%20aardappelen.pdf?msckid=eeacd26aa53711ecba78db7c1615f4e5>).

➤ Voordelen

Er is veel discussie en onenigheid over de effecten van geplaatste bemesting en opbrengst. Nkebiwe et al. (2016) besloten uit een meta-analyse over de effecten van rijenbemesting op basis van 40 studies (periode 1982-2015) dat rijenbemesting tot een gemiddelde opbrengststijging leidde in vergelijking met een vollegrondse toepassing,

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

waarbij aardappelen één van de meest positieve effecten toonden. Dit internationaal onderzoek wordt echter niet echt bevestigd in Vlaanderen, ook niet bij aardappelen (Nawara et al., 2021). De Blauwer et al. (2014) stelden vast dat bij invulling van het N-advies bij aardappelen de opbrengst nauwelijks verschilde tussen volveld bemesting en rijenbemesting, hetgeen een bevestiging is van wat ook uit Nederlands onderzoek is gebleken (zie hieronder).

➤ Stikstofbesparing

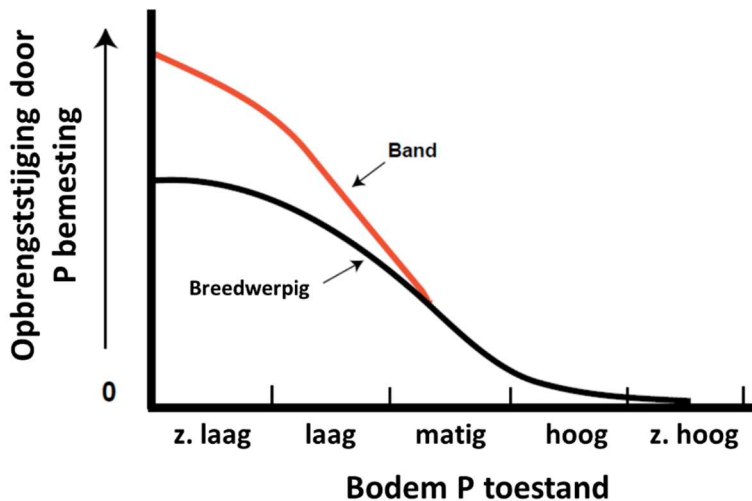
Rijenbemesting met stikstof kan de benutting door het gewas van de toegediende stikstofmeststof verhogen, waardoor de stikstofgift omlaag kan zonder verlies van opbrengst en kwaliteit. Of en hoeveel er kan worden bespaard, hangt af van het gewas, de bodem en de teeltwijze. Stikstofrijenbemesting biedt het meeste voordeel op gronden met een beperkte stikstoflevering, bij zwakwortelende gewassen met een hoge stikstofbehoefte tijdens de begingroei en die worden geteeld op ruime rijenafstand. Ook bij beperkte bewortelingsmogelijkheden door een slechte structuur of aaltjesaantasting, biedt rijenbemesting mogelijk voordeel. Een aantal resultaten van het Nederlandse onderzoek zijn door de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgrontenteelt (CBAV) bevestigd voor praktijktoepassingen, met name:

- Door rijenbemesting bij maïs kan de stikstofgift tenminste 20% worden verlaagd ten opzichte van de adviesgift bij breedwerpige bemesting.
- Bij suikerbieten kan door rijenbemesting die gift gemiddeld 15% worden verlaagd ten opzichte van de adviesgift bij breedwerpige bemesting. Bij vroege zaai (maart) en dito lage temperaturen, op percelen met een hoge stikstofbehoefte, kan de besparing oplopen tot 30%. Ook bij slechte bewortelingsmogelijkheden, door bijvoorbeeld een slechte structuur, een te lage pH en/of aaltjesaantasting, lijkt een besparing van 30% mogelijk.
- Voor aardappel kan op basis van de beschikbare, openbare resultaten van Nederlands onderzoek geen besparing door stikstofrijenbemesting worden aangegeven. Daarvoor waren de in proeven gevonden effecten van stikstofrijenbemesting te wisselvallig. Er werd besloten dat een rijenbemestingsadvies voor aardappel mogelijk gedifferentieerd moet worden naar groeiomstandigheden, wat nog moet worden ontwikkeld op basis van (nog uit te voeren) veldonderzoek. Ook in andere akkerbouwgewassen gaf stikstofrijenbemesting in proeven op Nederlandse bodems geen betere benutting of waren hiervan geen of onvoldoende proefgegevens beschikbaar om een advies op te kunnen stellen.
- In proeven op zavelgrond in Noord-Holland en Flevoland werd gevonden dat bij toediening van de stikstof als rijenbemesting bij broccoli met 40 kg N per ha minder kan worden volstaan dan bij volvelds toediening (Everaerts et al., 1996).



4.3.4.2 Juiste plaatsing van P meststoffen

Plaatsing van meststoffen heeft het grootste effect voor P, omdat P zeer weinig mobiel is in de bodem en dus mogelijks buiten het bereik van planten blijft, zeker in de periode van jeugdgroei en beperkte wortelontwikkeling. Dit effect ziet men echter enkel in bodems die P deficiënt zijn (Figuur 39).



Figuur 39: effect van breedwerpige P bemesting versus bandbemesting met P op de gewasopbrengst van aardappelen in functie van de bodem P toestand (van zeer laag tot zeer hoog)

Gezien de over het algemeen (zeer) hoge P toestand van bodems in Vlaanderen is het potentieel tot hogere P efficiëntie door middel van plaatsing bijna onbestaande. Dit wordt trouwens bevestigd door de resultaten van het A_Propeau project, waar zo goed als geen effecten van P bemesting op gewasopbrengsten werden gevonden. Omtrent de effecten van plaatsing van P bemesting moeten steeds twee belangrijke kanttekeningen geplaatst worden:

- in Vlaanderen is een besparing op P bemesting eerder een theoretische oefening, aangezien minerale P bemesting in nagenoeg alle gevallen zeer laag of nul zal zijn/zou moeten zijn.
- Veel literatuur omtrent effecten van P bemesting en plaatsing ervan is afkomstig uit landen/klimaten/bodems die moeilijk of niet vergelijkbaar zijn met Vlaanderen. Het gaat vooral om bodems waar de P gehalten suboptimaal tot zeer laag zijn.

4.3.5 **Klimaatrobuustheid en bodemkwaliteit**

4.3.5.1 Klimaatrobuustheid

Klimaatrobuustheid van bemestingsadviezen en adviessystemen vertoont zeer veel interacties met alle andere aspecten die behandeld worden in deel 4.4 (de 4 J's en de bodemkwaliteit), zoals ook duidelijk werd uit 2.4.

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

Bovendien werden in "2.4.3. Suggesties om adviessystemen klimaatrobuuster te maken" reeds concrete voorstellen gedaan om adviessystemen effectief klimaatrobuuster te maken. Deze voorstellen liggen uiteraard veelal in lijn met een aantal voorstellen uit de studie van Nawara et al. (2021), waar klimaatrobuustheid het enige onderwerp was. Het gaat hierbij minder om concrete cijfers als wel om principes die zoveel mogelijk moeten gevolgd worden, en dus kwalitatief (als raadgevingen) kunnen meegegeven worden met een advies. We hernemen hieronder nog even de belangrijkste aanbevelingen waartoe we binnen deze studie gekomen zijn:

1. Regelmatig updaten van opbrengstverwachtingen en N opnames
2. Gebruik van een gecentraliseerde aanpak bij het verzamelen van nieuwe parameters en updaten van parameters
3. In rekening brengen van nieuwe gewassen in rotaties en van wijzigingen in rotaties
4. Om 1-3 hierboven effectief te kunnen implementeren, moeten bemestingsadviesystemen vooral zeer flexibel zijn, d.w.z. logisch opgebouwd en doorzichtig, modulair, liefst parameterwaarden betreffend uit centrale databanken
5. Maximaal toepassen van gefractioneerde bemesting
6. Mogelijks gebruik van controlled release fertilizers (CRF), bladbemesting, meer inzetten op fertigatie
7. Maximaal inzetten op verhogen van de bodemkwaliteit om de veerkracht van de bodem en het gewas tegen allerlei stressfactoren te verhogen

4.3.5.2 Bodemkwaliteit

Bodemkwaliteit heeft een (grote) invloed op de beschikbaarheid van nutriënten voor het gewas, en die invloed is wellicht het grootste voor N en voor P. Momenteel wordt bodemkwaliteit in bemestingsadviesystemen meestal slechts zeer beperkt en indirect meegenomen in het formuleren van het advies. Hieronder worden voorbeelden gegeven van hoe bodemkwaliteit momenteel aan bod komt in bemestingsadviezen. We maken hierbij abstractie van hoe dit aan bod komt in de algemene bouwvooranalyses. In die algemene analyses worden ook metingen en interpretaties van BOS en pH gedaan, maar dit gebeurt in het kader van de generische bodemkwaliteitsrichtlijnen van de Europese Commissie, en zijn dus niet direct gerelateerd met bemestingsadviezen:

i) het bodem organische stofgehalte (BOS)

in alle adviessystemen wordt een inschatting gemaakt van de N mineralisatie uit de BOS, als een van de belangrijkste componenten in het opstellen van een N balans. Deze inschatting gebeurt vaak op basis van het percentage BOS (al dan niet in combinatie met andere factoren zoals bodemtextuur, totale N gehalte).



Maar het BOS gehalte van een bodem bepaalt naast de N mineralisatie ook tal van andere bodemprocessen die direct of indirect de gewasopbrengst beïnvloeden. Hogere BOS gehalten resulteren in een hoger waterbergend vermogen van de bodem, wat de bodem een grotere buffer bezorgt in periodes van droogte. Hogere BOS gehalten verbeteren ook de bodemstructuur, met bv. meer drainageporiën (vooral van belang in zwaardere bodems) waardoor wateroverlast, verzadiging en zuurstoftekort wordt vermeden. Een betere waterhuishouding vermindert ook het risico op gasvormige N verliezen door denitrificatie. Anderzijds kan een hoog BOS gehalte aanleiding geven tot een te sterke N mineralisatie (in grote mate ook bepaald door de aard van de BOS en de manier waarop het BOS gehalte in de bodem werd opgebouwd), waarbij de vrijgestelde minerale N mogelijks te weinig kan worden opgenomen tijdens en na het groeiseizoen, met hogere N verliezen door uitspoeling tot gevolg. Een hoger BOS gehalte resulteert ook in een hoger nutriëntenhoudend vermogen via een verhoging van de CEC. Vooral in zeer lichte bodems is dit van groot belang, bv. ook om NH_4^+ uitspoeling te voorkomen. Bij het beoordelen van BOS gehalten moeten dan ook volgende aspecten in rekening worden gebracht:

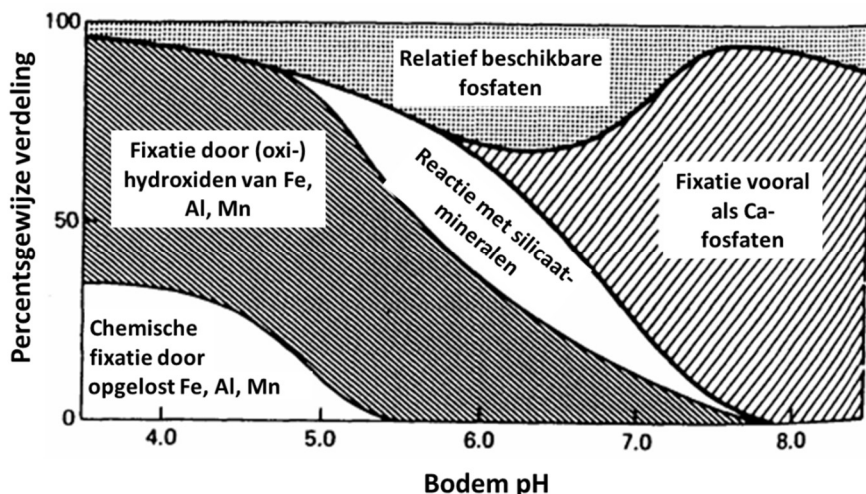
- het BOS gehalte van een bodem wordt in eerste instantie bepaald door de combinatie van bodemtextuur, drainage/klimaat en het landgebruik/de voorgeschiedenis van de bodem (bv. pluggenbodems). Onder invloed van de combinatie van die factoren ontstaat een evenwichts BOS gehalte. Het is bijzonder moeilijk om het BOS gehalte op te drijven boven dit evenwicht, en in een aantal gevallen is dit zelfs niet wenselijk
- het optimale BOS gehalte met betrekking tot de chemische bodemvruchtbaarheid (inclusief de N beschikbaarheid) ligt op een niet te hoog niveau, vooral omwille van de risico's op toenemende nutriëntenverliezen bij hogere BOS gehalten
- het optimale BOS gehalte met betrekking tot de fysische bodemvruchtbaarheid ligt een heel stuk hoger dan voor de chemische bodemvruchtbaarheid, want bv. het effect op aggregaatvorming en -stabiliteit, waterbergend vermogen, ... blijft toenemen tot erg hoge BOS gehalten. Het formuleren van een optimaal BOS gehalte moet dus rekening houden met zowel chemische als fysische bodemparameters
- BOS vervult zijn belangrijkste functies vooral in de bovenste centimeters van de bodem, eerder dan op een diepte van 20-30 cm of nog dieper. Het is dus vooral van belang dat het BOS gehalte van de bovenste bodemlaag (bovenste 5-10 cm) hoog is. Dit geeft mogelijkheden om bij een constante input van organisch materiaal toch hogere BOS gehalten te bereiken op de plaatsen waar het er het meeste toe doet

ii) Bodem pH

De bodem pH bepaalt ook in grote mate de chemische en biologische bodemvruchtbaarheid, en zelfs de fysische bodemkwaliteit (bv. via flocculatie-dispersie van klei). De bodem pH bepaalt in grote mate de P beschikbaarheid (Figuur 40). In zure bodems is de P beschikbaarheid laag omwille van de sterke binding aan en in oxiden/hydroxiden van Fe, Al, Mn, terwijl in alkalische bodems P sterk gebonden worden op CaCO_3 . Bij een pH- H_2O van rond de 6.5 is P het best beschikbaar. De pH bepaalt ook sterk de N beschikbaarheid op verschillende manieren:



- bacteriën zijn meest actief bij een licht alkalische tot neutrale pH. Bij zure pH vermindert de bacteriële activiteit en verminderen dus ook de door bacteriën gestuurde processen, vooral N mineralisatie. Het is wellicht enkel in sterk zure bodems dat dit effect echt groot wordt
- bij alkalische pH verhogen de risico's op N verliezen door NH_3 vervluchtiging, vooral bij toediening van N meststoffen met gereduceerde N (ammoniumhoudend, ureumhoudend, ammoniak)



Figuur 40: Verloop van de P beschikbaarheid (beschikbaarheid van fosfaat) in bodems in functie van de bodemzuurtegraad (pH-H₂O)

De impact van bodem pH op N en P beschikbaarheid wordt niet meegenomen in het berekenen van bemestingsadviezen, met uitzondering mogelijks van één adviessysteem waar de invloed van pH op N mineralisatie in rekening wordt gebracht, maar we beschikken over geen informatie omtrent hoe dit gebeurt. In de uitgebreide studie “Invloed van pH en bekalking op stikstofbemesting, -nitraatresidu en -uitspoeling” van de VLM (APLM/2018/5) werd het pH effect uitgebreid bestudeerd via meta-analyse van verschillende databanken. Deze studie bevat een uitgebreid overzicht van het verband tussen N-uitspoeling en bodem pH, waaruit onder andere bleek dat als alle suboptimale percelen in Vlaanderen een éénmalige herstelbekalking zouden krijgen er weliswaar eenmalig 2,8 tot 3,2% meer nitraatuitspoeling zou plaatsvinden na deze bekalking, maar dat anderzijds in de daaropvolgende jaren de N-uitspoeling met 1,5 tot 15% zou afnemen. Nochtans is het effect van pH op de N dynamiek moeilijk te kwantificeren, en zeer afhankelijk van bodem tot bodem, dus dergelijke veralgemeningen moeten met de grootste omzichtigheid en zeer kritisch worden benaderd.

iii) Bodemstructuur

Bodemstructuur heeft een grote invloed op de nutriëntenbeschikbaarheid op tal van directe en indirecte manieren. Een goede bodemstructuur zorgt voor een vlotte N mineralisatie uit zowel bodem organische stof als uit toegediend organisch materiaal, vermindert de risico's op gasvormige N verliezen door nitrificatie/denitrificatie, laat een goede beworteling toe waardoor het volledig bodemvolume kan geëxploreerd worden, vermindert de uitspoelingsrisico's door een verhoging van het waterbergend vermogen, ... Bodemstructuur wordt op zijn beurt vooral bepaald door de bodemtextuur (uiteraard niet te beïnvloeden





	Bemesting met compost, stalmest, molmmest etc.	Bemesting met <u>organische</u> korrelmest, bijv. NPK 6+7+7, 9+3+3, etc. lage dosis zeer goed verteerde groencompost	Bemesten met kunstmest	Uitvalrisico nieuwe aanplant	maatregelen
veel te lage biologische activiteit	+ + +	+	(+)	(geen)	
gunstig	+ + +	+ +	(+)	(geen)	
beperkt risico	-	+	+ +	!	water zijwaarts
groot risico	- -	0	+ + +	!!!	oorzaak+wachten
zeer groot risico	- - -	-	0	!!!!	oorzaak+wachten

Legenda

- +++ aan te bevelen / beste optie
- ++ goed mogelijk
- + andere optie is beter
- 0 werking meststof wordt beperkt
- werkt negatief

- (geen) geen uitvalrisico door problemen met zuurstofhuishouding
- ! licht uitvalrisico , kans op wat matiger groei
- !!! sterk uitvalrisico
- !!!! meestal problemen met aanleg en groei
- water zijwaarts** zorg dat bij veel neerslag het water makkelijker zijwaarts afstroomt.
- oorzaak+ wachten** profielonderzoek + historie onderzoeken, aanplanten is (nog) risicovol

Figuur 41: Voorstelling van een aantal parameters gerelateerd met de bodemstructuur en zuurstofhuishouding van de bodem zoals gemeten door een van de onderzochte adviesinstanties, met name actuele O₂-beschikbaarheid (of redoxpotentiaal E_h), latente zuurstofstress test (vroeger zuurstofleverend vermogen) en pH.

iv) Bodembiologische parameters

Bij één adviesinstantie komt een "bulk" bodembiologische parameter aan bod, met name de "Biologisch Microbiële activiteit". Deze wordt uitgedrukt in eenheden van mg N kg⁻¹, en wordt beoordeeld op basis van een indeling in klassen, met name: *laag - vrij laag - goed - vrij hoog - hoog*.

Eén specifiek laboratorium onderscheidt zich door de mogelijkheid een zeer ver doorgedreven analyse van het bodemleven uit te laten voeren. Het betreft niet enkel bulk parameters zoals microbiële biomassa koolstof of respiratie, maar vrij gedetailleerde analyses van de samenstelling van de microflora gemeenschap, en een gedetailleerde analyse van de bodemfauna. Deze analyses kunnen in verschillende pakketten worden besteld, en voor meer detail omtrent deze analyses verwijzen we naar bijlagen 2a-d. Van belang is uiteraard hoe deze analyses moeten en kunnen geïnterpreteerd worden en of ze kunnen worden ingezet om de basis voor bemestingsadviezen te verbeteren. Volgens het adviesbureau dat deze analyses aanbiedt kunnen deze analyses voor het volgende gebruikt worden:

Analysepakket van de volledige bodemfauna:

- "Op basis van de bodemleven screening kan een veel nauwkeuriger beeld worden gekregen van de vruchtbaarheid, de "oude kracht" van een perceel grond."



- "Een advies kan alleen worden gegeven indien ook bodemanalyse uitgebreid (...) is uitgevoerd. Indien een bodemleven screening tegelijkertijd wordt aangevraagd met een bodemanalyse uitgebreid, is het advies inbegrepen in hetgeen reeds als aanvullende advieskosten bij een pakket uitgebreid monster zouden worden berekend":

Het interpreteren van absolute waarden van bodembiologische parameters is bijzonder moeilijk, omdat deze parameters zeer sterk afhankelijk zijn van intrinsieke bodemeigenschappen en zeer sterk schommelen in functie van bv. seizoenen, weersomstandigheden, toedienen van organisch materiaal, bodembewerking, enz. Het gebruik van bodembiologische bepalingen is daarom vooral zinvol om evoluties op te volgen op een bepaald perceel als gevolg van bepaalde behandelingen/wijzigingen of varianten in beheer in functie van de tijd, of voor het vergelijken van percelen met zeer gelijkaardige intrinsieke bodemeigenschappen (textuur, mineralogie, drainageklasse) en klimaat. Met de huidige stand van kennis kunnen bodembiologische bepalingen daarom onmogelijk direct gebruikt worden om N en P adviezen te formuleren.

Tenslotte geven we hieronder kort een aantal vragen weer gerelateerd met bodemkwaliteit die zouden kunnen gesteld worden, ofwel binnen een inlichtingenformulier voor het aanvragen van een bemestingsadvies, ofwel bij bedrijfsbegeleiding⁴. Voor detail omtrent hoe dergelijke eigenschappen best kunnen bepaald worden verwijzen we bv. naar bestaande publicaties van visuele beoordeling van de bodemkwaliteit.

- Bodemstructuurtoestand en bodemleven:
 - visuele bodemstructuurtoestand: hoe zien de bodemaggregaten er uit
 - is de beworteling intensief en gelijkmatig, zijn wortels regelmatig gevormd en gaan ze tot diep in de bodem?
 - zijn er storende/gecompacteerde lagen?
 - zijn er plaatsen in het perceel met ernstige waterstagnatie?
 - wordt ingewerkt vers organisch materiaal (oogstresten, vanggewassen, dierlijke mest) vlot afgebroken?

bodemstructuur kan zeer expliciet worden meegenomen voor adviseren van type organische bemesting: stabiele of labiele organische meststoffen toedienen.

- biologische bodemactiviteit: is er zichtbare activiteit macrofauna? eventueel beschikbare analyses bodemvoedselweb

Al deze parameters kunnen enkel kwalitatief gebruikt worden. Bij gunstige waarden of indicaties van bodemstructuur en bodemleven kan de verwachte N mineralisatie en de efficiëntie van toegediende (vooral

⁴ Binnen Focusgroep 1 werd gesteld dat dergelijke informatie opvragen in een inlichtingenformulier wellicht niet realistisch is, en werd voorgesteld om dit te vervangen door het peilen naar het opbrengstpotentieel van percelen (in vergelijking met andere percelen met vergelijkbare intrinsieke bodemeigenschappen), dat deze aspecten wellicht allemaal integreert. Binnen de bedrijfsvoorlichting/begeleiding lijkt dit wel mogelijk.



organische) meststoffen verhoogd worden met een bepaalde hoeveelheid, en het omgekeerde bij ongunstige waarden, al is het bijzonder moeilijk om daar concrete getallen aan te verbinden.

- Bodem pH:
 - zure pH (pH-KCl < 5) kan verwacht worden de mineralisatie significant te reduceren: de N mineralisatie uit BOS en uit toegediende organisch materiaal kan in dat geval naar beneden bijgesteld worden, maar ook hier zijn concrete getallen bijzonder moeilijk te geven.
 - basische pH: waarschuwingen nodig m.b.t. NH₃ vervluchtiging
 - optimale pH-KCl voor P beschikbaarheid ligt rond de 6 of iets daaronder. Bij te zure pH en lage bodem P toestand kan bekalking de P beschikbaarheid verhogen, maar de gewenste pH wordt uiteraard zeer sterk bepaald door het type teelt.
 - pH expliciet bekijken in een bemestingsadvies, en extreme gevallen (vooral extreem zure pH) proberen remediëren of alleszins de landbouwer sensibiliseren. Veel meer kan niet gedaan worden, gezien de sterke verschillen in optimum pH tussen teelten.

4.4 CATEGORISEREN VAN DOOR ADVIESSYSTEEM TE STELLEN VRAGEN (INLICHTINGENFORMULIER)

Tijdens het project is veel aandacht besteed aan de aard van de informatie die aan landbouwers moet opgevraagd worden voor het opstellen van een bemestingsadvies, en de manier waarop. Dit gebeurde vooral ook tijdens de interactiemomenten met de stakeholders (de twee focusgroepen, de stuurgroepvergaderingen, de extra toelichting voor de adviesbureaus). Voor het detail van de gevoerde discussies verwijzen we naar de uitgebreide verslagen van de respectievelijke vergaderingen.

Het was oorspronkelijk de bedoeling om de bestaande adviessystemen te rangschikken op basis van de informatie die opgevraagd wordt in het inlichtingenformulier, en vooral ook of en hoe die gebruikt werd in het adviessysteem. Uiteindelijk is dit onmogelijk gebleken, omdat onvoldoende inzicht werd verworven in de bestaande adviessystemen. Hierdoor was het onmogelijk om te beoordelen of de opgevraagde informatie al dan niet in het advies werd verwerkt, en op welke manier.

4.4.1 Vragen voor N adviezen

De aanpak die daarom gevolgd werd was de volgende. Op basis van de matrix voor N adviessystemen, de informatie uit Focusgroep 1 (Figuur 42), de gevoeligheidsanalyse en de literatuurstudie werd een maximalistische lijst opgesteld van mogelijke door adviessystemen op te vragen gegevens (Bijlage 11). Deze uitgebreide lijst bevat alle mogelijke informatie die volgens het consortium de nauwkeurigheid van de bemestingsadviezen (met grote aandacht voor N mineralisatie) kan ten goede komen, waarbij het consortium zich bewust was van het feit dat het verkrijgen van een deel van die informatie niet evident of op dit moment zelfs bijna onmogelijk is. Uit talrijke reacties (vooral van adviesinstanties) bleek dat het opvragen van gegevens bij de landbouwer tot een minimum moest beperkt worden. Om hieraan tegemoet te komen werden de op te vragen gegevens verder verfijnd. Ten eerste werd een prioritisering doorgevoerd (meest cruciale informatie



moet eerst opgevraagd worden, minder belangrijke vragen kunnen onderaan of minder opvallend op het formulier opgevraagd worden. Ten tweede werd nagegaan of bepaalde gegevens niet op alternatieve manieren konden bekomen worden (dus niet via de landbouwer) ten einde de administratieve last voor de landbouwer zo laag mogelijk te houden.

De prioritisering werd doorgevoerd door elke vraag te beoordelen op 3 criteria:

- Wenselijkheid voor kwaliteit adviezen: op een schaal van 5 tot 1: hoog (5) - laag (1)
- Wetenschappelijke consensus omtrent berekening rol/effect: op een schaal van 3 tot 1: groot (3) - matig (2) - beperkt (1)
- Betrouwbaarheid van grootheden: op een schaal van 3 tot 1: groot (3) - matig (2) - klein (1)

De som van de waarden voor deze drie criteria werd berekend en werd gebruikt als prioritisering van de op te vragen inlichtingen. Andere mogelijke criteria zoals "gemak om er aan te geraken bij de landbouwer" werden niet meegenomen in deze som omdat het consortium dit niet met een redelijke zekerheid kon beoordelen, ook niet na veelvuldige contacten met de stakeholders in het project. In Bijlage 11 worden de vragen weergegeven met een kleurcode, van donkergroen (belangrijkst om op te vragen) over lichtgroen, lichtgeel, geel naar oranje en rood, in afnemende mate van belang. Het consortium is zich uiteraard bewust van de subjectiviteit van deze benadering, maar het vormt wel een goede basis om de inlichtingenformulieren kritisch te herbekijken indien dit finaal gewenst of noodzakelijk zou blijken.

Ook de mogelijkheid om bepaalde informatie op alternatieve manier te bekomen werd nagegaan. In eerste instantie bleek dat dit maar over een heel beperkt deel van de informatie zou gaan (met name basisbodemparemeters en atmosferische depositie, dit laatste kan uiteraard bijna onmogelijk door de landbouwer zelf worden aangeleverd). Anderzijds geeft de landbouwer een grote hoeveelheid informatie reeds in bv. bij het invullen van de verplichte verzamelaanvraag⁵. Indien deze informatie onder bepaalde voorwaarden zou kunnen ontsloten worden voor het opstellen van bemestingsadviezen dan zou een groot deel van de essentiële informatie niet meer bij de landbouwer moeten worden opgevraagd.

De prioritisering in Bijlage 11 is de door het consortium voorgestelde, weliswaar rekening houdend met de initiële rangschikking van bepaalde informatie die tijdens de eerste focusgroep werd bekomen. Tijdens de tweede focusgroep werd deze prioritisering in detail bediscussieerd (zie verslag Focusgroep 2) maar wegens tijdsgebrek was het niet mogelijk om wijzigingen in de volgorde te bevragen. Het globale aanvoelen was wel dat deze volgorde in grote lijnen goed zat.

⁵ <https://lv.vlaanderen.be/nl/bedrijfsvoering/verzamelaaanvraag-randvoorwaarden/verzamelaaanvraag>

Reactie consortium: gemiddeld genomen is de opgevraagde informatie redelijk tot zeer goed onderbouwd, en zal gemiddeld genomen alle bijkomende informatie leiden tot een beter advies, indien tenminste de expertise aanwezig is om de informatie correct in het advies te verwerken

- het meermaals meten van het Nmin profiel geeft veel betrouwbaarder informatie dan het proberen inschatten van de factoren van de N balans op basis van opgevraagde informatie

Reactie consortium: volledig akkoord hiermee, een effectieve meting zal steeds beter zijn dan een ingeschatte N balans. Maar voor een aantal gewassen wordt er sowieso maar één Nmin meting uitgevoerd voor de start van de teelt, en voor dergelijke situaties is het opvragen van die gegevens dus uitermate belangrijk. Ook voor teelten waarin wordt bijbemest blijft het opvragen van voldoende informatie belangrijk om een betrouwbaar bemestingsadvies te kunnen genereren voor de rest van de teeltduur. Hoe meer Nmin metingen gebeuren tijdens het teeltseizoen, hoe nauwkeuriger de bemesting kan gebeuren. Indien toch maar één meting wordt uitgevoerd zal het vaak beter zijn om deze meting uit te voeren voor een bijbemesting eerder dan voor een basisbemesting, althans in zoverre dat de N voorraad op het moment van de basisbemesting grofweg kan ingeschat worden (zodat in de basisbemesting alleen al niet te veel N voor het hele groeiseizoen wordt toegediend). Een Nmin meting bij de bijbemesting zal dan toelaten om een aantal belangrijke processen (zoals N mineralisatie) effectief in de mestgift in te calculeren.

- het bemestingsadvies mag niet te ingewikkeld zijn; veel belangrijker is de toelichting bij het advies en de opvolging ervan door landbouwvoorlichters. Jammer genoeg blijken landbouwers nagenoeg geen verdere toelichting of opvolging van het advies te krijgen, in tegenstelling tot bv. de situatie bij gewasbescherming. Dit is een fundamenteel probleem om te komen tot een beter begrip bij landbouwers en een correctere bemesting.

Reactie consortium: aangezien deze opvolging momenteel weinig of niet gebeurt is een uitgebreid bemestingsadvies nog steeds het beste alternatief, en hiervoor moeten noodzakelijkerwijze voldoende inlichtingen voorhanden zijn.

- idealiter zou er toegang moeten zijn tot door de landbouwer reeds verstrekte gegevens in het kader van allerlei regelgeving (bv. verzamelaanvraag). Een bodempaspoort zou dit nog veel efficiënter maken, maar landbouwers staan hier zeer weigerachtig tegenover omdat in het verleden bleek dat aangeleverde informatie soms werd gebruikt voor doeleinden waarvoor die oorspronkelijk niet bedoeld was.

Reactie consortium: een bodempaspoort zou ideaal zijn, ook voor vele andere toepassingen dan bemestingsadviezen. Er is begrip voor het wantrouwen van de landbouwers gezien ervaringen uit het verleden.



4.4.2 Vragen voor P adviezen

Voor P bemesting is het opvragen van gegevens beperkt tot de fosfaattoestand van de bodem (P-AL) en het te verbouwen gewas. Dit werd dan ook niet verder geanalyseerd tijdens de focusgroepen.

5 FOCUSGROEP 2

Het onderwerp van Focusgroep 2 was vooral de vormgeving van de bemestingsadviezen, de manier waarop inlichtingen voor bemestingsadviezen kunnen worden opgevraagd en de efficiëntie hiervan, en de bespreking van een aantal economische aspecten van bemestingsadviezen en bemesting. Deze elementen komen aan bod in secties 4.4. en 5. van het rapport (die deels bedoeld waren als voorbereiding van de Focusgroep 2, en/of gebaseerd zijn op deze Focusgroep 2, en er dus ook de resultaten van rapporteren). Daarom wordt voor een weergave van de resultaten van de Focusgroep 2 verwezen naar het verslag in bijlage 12 (ook bevattende de Powerpointpresentatie), en de hierboven aangehaalde secties in het verslag.

6 VORMELIJKE ASPECTEN VAN HET BEMESTINGSADVIESRAPPORT

6.1 CONCLUSIES OMTRENT VORMELIJKE ASPECTEN UIT LUIK 1

De vormelijke aspecten van de bestaande bemestingsadviessystemen werden ook uitgebreid geanalyseerd en beoordeeld tijdens Luik 1 van het project, maar om de anonimiteit niet in het gedrang te brengen wordt in overleg met de opdrachtgever deze analyse hier niet uitgebreid weergegeven. De belangrijkste conclusies uit deze vergelijking waren echter de volgende:

- veel informatie die voor de landbouwer weinig of niet van tel is wordt in bemestingsadviezen vaak te prominent naar voren gebracht (bv. accreditaties, analysemethoden, disclaimers). Indien deze informatie omwille van redenen van kwaliteitssystemen of wettelijke bepalingen effectief moeten opgegeven worden, dan kan deze informatie helemaal achteraan het formulier vermeld worden.
- het eigenlijke advies is niet steeds direct (prominent, bv. op de eerste pagina) te vinden
- de manier waarop het advies berekend is wordt meestal niet weergegeven
- alle adviezen zijn geheel of gedeeltelijk gebaseerd op het berekenen van de N balansen. Op één uitzondering na worden de verschillende componenten van de N balans niet opgegeven
- de opbrengst en N opname van het gewas in het bijzonder wordt niet in het advies weergegeven, waardoor de landbouwer niet weet op welke opbrengst het advies is gebaseerd. Deze opmerking is niet

//

voor alle gewassen toepasselijk, omdat soms niet gerekend wordt in termen van totale N opname maar bv. eerder in termen van gewicht per krop, of het halen van een bepaalde kwaliteit.

6.2 VOORSTEL VORMGEVING N BEMESTINGSADVIES

Op basis van deze bedenkingen heeft het consortium een voorstel gedaan hoe een N bemestingsadvies er zou kunnen uitzien om het wervender te maken en het desgevallend ook beter te laten opvolgen door de landbouwers. Het principe achter dit voorstel is dat de meest cruciale informatie eerst moet gegeven worden, dat er voldoende informatie moet gegeven worden over hoe het advies tot stand is gekomen, en dat deze informatie getrapt moet zijn, met op de eerste pagina het advies zelf, en met steeds meer detail naarmate men verder doorheen het advies bladert. Dit voorstel (versie van na Focusgroep 2) wordt hieronder in zijn totaliteit weergegeven.



GEGEVENS TELER
(adres, landbouwnummer, klantnummer)

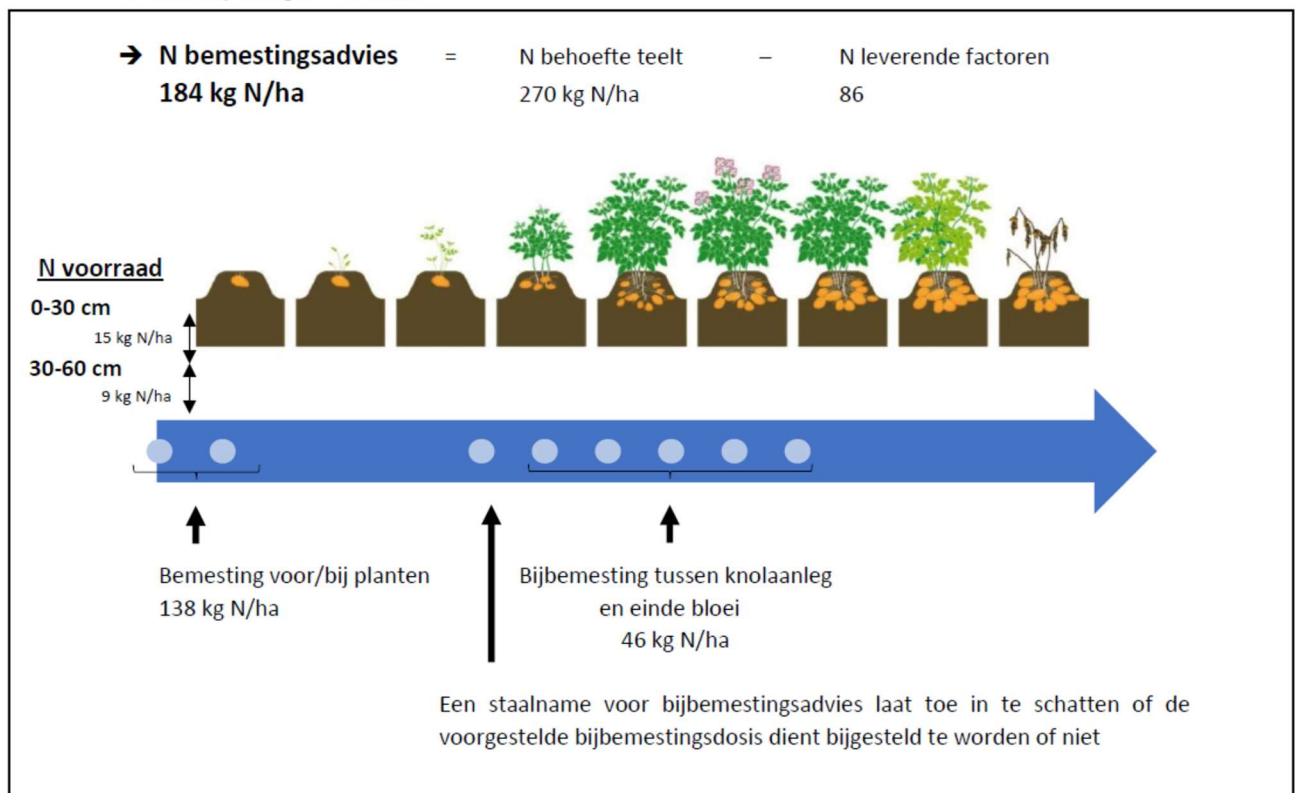
DATUM

N bemestingsadvies

- Perceel: PCA vzw.
- Teelt: Aardappelen
- Ras: Fontane
- Doel: Friet/Industrie
- Geplande oogstdatum: Oktober 2022

- Doel opbrengst = 55 ton/ha

$$\begin{array}{rcl} \rightarrow \text{N bemestingsadvies} & = & \text{N behoefte teelt} - \text{N leverende factoren} \\ \mathbf{184 \text{ kg N/ha}} & & 270 \text{ kg N/ha} - 86 \end{array}$$



→ **Generische info bemesting (bv. type, techniek, ...)**

- bv: dit bemestingsadvies is hoger dan de norm voor aardappelen op niet-zand percelen in gebiedstype 3. Bemestingsnormen gelden evenwel op bedrijfsniveau. Dit wil zeggen dat op perceelsniveau de norm eventueel wel mag overschreden worden
- bv: op alkalische bodems: opgelet met ammoniumhoudende meststoffen ikv. Vervluchtiging

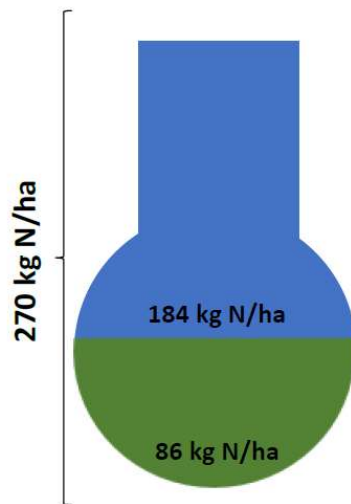
Extra toelichting gewenst:

CONTACTGEGEVENS ADVIESVERLENENDEN INSTANTIE
(adres, telefoonnummer)



Toelichting N bemestingsadvies

Uitgaande van een bewortelingsdiepte van 60 cm



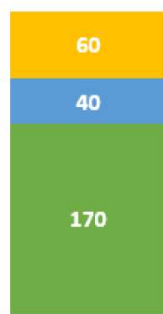
-  N bemestingsadvies
-  N behoefte
 - = N opname gewas
 - + N buffer
-  N leverende factoren
 - = Gemeten minerale N voorraad
 - + N levering oogstresten voorgaande teelt
 - + N levering groenbemester
 - + N levering mineralisatie bodem organische stof
 - + N levering uit reeds uitgevoerde bemesting
 - + N levering uit gescheurd grasland
 - + N levering uit depositie

→ N behoefte = N opname gewas + N buffer in de bodem
270 kg N/ha = 210 kg N/ha + 60

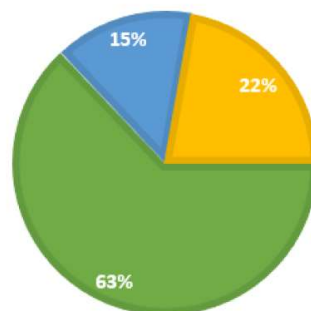
→ N opname teelt = Verwachte opbrengst x N gehalte + N in het loof en de wortels
 210 kg N/ha = 170 kg N/ha + 40 kg N/ha

→ Verwachte opbrengst
 55 ton/ha

■ N afvoer via de knollen
 ■ N in het loof en de wortels
 ■ N buffer in de bodem



kg N/ha

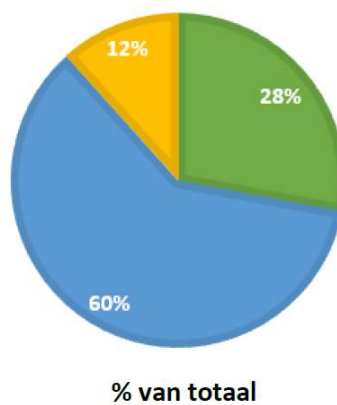
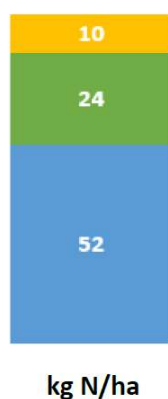


% van totaal



→ N leverende factoren = Gemeten minerale N voorraad in de bodem
86 kg N/ha + N levering oogstresten voorgaande teelt
 + N levering groenbemester
 + N levering mineralisatie bodem organische stof
 + N levering uit reeds uitgevoerde bemesting
 + N levering uit gescheurd grasland
 + N levering uit depositie
 = 24 + 0 + 0 + 52 + 0 + 0 + 10 kg N/ha

■ Minerale N voorraad in de bodem
 ■ N levering mineralisatie bodem organische stof
 ■ N levering via depositie



Toelichting N leverende factoren							
Gemeten minerale N voorraad	N levering uit oogstresten voorgaande teelt	N levering uit de groenbemester	N levering uit mineralisatie van bodem organische stof	N levering uit reeds uitgevoerde bemesting	N levering uit gescheurd grasland	N levering uit atmosferische depositie	
Nmin (0-30 cm) = 15 kg N/ha Nmin (30-60 cm) = 9 kg N/ha 24 kg N/ha	Voorgaande teelt = Korrelmais	Type = Geen Ontwikkelingsgraad = Nvt. Tijdstip inwerken = Nvt.	Bodem organisch koolstof gehalte (%) = 1.15	Organische bemesting Type Dosis Minerale bemesting Type Dosis	Grasland van meer dan 2 jaar in de voorbije 3 jaar? Nee		
	0 kg N/ha	0 kg N/ha	52 kg N/ha	0 kg N/ha	0 kg N/ha	10 kg N/ha	
Totaal verwachte N levering = 86 kg N/ha							

Toelichting perceel, teelt en staal

→ Perceelsinfo

- Perceelsnaam: ...
- Identificatie perceel: ...
- GPS-coördinaten: ...

- Textuur: ...
- Organisch koolstof gehalte: ...
- Gebiedstype: ...

→ Teeltinfo

- Geplande teelt
 - Type: ...
 - Ras: ...
 - Verwachte opbrengst: ...
 - Doel: ...
 - Geplande oogstdatum: ...

- Teelthistoriek
 - Hoofddeelt vorig jaar: ...
 - Nateelt/vangewas vorig jaar:
 - Type: ...
 - Ontwikkelingsgraad: ...
 - Tijdstip inwerken: ...
 - Grasland in de voorbije 3 jaar: ...
 - Leeftijd van het grasland: ...

- Bemesting teelt
 - Uitgevoerde bemesting in het huidige jaar
 - Organische bemesting
 - Type: ...
 - Dosis: ...
 - Samenstelling
 - Forfait
 - Analyse
 - N gehalte
 - P gehalte
 - Minerale bemesting
 - Type: ...
 - Dosis: ...

→ Staalname info

- Staalnemer
 - Naam: ...
 - Contactgegevens: ...
- Datum staalname: ...
- Datum staal ontvangst: ...
- Staalnummer: ...

...

6.3 VOORSTEL VORMGEVING P BEMESTINGSADVIES

Daarnaast werd ook een voorstel gedaan hoe een P bemestingsadvies er zou kunnen uitzien om het wervender te maken en het desgevallend ook beter te laten opvolgen door de landbouwers, zoals hieronder weergegeven. Hier was het vooral de bedoeling om de P toestand van de bodem duidelijk en grafisch tot uiting te laten komen (bv. om de landbouwer te wijzen op het belang van P uitmijning), de P beschikbaarheidsklassen te laten overeenstemmen met deze uit VLM studie "Milieukundig en economisch verantwoord fosforgebruik" (Amery et al. 2019), en het belang van het terugbrengen van de P toestand naar een "voldoende" terug te brengen.

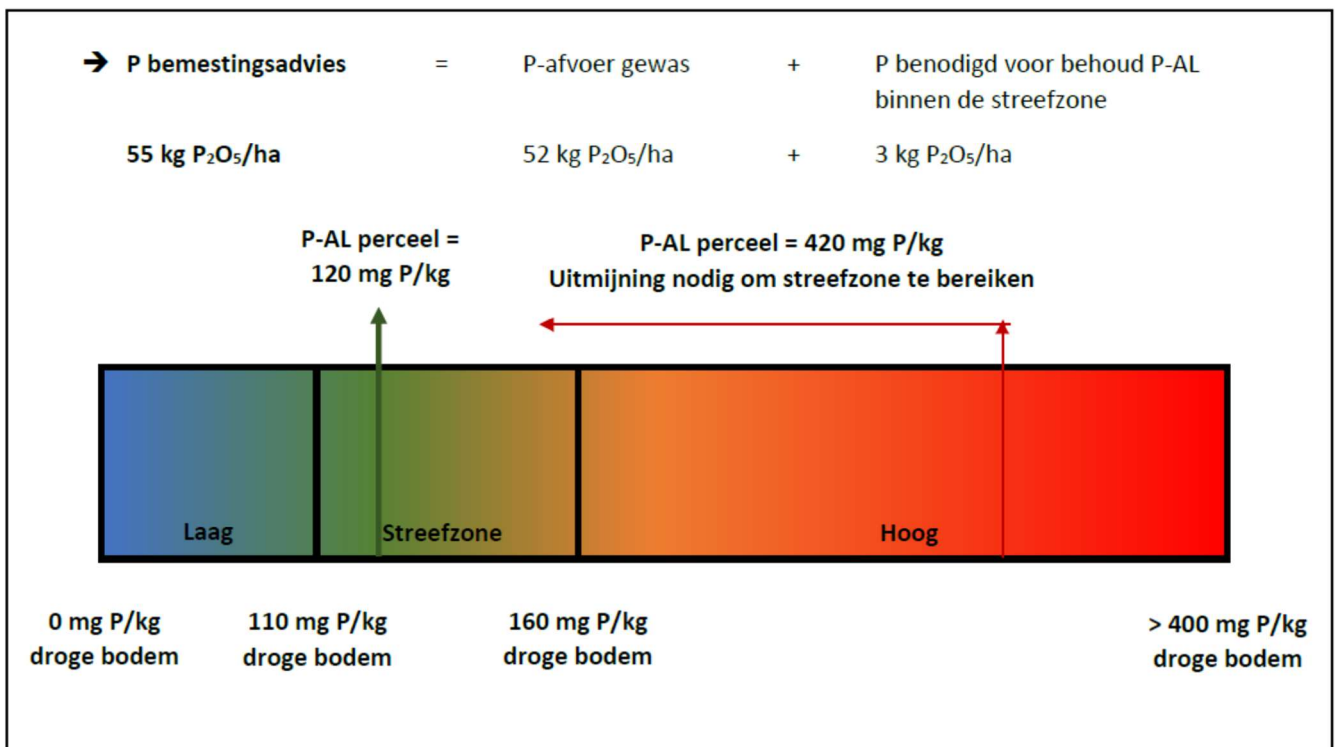
Deze voorstellen werden toegelicht en bediscussieerd op een overleg met de opdrachtgever, een extra stuurgroepvergadering, en op Focusgroep 2. Voor deze discussie verwijzen we naar het verslag van Focusgroep 2.



P bemestingsadvies

- Perceel: PCA vzw.
- Teelt: Aardappelen
- Ras: Fontane
- Doel: Friet/Industrie
- Geplande oogstdatum: Oktober 2022

→ Doel opbrengst = 55 ton/ha



→ Generische info bemesting (bv. type, techniek, ...)

- bv: optimale pH draagt bij aan maximale P beschikbaarheid
- bv: rijenbemesting met P verhoogt de P gebruiksefficiëntie
- bv: te hoge P gehalten in de bodem resulteren in P verliezen naar grond- en oppervlaktewater



opvolgen van het advies. Zo kan direct gepast ingespeeld worden op bepaalde evoluties na ontvangst van het advies. Deze bedrijfsbegeleiding zou ook in de plaats kunnen komen van generische informatie op adviezen. Bij rondvraag bleek echter dat er bijzonder weinig bedrijfsbegeleiding is voor het opvolgen en bijsturen van bemestingsadviezen, dit in tegenstelling tot bedrijfsbegeleiding voor gewasbescherming.

7 CONCLUSIES

7.1 ALGEMENE CONCLUSIES

- Bestaande bemestingsadviesssystemen zijn nagenoeg steeds terug te brengen tot varianten op het opstellen van de bodem N balans. Er is grote terughoudendheid bij adviesinstanties om veel detail te geven over het adviesstelsel dat ze gebruiken. Dit heeft wellicht vooral te maken met het afschermen van een commercieel product, maar een gedetailleerde analyse van de adviesstelsels is om die reden niet mogelijk.
- Er is een onderscheid tussen echte adviesinstanties, die naast het uitvoeren van analyses ook daadwerkelijk adviezen geven en dit op maat proberen doen, en de analyselaboratoria die vooral analyses uitvoeren en waarbij het advies in essentie gewoon de totale N behoefte van het gewas is.
- Er is een mismatch tussen de gegevens die nodig zijn om een kwalitatief advies uit te brengen en de gegevens die aangeleverd worden door de landbouwers. Omwille van het gebrek aan goede gegevens zijn adviezen vaak zeer generiek. Een kwalitatief bemestingsadvies vereist het aanleveren van kwalitatieve data omtrent perceel en teelten. Dit is in eerste instantie de verantwoordelijkheid van de landbouwer, maar kan door tijdsgebrek vaak niet voldoende gebeuren. Seizoenspacht die niet in een goed gepland teeltrotatiesysteem zit, kan nefast zijn voor de bodemkwaliteit, maar er kunnen ook nefaste gevolgen zijn voor bemestingsadviezen, namelijk indien landbouwers niets of te weinig weten over de voorgeschiedenis van het perceel en de teelten. Een mogelijke oplossing voor deze problemen zou zijn het gebruik van een gedetailleerd bodem- (of eerder percelen)paspoort, waar alle informatie samengebracht wordt. Informatie daarin mag niet puur administratief zijn, maar moet ook de perceelsgeschiedenis bijhouden (teelten, historische analyseresultaten, ...)
- Als alternatief voor gedetailleerde bemestingsadviezen schuiven sommige adviesinstanties een betere begeleiding van landbouwers naar voren. Via betere begeleiding kunnen adviezen nog bijgestuurd worden op maat van de specifieke omstandigheden.
- Er worden momenteel zeer veel bodemanalyses en bemestingsadviezen aangevraagd, en dit aantal lijkt in de toekomst enkel maar te zullen stijgen, met mogelijks een aantal ongewenste neveneffecten. Ten eerste dreigt de capaciteit van labo's te worden overschreden, met mogelijks langere wachttijden tot gevolg, wat het advies irrelevant kan maken. Ten tweede voelen landbouwers veel van die verplichte adviezen (bv. op percelen die zeer gelijkaardig zijn qua bodem en teelt) als zinloos aan en verdwijnt de motivatie om die



adviezen op te volgen. Investerings in meer begeleiding ten koste van minder verplichte adviezen/analyses zou een uitweg kunnen bieden. De tijd tussen aanvraag monstername en uitbrengen bodemanalyse/bemestingsadvies moet (veel) kleiner worden gemaakt, bv. in het Handboek Bodem en bemesting in Nederland wordt gesteld dat de landbouwer moet rekenen op een vertraging van 2-3 dagen tussen aanvraag bemonstering en het verkrijgen van het resultaat! Gegeven het toenemende aantal aanvragen voor bodemanalyses en bemestingsadviezen (o.a. verplichte aanvragen in het kader van regelgevingen) zal deze uitdaging in de toekomst wellicht nog groter worden. Een belangrijk element om dit op te lossen is betere planning bij de landbouwer. Zodra een bouwplan vastligt voor een bepaald perceel zou dit al kunnen aangemeld worden bij de adviesinstanties/labo's, zodat zij een vlotte planning kunnen opstellen en behandelingstijd in drukke periodes kunnen minimaliseren.

- Er zijn soms grote verschillen in adviezen tussen verschillende adviesinstanties, die niet altijd objectief kunnen verklaard worden, maar die wellicht vooral verband houden met verschillende parameterwaarden die door verschillende instanties worden gebruikt voor één en dezelfde situatie. Dit kan leiden tot verwarring en zelfs wantrouwen bij de landbouwers. Er kan gepleit worden voor een systeem zoals in Nederland waar een commissie de basisprincipes en basisparameters voor een advies bepaalt, die dan door de adviesinstanties gebruikt worden. Dit zal leiden tot minder verschillen in adviezen en wellicht een groter vertrouwen bij de landbouwers.
- Adviezen moeten veel explicieter de achtergrond en de verschillende componenten van de N balans weergeven, zodat de landbouwer inzicht krijgt in hoe het tot stand komt. Dit zal het vertrouwen in de adviezen verhogen.
- De huidige bemestingsnormen (afhankelijk van gebiedstype) worden door landbouwers regelmatig als veel te beperkend gezien en zouden impact hebben op te halen opbrengsten. Bemestingsadviezen zijn in een aantal gevallen hoger dan de norm (opnieuw afhankelijk van gebiedstype). Hoewel dit in principe geen probleem hoeft te zijn (aangezien de norm op bedrijfsniveau is) kan bij frequente adviezen boven de norm de geloofwaardigheid in het gedrang komen. Anderzijds kan er bij aangescherpte normen mogelijk geen overschot zijn op bedrijfsniveau
- Een groot knelpunt zit bij landbouwers die zeggen correct te bemesten maar toch met het nitraatresidu in de problemen komen, volgens hen vooral door weersomstandigheden. Moeten NO_3^- residumetingen niet aangevuld worden met balansberekeningen op perceelsniveau? Kunnen referentiepercelen in proefcentra gebruikt worden om te corrigeren voor niet te beheersen factoren?
- Er worden grenzen gehanteerd voor P beschikbaarheidsklassen die niet in overeenstemming zijn met de resultaten van recent door de VLM gefinancierd onderzoek. Deze in de VLM studie voorgestelde grenzen zijn bovendien erg hoog in vergelijking met het buitenland (voor zelfde P test). En vooral, er wordt nog steeds veel te veel P bemesting geadviseerd. Adviesinstanties zijn bereid om dit probleem aan te pakken.

//

7.2 BELEIDSSUGGESTIES

Op basis van deze conclusies worden volgende beleidssuggesties gemaakt:

- het meten van het nitraatresidu als enige maat voor de milieuperformantie van de landbouwer moet misschien herbekeken worden, of aangevuld worden met andere instrumenten die een betere objectivering toelaten. Het consortium ziet hiervoor twee mogelijkheden:
 - zoals hierboven al gesuggereerd, het instellen van referentiepercelen op percelen onder semi-gecontroleerde omstandigheden, bv. op proefcentra. Op deze referentiepercelen zou in voldoende teeltgebieden voor representatieve combinaties van bodems en gewassen een gedetailleerd bemestingsadvies moeten worden opgesteld en opgevolgd. Bij het einde van de teelt/in de periode 1/10-15/11 zullen de nitraatstikstofresiduen aangeven in hoeverre het behalen van de norm realistisch is, en indien niet, welke (interne of externe) omstandigheden aan de basis liggen van het niet halen van de norm (bv. ziekte- of plaagdruk, bodemkwaliteitsproblemen, weersomstandigheden, ...)
 - het instrument van het nitraatresidu kan aangevuld (of in een aantal gevallen misschien zelfs vervangen) worden door het aantoonbaar gebruik van een N balans door de landbouwer, dat moet toelaten om goede landbouwpraktijken te evalueren. Dit zou bv. kunnen gebaseerd zijn op een expliciete en gedetailleerde N balans uit een bemestingsadvies (vandaar het belang van het effectief rapporteren van de N balans in de adviezen). Dit zou landbouwers ook aansporen om beter na te denken omtrent bemesting, en kan hen motiveren om specifieke maatregelen te nemen. Dit zou uiteraard een grotere vorm van vertrouwen veronderstellen in gegevens die door de landbouwer worden doorgespeeld, gezien een N balans in essentie een berekening en geen meting is (maar wel ondersteund wordt door metingen), terwijl het nitraatstikstofresidu weldegelijk een meting is (met weliswaar vrij grote onzekerheden).
- Er moet bekeken worden of het nuttig is om een soort centrale commissie op te richten die de belangrijkste principes van bemesting en advisering, en cruciale parameterwaarden vastlegt, naar Nederlands voorbeeld. De adviezen van deze commissie zouden daarom niet bindend moeten zijn, maar zouden wel een duidelijke referentie vormen, en ook toelaten om parameterwaarden regelmatig te actualiseren en te evalueren. Uiteraard zou het oprichten van dergelijke commissie een erg grote inspanning betekenen.
- De efficiëntie en de milieuwinst van de verplichting tot het aanvragen van vele bemestingsadviezen moet opnieuw geëvalueerd worden. Er zijn wellicht mogelijkheden om dit te rationaliseren en doelgerichter te maken, bv. door het groeperen van percelen met gelijkaardige voorgeschiedenis en teelten. Dit zal de motivatie van landbouwers om adviezen aan te vragen verhogen, en hen mogelijk meer motiveren om de adviezen effectief op te volgen.
- Er moet veel meer ingezet worden op begeleiding van landbouwers bij het interpreteren, uitvoeren en opvolgen van adviezen. Het is wellicht veel efficiënter om een eenvoudig advies te koppelen aan



begeleiding, dan om een zeer gedetailleerd advies af te leveren waar geen begeleiding bij voorzien is. De landbouwsector benadrukt wel dat dit een vrijwillige begeleiding zou moeten zijn.

- Het aanleveren van voldoende en correcte, nauwkeurige gegevens voor het genereren van een kwaliteitsvol bemestingsadvies is een echt pijnpunt. Landbouwers blijken maar moeilijk bereid om voldoende gegevens aan te leveren, vooral omwille van de tijdsdruk. Hieraan zou kunnen verholpen worden door consequent gebruik van het principe van eenmalig doorsturen van gegevens door landbouwers, ook te gebruiken voor bemestingsadviezen. Hiervoor zou wel een oplossing moeten gevonden worden voor privacy issues, en voor het wantrouwen bij landbouwers om veel gegevens door te geven (angst dat deze later voor andere doelstellingen zullen gebruikt worden).
- Als zeer generische aanbeveling voor het beleid (maar uiteraard overstijgt dit het beleidsdomein van deze opdracht) moeten de marktmechanismen grondig hervormd worden zodat landbouwers een marge overhouden dit hen toelaat meer te investeren in het aanvragen en opvolgen van bemestingsadviezen.

7.3 VERDER ONDERZOEK

De grote principes van bemestingsadviezen zijn decennia geleden geformuleerd op basis van toenmalig wetenschappelijk onderzoek, maar blijven nog steeds relevant en actueel. Wetenschappelijk onderzoek ter verbetering van bemestingsadviezen gebeurt momenteel vooral naar specifieke componenten van de N balans, en vooral dan het verbeteren van de voorspelling van de N mineralisatie als meest cruciale factor in N bemesting. Dit onderzoek heeft ook tot doel om computersimulatiemodellen, die meer en meer ingang vinden bij het formuleren van N bemesting, verder te verfijnen.

- Uit de vergelijking met de ons omringende (en nog heel wat andere) regio's blijkt dat Vlaanderen potentieel één van de beste systemen heeft voor het formuleren van bemestingsadviezen, met name sterk gebaseerd op ofwel KNS ofwel een gedetailleerde N balans. Deze systemen gebruikt in Vlaanderen laten een zeer gedetailleerd advies toe, dat volledig op maat kan gemaakt worden van een specifieke bodem, teelt, situatie. Het zwakke punt in de systemen in Vlaanderen (en in veel andere regio's) is het feit dat de parameters die in de gedetailleerde systemen gebruikt worden niet gestandaardiseerd zijn, of anders geformuleerd dat het niet gaat om "consensus" parameters. De belangrijkste taak van het toegepaste onderzoek is dan ook het verder verfijnen van deze parameters.
- Onderzoek zou moeten gevoerd worden naar implementatie van eenvoudige tools die landbouwers toelaten om zelf beter het effect van bemesting te evalueren. Een voorbeeld hiervan zijn de zogenaamde "bemestingsvensters" die landbouwers kunnen aanleggen in hun percelen in het geval van een bemesting gespreid over meerdere giften. Dergelijk systeem wordt soms aangeraden in situaties waar bodemanalyses niet mogelijk zijn, of waar er financiële of praktische hinderpalen zijn (bv. in ontwikkelingslanden).
- Zelfs indien landbouwers een bemestingsadvies aangevraagd en gekregen hebben zouden ze in principe nog steeds voordeel kunnen halen uit het aanleggen van dergelijke bemestingsvensters. Dit kan uiteraard enkel gebeuren op voorwaarde dat deze vensters worden aangelegd op representatieve

//

plaatsen in het perceel, en liefst ook nog in een paar herhalingen. Dit zou idealiter uitgevoerd moeten worden onder supervisie van adviesverleners/medewerkers van praktijkcentra, Interpretatie van de verschillen in gewasstand, kleur, biomassa, ... is immers niet zo eenvoudig en moet zo objectief mogelijk gebeuren.

- Dergelijke bemestingsvensters ook aangelegd worden bij gewassen met maar één enkele gift, maar dan enkel ter controle van de efficiëntie van het bemestingsadvies in deze specifieke situatie, en om er uit te leren mbt. het perceel en voor volgende bemestingen. Op basis van deze resultaten zouden landbouwers bv. het mineralisatiepotentieel van hun percelen beter kunnen inschatten, of zouden ze feedback kunnen verlenen naar adviesverlenende instanties, waardoor ahw zelflerende systemen kunnen worden gemaakt.
- In dit project werd enkel de N en P bemesting bekeken. Het is echter duidelijk dat de efficiëntie van N en P bemesting, en de beschikbaarheid van deze nutriënten in de bodem tout court, heel sterk bepaald worden door de globale bodemkwaliteit. Ondanks dat dit algemeen aanvaard wordt is er nog veel te weinig kwantitatieve informatie voorhanden om de effecten van bodemkwaliteit op de N en P beschikbaarheid en efficiëntie te kunnen berekenen, en er is dan ook nog veel onderzoek nodig in dit domein (invloed van bodemstructuur, invloed van bodemorganismen, interactie met de chemische bodemtoestand, ...)

7.4 WELKE SUGGESTIES/MAATREGELLEN MET VOORRANG TE IMPLEMENTEREN?

Op vraag van de opdrachtgever heeft het consortium nog alle suggesties voor het verbeteren van het formuleren en opvolgen van bemestingsadviezen systematisch geanalyseerd, en heeft een voorstel geformuleerd van welke maatregelen het snelst en of met de minste inspanningen zouden kunnen worden geïmplementeerd, in afwachting van de mogelijke implementatie van maatregelen die enkel op lange termijn realiseerbaar zijn. Dit voorstel wordt hieronder in tabelvorm weergegeven, en volgende aspecten werden hierbij in rekening gebracht:

- wat is de termijn waarop de voorgestelde maatregel zou kunnen geïmplementeerd worden (maanden/jaren)
- de complexiteit van de mogelijke implementatie opgedeeld in lage, matige en hoge complexiteit
- de verwachte impact (hoog, matig, laag) van de implementatie van de specifieke maatregel op de mate waarin landbouwers meer of gericht advies zouden aanvragen en/of die beter zouden opvolgen; dit slaat dus op het effect op motivatie van landbouwers
- andere: mogelijke objecties tegen maatregel vanuit de landbouwsector

Enkel die maatregelen die binnen een termijn van ≤ 1 jaar kunnen geïmplementeerd worden werden weerhouden.



Maatregel	Termijn waarop implementatie realistisch mogelijk wordt geacht	Complexiteit (laag - matig - hoog)	Verwachte impact op de mate waarin landbouwers adviezen aanvragen/op het beter opvolgen van bemestingsadviezen
Aanpassen P beschikbaarheidsklassen	maanden	laag (kennis is er reeds)	hoog
Aanpassen P adviezen bij hoge P beschikbaarheid	maanden	laag (kennis is er reeds)	hoog
Aanvullen van nitraatresidumetingen met referentiepercelen	6 maanden - 1 jaar	matig (goede voorbereiding en afstemming is nodig)	hoog indien georganiseerd en goed gecommuniceerd
Afwegen van bijkomende verplichtingen tot bemestingsadviezen tegenover bijkomende begeleiding, en mogelijke verschuivingen hierin	1 jaar	laag tot matig (mogelijks nood aan bijkomende financiële middelen - voorlichters)	op basis van enquête: hoog

Het dient benadrukt te worden dat deze analyse door het consortium is gebeurd, en niet werd afgetoetst met andere stakeholders binnen het project, die mogelijks een beter zicht hebben op bepaalde aspecten en op bepaalde belemmeringen waar het consortium zich zelf niet direct bewust van is. Deze analyse dient dan ook gezien te worden als een vertrekpunt voor vervolgotrajecten op dit project, waarin voorstellen effectief op de beleidsagenda worden geplaatst en verder worden geconcretiseerd.



8 REFERENTIES

- Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., Willekens, K., & De Neve, S. (2014). Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vnaagewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP 4): Hoofdrapport, studie uitgevoerd in opdracht van VLM. 2014.
- Amery, F., Vandecasteele, B., Odeurs, W., Elsen, A., Vandendriessche, H., Nawara, S., & Smolders, E. (2019). "Milieukundig en economisch verantwoord fosforgebruik". Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van VLM.
- Commissie Deskundigen Meststoffenwet. 2020. Advies 'Structureel omgaan met droogte in het mestbeleid'
- Coopman, F., Van Nevel, B., Van de Sande, T., Verhaeghe, M., De Reycke, L., Crappé, S., De Nies, J., Goovaerts, E., Elsen, A., Bries, J., Vandendriessche, H., Ameloot, N., De Neve, S., Willekens, K., Van Haecke, D., Boonen, M., Druyts, N., & Van Mechelen, M. (2014). Het documenteren en milieukundig bijstellen van het KNS en andere bemestingsadviesystemen in de tuinbouw met het oog op een ruimere toepassing in de tuinbouw zoals voorzien in het Actieprogramma 2011-2014. 233.
- De Neve, S., 2017. Organic matter mineralization as a source of nitrogen. In: Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (Eds.), *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops*. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, pp. 65–83. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_3.
- De Blauwer V, Odeurs W & Goeminne M. 2013a. Fractioneren van de stikstofbemesting in aardappelen – 6 jaar proeven. Landbouwcentrum Aardappelen - Resultaten 2013.
- De Waele J, De Vliegheer A, Vandecasteele B, Odeurs W, Elsen A, Haesaert G, Derycke V, Verlinden G, Bries J, Wittouck D, De Neve S (2014). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/vanggewassen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 164 p.
- Everaarts, A.P., C.P. de Moel & P. de Willigen (1996). Stikstofbemesting en nutriëntenopname van broccoli. PAGV verslag nr. 216.
- Gobin A., Verlinden G., Notebaert B. & Govers G. 2005. Eindrapport: verbetering kwantificering van diffuse verontreiniging van oppervlaktewater met metalen uit erosie. Bodemkundige Dienst van België samen met de Katholieke Universiteit Leuven, projectnr. P/OO/026, 21 september 2005.
- Hofman S, Van den Broeck H. 2013. Statistische evaluatie van de audit analyses uitgevoerd tijdens de nitraatresiducampagne 2011. Studie uitgevoerd in opdracht van: VLM. 2012/REE/R/5

