

# Duurzame praktijken voor het terugverdienen van de bemestingsreductie

## 1 INLEIDING

In het akkoord tussen de landbouw-, milieu- en natuurorganisaties betreffende de uitgangsprincipes van MAP7 werden de extra maatregelen voor gebiedstype (GT) 2 en 3 uit MAP6, met name de vanggewasregeling en de korting op de bemestingsnormen, geschrapt. De hiervoor vermelde maatregelen worden vervangen door een nieuwe maatregel, met name “Beperking op de bemestingsruimte voor werkzame stikstof op perceelsniveau”. In GT1, GT2 en GT3 met respectievelijk een beperkte, middelgrote tot grote afstand tot het waterkwaliteitsdoel, wordt in functie van de afstand tot het waterkwaliteitsdoel een bemestingsreductie voor de werkzame stikstof (N) als generieke maatregel opgelegd (Tabel 1). Nitraatgevoelige teelten krijgen grotere N-bemestingsreducties dan niet-nitraatgevoelige teelten. De reducties variëren van 0 tot 30% (t.o.v. de N-bemestingsnormen uit MAP6 in gebiedstype 0) naargelang het teeltype en het gebiedstype (Anonymus, 2023c).

Tabel 1: Voorgestelde beperking op de huidige geldende stikstofbemestingsnormen (gebiedstype 0 in MAP6) uit de uitgangsprincipes voor MAP7 (Bron: Anonymus, 2023c)

Gebiedstype	Niet-nitraatgevoelige teelt <sup>1</sup>	Nitraatgevoelige teelt
Gebiedstype 1	-0%	-5% (kan volledig wegvallen bij goede landbouwpraktijken)
Gebiedstype 2	-10% (kan volledig wegvallen bij goede landbouwpraktijken)	-20% (kan gedeeltelijk wegvallen bij goede landbouwpraktijken, tot -5%)
Gebiedstype 3	-20% (kan volledig wegvallen bij goede landbouwpraktijken)	-30% (kan gedeeltelijk wegvallen bij goede landbouwpraktijken, tot -10%)

In het MAP7 voorstel wordt gesteld dat de hierboven aangegeven bemestingsreducties (Tabel 1) geheel of gedeeltelijk terugverdiend kunnen worden door het toepassen van duurzame praktijken die de nitraatstikstof ( $\text{NO}_3^-$ -N) -residu's in het najaar beperken en dus aanleiding geven tot minder  $\text{NO}_3^-$ -uitloging naar grond- en oppervlaktewater (Anonymus, 2023c).

De vragen vanuit de landbouw-, milieu- en natuurorganisaties naar het Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting zijn:

1. Welke duurzame praktijken kunnen bijdragen tot de hiervoor vermelde doelstelling;
2. Wat is de effectiviteit, uitgedrukt in terugverdienpercentage van de bemestingsreductie, van deze duurzame praktijken in het reduceren van de milieubelasting van grond- en oppervlaktewater met minerale N?

<sup>1</sup> niet-nitraatgevoelige teelten zijn granen, grasland, bieten, spruitkool, sommige teelten met lage N-behoefte (o.a. vlas, witloof en chicorei), sommige leguminosen (o.a. erwten, bonen, klaver en lupine) en sommige overige teelten (o.a. koolzaad)

## 2 MATERIAAL EN METHODEN

Door de landbouw-, milieu- en natuurorganisaties werden een aantal duurzame landbouwpraktijken naar voor geschoven om hun effecten op de reductie van de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in het najaar te begroten. Door het Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame Bemesting werden hier nog een paar mogelijke praktijken aan toegevoegd.

Aan de hand van literatuurgegevens, eventueel aangevuld met expertkennis, werd door de coördinatie nagegaan in hoeverre bepaalde praktijken leiden tot supplementaire N-opnames door een gewas in het najaar (bv. inzaaien van vanggewassen), minder N in het najaar wordt vrijgesteld (bv. afvoer van oogstresten), etc. met als uiteindelijke resultaat lagere  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in het najaar. De ingeschatte winst in lagere  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's werd dan pragmatisch vertaald naar een aanpassing van de generieke beperkingen van de N-bemestingsnormen met als doelstelling de toepassing van de goede landbouwpraktijken te stimuleren. Het was niet mogelijk om het effect van de N-bemestingsreducties op de waterkwaliteit te berekenen omdat er niet voor alle teelten curves met de relatie tussen de N-bemestingshoeveelheid en het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu beschikbaar zijn en er aannames zouden moeten gebeuren om de N-vrijstelling via mineralisatie in te schatten. De berekeningen zouden in een grote variatie in winsten of terugverdieneffecten resulteren afhankelijk van de teelt en de generieke reductie. Het effect van 5% reductie is immers groter bij het reduceren van de N-bemestingshoeveelheid van 0 naar -5% dan van -25 naar -30%. Bij een N-bemestingsreductie van 25 tot 30% is de kans reëel dat men beneden het knikpunt van de relatie tussen de N-bemesting of -beschikbaarheid en de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's terechtkomt (D'Haene *et al.*, 2014 & 2018b) en er dus geen verdere winst in het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu gerealiseerd wordt. Ook voor gewassen met een exponentiële daling tussen de N-bemesting of -beschikbaarheid en het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu wordt de winst kleiner.

Er werd een onderscheid gemaakt tussen goede landbouwpraktijken bij of na niet-nitraatgevoelige teelten (met meestal gemeten  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's lager dan  $50 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ ) en nitraatgevoelige teelten (met gemeten  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's boven de  $50 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  en zelfs residu's boven  $100 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ ). Goede landbouwpraktijken zullen vlugger leiden tot minder overschrijdingen van de  $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$  in grond- en oppervlaktewater na niet-nitraatgevoelige teelten dan na nitraatgevoelige teelten. De verlaagde reducties van de N-bemestingsnormen na niet-nitraatgevoelige teelten zullen dan ook iets minder streng zijn hetgeen ook een stimulans kan zijn om meer niet-nitraatgevoelige teelten in te zaaien.

Conform het feit dat de milieukundige  $\text{NO}_3^-$ -N-drempelwaarden het laagst moeten zijn in GT3 met lage attenuatiefactoren (D'Haene & Hofman, 2022) en de reductie van de N-bemestingsnorm het hoogst is in GT3 (Tabel 1), blijft de reductie van de N-bemestingsnormen bij het toepassen van goede landbouwpraktijken het hoogst in GT3. In een afstroomzone met een lage attenuatiefactor resulteert eenzelfde  $\text{NO}_3^-$ -N-residu immers in een hogere  $\text{NO}_3^-$ -concentratie in het oppervlaktewater dan in een afstroomzone met een hoge attenuatiefactor waar een groter percentage van het uitgeloopte  $\text{NO}_3^-$  door attenuatieprocessen verwijderd wordt.

Analoog met de generieke reducties worden de aangepaste reducties voor de goede landbouwpraktijken per 5% ingedeeld. De berekeningen gebeurden voor normale weersomstandigheden.

Op de platformvergadering van 27 juni 2023 werden de onderzoeksvragen toegelicht en werd aan de leden gevraagd om relevante publicaties aan te leveren. Op 11 september 2023 werden de terugverdieneffecten en de goede landbouwpraktijken bediscussieerd. Op basis van de discussie werd de draftekst aangepast.

## 3 ALGEMEEN GOEDE LANDBOUWPRAKTIJKEN

### 3.1 VANG- EN VOLGGEWASSEN

#### Vanggewassen

De inzaai van vanggewassen in de teeltrotatie beperkt de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging tijdens de winter, maar de efficiëntie van vanggewassen om N vast te leggen hangt af van verschillende factoren zoals de N-beschikbaarheid, het vanggewastype, het zaaitijdstip, de weersomstandigheden, etc. (Agneessens *et al.*, 2014a; Cougnon *et al.*, 2015; De Waele *et al.*, 2014a & b).

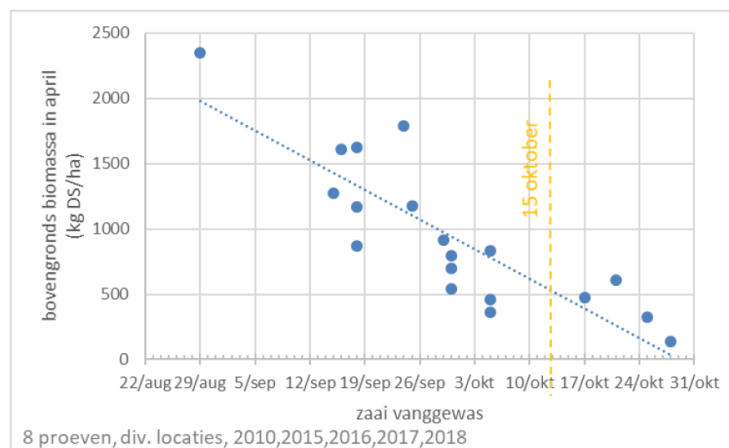
Een literatuurstudie van Thorup-Kristensen *et al.* (2003) toonde aan dat in regio's met een gematigd klimaat de totale N-opname door vanggewassen meestal varieert tussen 20 en net meer dan 100 kg N ha<sup>-1</sup>, maar in zeldzame gevallen tot 300 kg N ha<sup>-1</sup> kan oplopen (gemeten na gescheurd grasland in Nieuw-Zeeland). Ze schreven de variatie hoofdzakelijk toe aan de weersomstandigheden en de N-beschikbaarheid (Thorup-Kristensen *et al.*, 2003). Ook door Ninane *et al.* (1995) en Vos & van der Putten (1997) werd er een link tussen de N-beschikbaarheid en N-opname van vanggewassen vastgesteld (Tabel 2 en Bijlage 1 - Tabel 21). Een extra N-bemesting had een positief effect op zowel de drogestof- (DS) opbrengst als de N-opname (Ninane *et al.*, 1995; Vos & van der Putten, 1997; De Waele *et al.*, 2014b).

Tabel 2: Drogestofopbrengst (ton DS ha<sup>-1</sup>) en stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) voor verschillende vanggewassen bij verschillende N-bemestingsdosissen (kg N ha<sup>-1</sup>) (Bron: Ninane *et al.*, 1995)

Vanggewas	Zaaidatum	N-bemestingsdosis (kg N ha <sup>-1</sup> )	Drogestofopbrengst (ton DS ha <sup>-1</sup> )	N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> )
Mosterd	13/08/1990	60	5.8	100
		120	6.6	127
Raaigras	27/07/1990	60	6.4	143
		120	6.2	164
Mosterd	29/08/1991	0	3.5	71
		80	5.0	125
Raaigras	6/08/1991	0	6.0	50
		80	6.8	108
Facelia	6/08/1991	0	3.5	49
		80	5.8	122
Mosterd	27/08/1992	0	3.4	73
		80	6.9	178
Raaigras	29/07/1992	0	4.5	72
		80	8.8	169
Facelia	29/07/1992	0	5.9	86
		80	8.3	155
Mosterd	17/08/1993	0	3.2	50
		80	5.5	115
	30/08/1993	0	2.4	53
		60	2.9	72
	13/09/1993	0	0.7	30
		50	1.3	51

De efficiëntie van een vanggewas hangt, bij normale weersomstandigheden, hoofdzakelijk af van het zaaitijdstip. Vos & van der Putten (1997) toonden het belang aan van het zaaitijdstip door eind

augustus (19 - 28 augustus) en 3 en 6 weken (7 - 15 september en 28 september - 1 oktober) later veggewassen in te zaaien (zandbodem - Wageningen - 1991 - 1996). Snijrogge werd gecombineerd met koolzaad of bladrammenas en er werden 2 N-bemestingstrappen (0-trap en geen N-tekort) voorzien (Bijlage 1 - Tabel 21). Er was een grote spreiding in de DS-opbrengst en totale N-opname tussen de jaren die toe te schrijven was aan de weersverschillen en het veggewastype. Desalniettemin toonden de resultaten aan dat hoe later het zaaitijdstip, hoe kleiner de DS-opbrengst en de N-opname was. De respons op de extra N-bemesting was positief voor alle parameters en voor elk zaaitijdstip, maar nam zowel relatief als absoluut af naarmate het veggewas later ingezaaid werd (Vos & van der Putten, 1997; De Waele *et al.*, 2014b). Ook recentere proeven (2010 - 2018) toonden het belang aan van het zaaitijdstip op de DS-opbrengst van veggewassen (Figuur 1 en Tabel 3) (Cougnon *et al.*, 2015; Van de Ven *et al.*, 2020). Komainda *et al.* (2016) vonden in Duitsland eveneens een duidelijke afname in de totale N-opname bij inzaai op 10, 20 en 30 september en 30 oktober en concludeerden dat een veggewas ten laatste op 20 september gezaaid moet worden om > 20 kg N ha<sup>-1</sup> op te nemen. Algemeen kan gesteld worden dat bij een late inzaai de N-opname door een veggewas zeer beperkt is en nauwelijks de extra N-mineralisatie door bodembewerkingen compenseert.



Figuur 1: Verband tussen het zaaitijdstip en de ontwikkeling van bovengrondse drogestofopbrengst (kg DS ha<sup>-1</sup>) van veggewassen (staalname half april) bij de zaai na de oogst van de hoofdteelt (15 oktober geeft de uiterste zaaidatum van een veggewas na niet-vroege aardappelen en maïs in MAP6) (Bron: Van de Ven *et al.*, 2020)

Tabel 3: Boven- en ondergrondse (0 - 20 cm) drogestofopbrengst (kg DS ha<sup>-1</sup>) van winterrogge en Italiaans raaigras gezaaid op 1/10/2012 (zaai 1), 22/10/2012 (zaai 2) en 31/10/2012 (zaai 3), geoogst op verschillende momenten tijdens de winter en lente van 2012 - 2013 (Bron: Cougnon *et al.*, 2015)

Oogstdatum	Zaai 1		Zaai 2		Zaai 3	
	Winterrogge	Italiaans raaigras	Winterrogge	Italiaans raaigras	Winterrogge	Italiaans raaigras
	<i>Bovengrondse drogestofopbrengst</i>					
18/12/2012	288	137	88	27	/	/
4/02/2013	434	221	126	53	75	28
28/02/2013	614	640	176	74	127	44
12/03/2013	734	435	220	125	160	72
11/04/2013	1030	652	295	211	219	110
	<i>Ondergrondse drogestofopbrengst</i>					
4/02/2013	224	209	165	78	75	37
21/03/2013	269	269	190	104	96	46
11/04/2013	829	785	361	405	332	179

/: niet oogstbaar

Naarmate een vanggewas later ingezaaid wordt, wordt niet alleen het totale groeiseizoen maar ook de daglengte en de lichtintensiteit korter. Dit zorgt ervoor dat de verschillen in de DS-opbrengst en N-opname bij een inzaai tussen midden en eind augustus kleiner zijn dan tussen eind augustus en midden september (De Waele *et al.*, 2014b). In regio's met een gematigd klimaat wordt er geschat dat er, afhankelijk van het vanggewastype, in de periode augustus tot begin september een N-opname van 1.8 kg tot 3.4 kg N per (ha dag)<sup>-1</sup> kan plaatsvinden (Vos, 1992; Ninane *et al.*, 1995; Vos & van der Putten, 1997). Er wordt een snelle daling van de N-opname gemeten voor vanggewassen gezaaid vanaf september. De literatuurstudie van Agneessens *et al.* (2014a) geeft aan dat bij inzaai van een vanggewas begin september de N-opname gemiddeld 20 kg N ha<sup>-1</sup> (variërend van ±10 tot ±30 kg N ha<sup>-1</sup>) lager is dan bij inzaai in augustus. Voor een inzaai in de tweede helft van oktober bedraagt de gemiddelde N-opname 10 kg N ha<sup>-1</sup> bij het eind van het jaar (Vos & van der Putten, 1997; Agneessens *et al.*, 2014a). Dit wordt bevestigd door Ver Elst *et al.* (1999) die richtcijfers aangeven voor de N-opname in functie van het vanggewastype en de kwalitatieve gewasontwikkeling (Tabel 4). De kwalitatieve gewasontwikkeling stemt, bij normale weersomstandigheden, respectievelijk overeen met een inzaai van het vanggewas in augustus (goed), de eerste helft van september (normaal) en de tweede helft van september (slecht). De opgenomen N-hoeveelheid wordt door de biomassa-productie en de N-concentratie van het plantenweefsel bepaald. Bladrijke gewassen zoals gele mosterd of bladrammenas zullen in het najaar meer N opnemen dan minder bladrijke gewassen. Voor gele mosterd wordt vaak de vuistregel gehanteerd dat dit gewas per 10 cm hoogte ongeveer 10 kg N ha<sup>-1</sup> bevat. Voor grassen of granen wordt dit geschat op 25 kg N ha<sup>-1</sup> per 10 cm hoogte (De Waele *et al.*, 2014b). Hierbij dient opgemerkt dat na het inwerken van het vanggewas er bij de N-bemesting van de volgteelt met de N-levering uit de gewasresten rekening moet worden gehouden.

Tabel 4: Stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) door vanggewassen uitgezaaid in het najaar\* (Bron: Ver Elst *et al.*, 1999; Dillen; 2023)

Type vanggewas	Ontwikkeling vanggewas		
	Slecht	Normaal	Goed
Bladrijke	30 - 50	50 - 70	70 - 90
Grasachtige	20 - 40	40 - 60	60 - 80
Vlinderbloemige	30 - 50	50 - 75	75 - 100

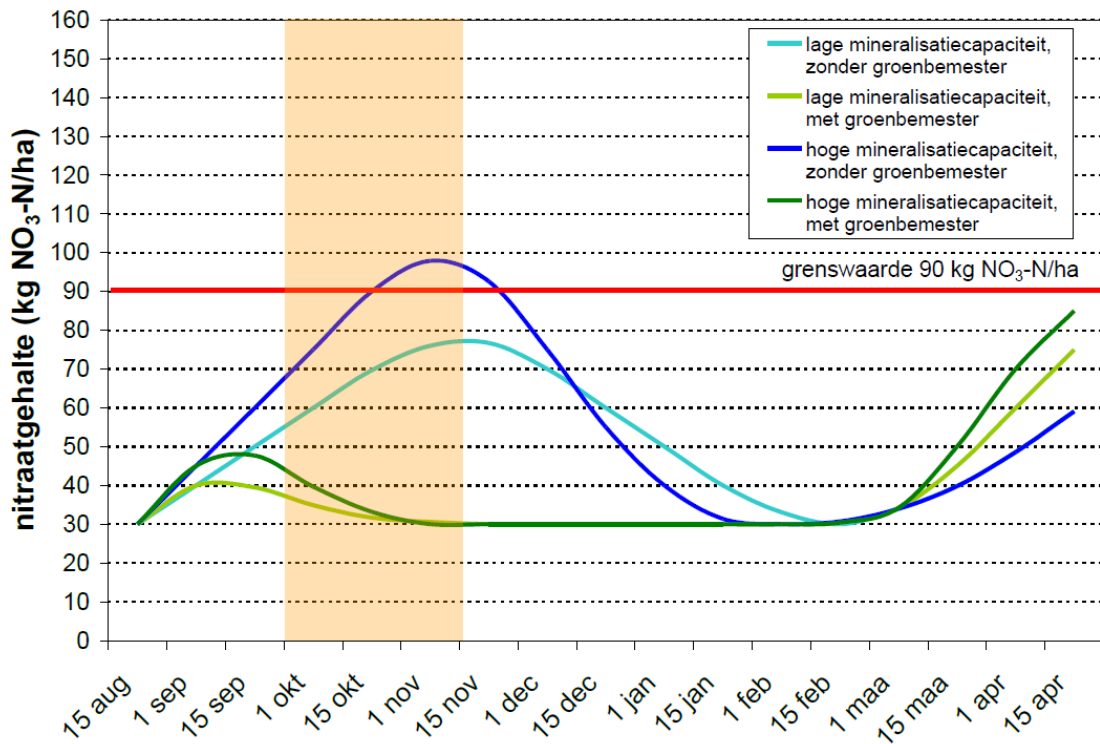
\* Boven- en ondergronds, geldig bij normale stikstofbemesting. Bij extreem hoge stikstofbeschikbaarheid kunnen er nog hogere stikstofopnames worden behaald.

Agneessens *et al.* (2014a) geven aan dat bij de inzaai van een vanggewas in augustus een daling van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging van ongeveer 50% verwacht wordt. De inzaai van een vanggewas begin september reduceert de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging met ongeveer 30%.

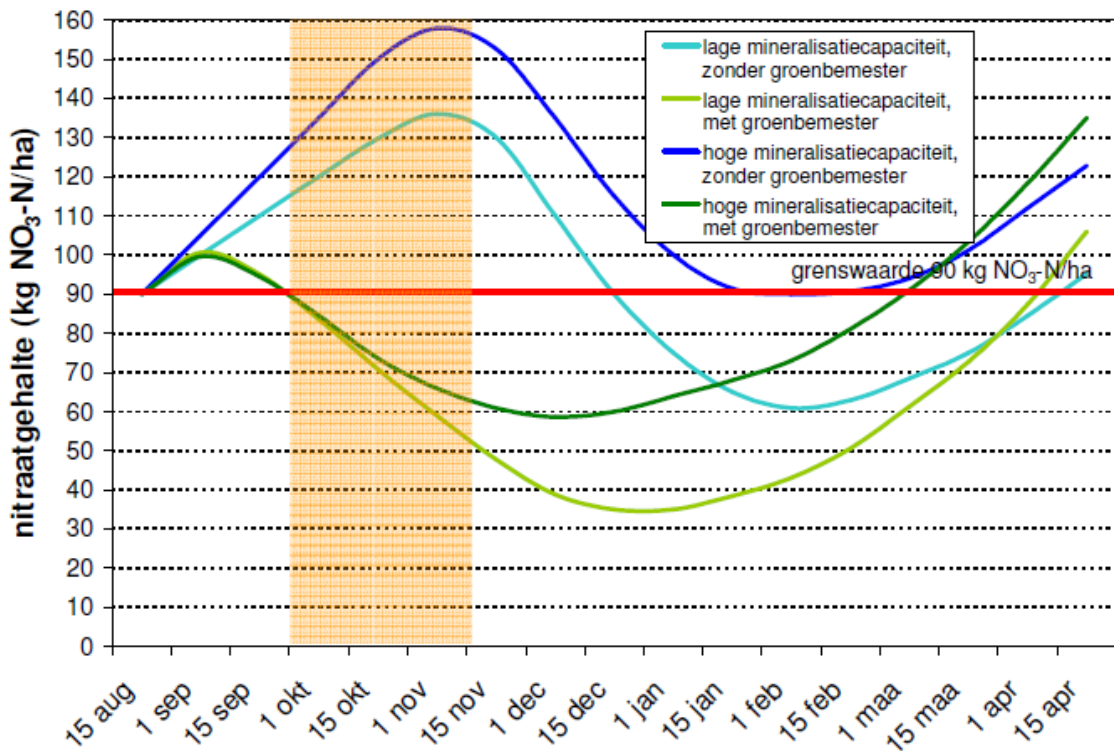
Door Nouri *et al.* (2022) wordt, op basis van 41 artikels, aangegeven dat bij een tijdige inzaai van een vanggewas t.o.v. braak de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging met gemiddeld 69% kan gereduceerd worden.

Onderzoek van De Waele *et al.* (2014a) bevestigde dat een vanggewas ingezaaid na granen in de eerste en tweede helft van augustus een vergelijkbaar effect heeft op de daling van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging, maar het preventieve effect van de inzaai van vanggewassen op NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging lager is bij de inzaai begin september. Datzelfde onderzoek gaf aan dat na een hoofdteelt granen het toedienen van 36 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> niet resulteerde in een significant hogere NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging, maar de extra N werd door het vanggewas opgenomen en resulteerde in een hogere aanvoer van organisch materiaal (OM) wat positief is voor de bodemkwaliteit (De Waele *et al.*, 2014a).

Door Hermans *et al.* (2010) werden geïdealiseerde curven opgesteld van de evolutie van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-hoeveelheden in de bodem, al dan niet na het inzaaien van een vanggewas in de tweede helft van augustus en dit op basis van verschillende proef- en praktijkpercelen (Figuur 2 en Figuur 3).



Figuur 2: Evolutie van het nitraatstikstofgehalte ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) in de bodem vertrekkend van een zeer laag  $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalte in de bodem in augustus (Bron: Hermans et al., 2010).



Figuur 3: Evolutie van het nitraatstikstofgehalte ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) in de bodem vertrekkend van een hoger  $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalte in de bodem in augustus (Bron: Hermans et al., 2010).

In Figuur 2 start men met een lage  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheid in de bodem, zoals dit meestal het geval is na granen als hoofdteelt. Op het ogenblik dat de drainage op -90 cm start (half tot eind november) kan het verschil in  $\text{NO}_3^-$ -N-residu tussen percelen met en zonder een vanggewas theoretisch oplopen tot 40 à 60  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$ , afhankelijk van de mineralisatiecapaciteit van de bodem. Half februari worden vaak vergelijkbare  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's vastgesteld op percelen met en zonder een vanggewas hetgeen betekent dat op percelen zonder een vanggewas belangrijke  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheden beneden een diepte van -90 cm zijn uitgelooft. Op percelen met hoge  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheden bij de oogst van de hoofdteelt, hetgeen vaak het geval is bv. na vroege aardappelen of groenten met N-rijke oogstresten, kunnen de verschillen in  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheden in het najaar nog hoger liggen zoals geïllustreerd in Figuur 3.

Uit het Nitraatresidu-rapport 2022 blijkt dat de gemiddelde  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's tijdens de sperperiode 20 à 30  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  lager liggen op percelen met een hoofdteelt granen gevolgd door een vanggewas t.o.v. braakpercelen (Anonymus, 2023d). Wellicht is dit nog een onderschatting omdat de monstername gebeurt tussen 1 oktober en 15 november en dus na de monstername nog N door het vanggewas kan opgenomen worden.

Uit dit alles blijkt dat het tijdig inzaaien van een vanggewas een zeer goede maatregel is om de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in de sperperiode en zodoende de  $\text{NO}_3^-$ -uitloging tijdens de winter te beperken.

Bij de oogst van niet-nitraatgevoelige teelten schommelt het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu gemiddeld tussen 30 en 50  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$ . Theoretisch zou, vertrekkend van deze relatief lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's bij de oogst, in het late najaar een  $\text{NO}_3^-$ -N-residu van ongeveer 30 tot maximaal 40  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  gehaald dienen te worden. Dit is ook noodzakelijk om de milieukundige drempelwaarden, zoals gegeven door D'Haene & Hofman (2022), enigszins te benaderen. Een beperking van de N-bemesting bij niet-nitraatgevoelige teelten zoals granen heeft een beperkt effect op de relatief lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's bij de oogst van graangewassen (D'Haene *et al.*, 2014). Het daaropvolgende vanggewas dient vooral om de N-vrijstelling door mineralisatie uit bodemorganische stof (BOS) tijdens de late zomer en het najaar op te nemen. Deze N-mineralisatie kan globaal geschat worden op 30 tot 60  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Dit betekent dat een inzaai van een vanggewas in augustus na een niet-nitraatgevoelige teelt (met opnames begrepen tussen 60 en 90  $\text{kg N ha}^{-1}$ , Tabel 4 en Tabel 6) ruimschoots de vooropgestelde grens van 30 - 40  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  in het late najaar kan halen en er dus geen restricties op de bemestingsnormen noodzakelijk zijn. Een beperkte N-bemesting met maximum 36  $\text{kg werkzame N ha}^{-1}$ , zoals op dit ogenblik, kan er voor zorgen dat het vanggewas zich maximaal kan ontwikkelen zonder gevaar voor hogere  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in het najaar (De Waele *et al.*, 2014a). Bij de inzaai van een vanggewas de eerste helft van september, met gemiddelde N-opnames begrepen tussen 40 en 70  $\text{kg N ha}^{-1}$ , wordt het vanggewas het best niet bemest. Bij een late inzaai van een vanggewas (tweede helft van september) is de N-opname beperkter, variërend tussen 20 en 50  $\text{kg N ha}^{-1}$ , en zal de vrijgestelde N niet meer volledig door het vanggewas opgenomen worden. Bij zeer late zaai van een vanggewas (na 1 oktober) is de N-opname van een vanggewas beperkt tot maximaal 25  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Het inzaaien van een vanggewas na 1 oktober heeft slechts een beperkte zin om de  $\text{NO}_3^-$ -uitloging tijdens de winter te reduceren. De beperking op de N-bemestingsnormen t.o.v. GT0 dient zodoende verder aangescherpt te worden.

Een beperking van de N-bemesting bij nitraatgevoelige teelten zoals vroege aardappelen of groenten met N-rijke oogstresten heeft een belangrijker effect op de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's bij de oogst dan bij niet-nitraatgevoelige teelten zoals granen (D'Haene *et al.*, 2014). Bij nitraatgevoelige teelten zijn de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's hoger (globaal tussen 50 tot 100  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  en soms hoger) en dient een vanggewas ook in te staan om deze hoge  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's op te nemen. Een beperkte N-bemesting van het vanggewas is dan ook niet aangewezen. Bij nitraatgevoelige teelten zal vaak geëindigd worden met nog relatief hoge  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in het najaar die belangrijker zijn naarmate de toegediende N-bemesting voor de hoofdteelt hoger is of het vanggewas later wordt ingezaaid.



De N-opname van de vanggewassen in functie van het zaaitijdstip en dus verlaging van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu in de sperperiode werd vertaald naar een terugverdieneffect of winst die gerealiseerd kan worden (Tabel 5). Rekening houdend met de hogere NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's gemeten bij nitraatgevoelige teelten dan bij niet-nitraatgevoelige teelten is de voorgestelde winst 5% lager bij de nitraatgevoelige teelten. Er werd geen verschil in winst tussen de gebiedstypes gemaakt ondanks het feit dat er een verschillend effect op de kwaliteit van het oppervlaktewater is omwille van het verschil in attenuatiefactor<sup>2</sup>. Eenzelfde daling van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu in afstroomzones met een lagere attenuatiefactor heeft een groter effect op de waterkwaliteit dan in afstroomzones met een hogere attenuatiefactor.

**Belangrijk is om te vermelden dat Tabel 5 voor alle verdere duurzame landbouwpraktijken als maatstaf gebruikt werd om de aangepaste reducties af te leiden.**

Dit leidt tot voorstellen van beperkingen op de N-bemestingsnormen t.o.v. GT0 zoals voorgesteld in Tabel 6 voor niet-nitraat- en nitraatgevoelige hoofdteelten gevolgd door een vanggewas. Omwille van de verschillen in generieke reducties tussen de gebiedstypes blijven de voorgestelde aangepaste reducties het hoogst in GT3 en het laagst in GT1. Op te merken valt dat na de oogst van een hoofdteelt geogst voor 1 september de verplichting geldt dat voor 80% van de geogste oppervlakte een vanggewas dient ingezaaid te worden voor 15 september of een nateelt op een later tijdstip (Anonymus, 2023a). Deze verplichting leidt ertoe dat de generieke reducties van de N-bemestingshoeveelheid theoretisch toegepast dienen te worden. Dit resulteert in de absurde situatie dat bij een latere inzaai van vanggewassen na een hoofdteelt geogst na 1 september wel een winst op de N-bemestingsnormen kan toegekend worden. Deze verschillen in aanpak zijn wetenschappelijk niet te onderbouwen. Dit is de reden dat in Tabel 6 ook reducties worden toegekend bij de vroege inzaai van een vanggewas.

Tabel 5: Stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) en winst (%) door de inzaai van een vanggewas in functie van de voorafgaande hoofdteelt en de inzaaidatum van het vanggewas

Hoofdteelt	Niet-nitraatgevoelige teelt				Nitraatgevoelige teelt			
	Tot eind aug	1 - 15 sep	16 - 30 sep	1 - 15 okt	Tot eind aug	1 - 15 sep	16 - 30 sep	1 - 15 okt
Inzaai van het vanggewas								
N-opname door het vanggewas (kg N ha <sup>-1</sup> )	60 - 90	40 - 70	20 - 50	10 - 25	60 - 90	40 - 70	20 - 50	10 - 25
Winst (%)	20	15	10	5	15	10	5	0

Tabel 6: Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van de voorafgaande hoofdteelt en de inzaaidatum van het vanggewas

Hoofdteelt	Niet-nitraatgevoelige teelt				Nitraatgevoelige teelt			
	Tot eind aug	1 - 15 sep	16 - 30 sep	1 - 15 okt	Tot eind aug	1 - 15 sep	16 - 30 sep	1 - 15 okt
Inzaai van het vanggewas								
N-opname door het vanggewas (kg N ha <sup>-1</sup> )	60 - 90	40 - 70	20 - 50	10 - 25	60 - 90	40 - 70	20 - 50	10 - 25
Beperking in functie van het gebiedstype (%)								
- Gebiedstype 1	0	0	0	0	0	0	0	-5
- Gebiedstype 2	0	0	0	-5	-5	-10	-15	-20
- Gebiedstype 3	0	-5	-10	-15	-15	-20	-25	-30

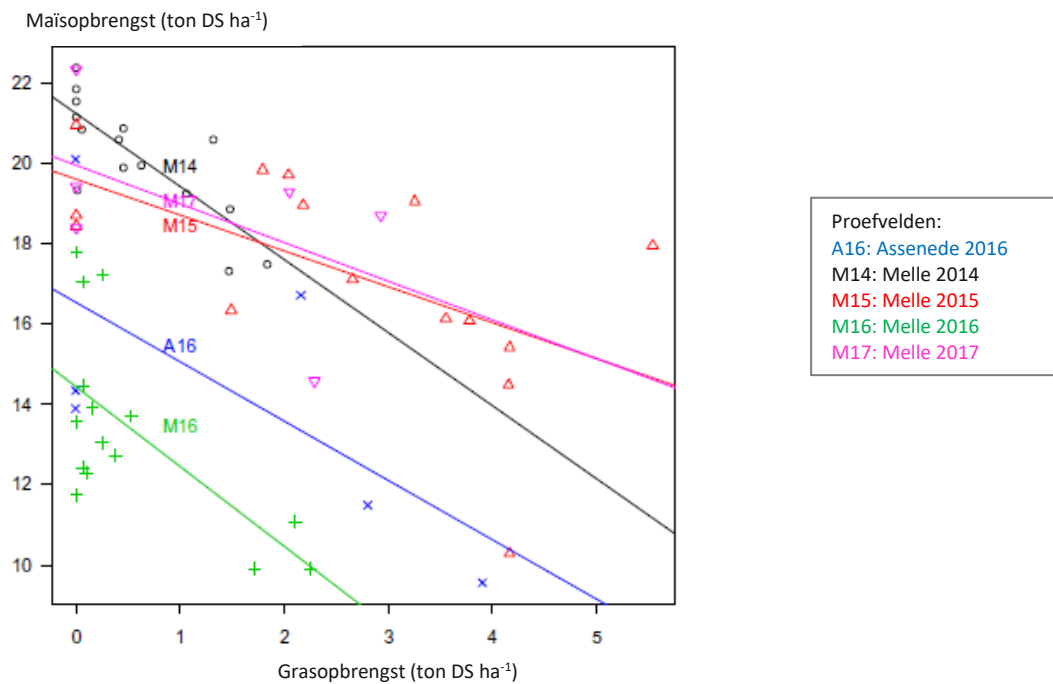
<sup>2</sup> Een reductie van de uitloging met 10 kg N ha<sup>-1</sup> op -90 cm leidt bij een attenuatiefactor van 2 tot 5 kg N ha<sup>-1</sup> die minder in het oppervlaktewater terechtkomt. Bij een attenuatiefactor van 3 is de daling beperkt tot 3 kg N ha<sup>-1</sup>.



## Onderzaai van gras bij maïs

Een alternatief voor de inzaai van vanggewassen na de hoofdteelt is de onderzaai van een vanggewas gelijktijdig met (= gelijkzaai) of tijdens de hoofdteelt (= doorzaai). Onderzaaien in een hoofdteelt zoals, bv. maïs, kan bij hoofdteelten met een late oogst tot een betere ontwikkeling van het vanggewas leiden. De onderzaai van een vanggewas bij maïs heeft in de praktijk echter wisselende resultaten, vooral op percelen met een hoge onkruiddruk (LCV, 2020; Van de Ven *et al.*, 2020). Een geslaagde onderzaai van een vanggewas gaat gepaard met een opbrengstderving aan maïs: hoe beter de onderzaai zich vestigt, hoe groter de opbrengstderving (Figuur 4). De gelijktijdige zaai van gras en maïs heeft het grootste potentieel om in een daling van de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's bij de oogst te resulteren, maar kan ook leiden tot een opbrengstdaling van 20 tot 30% door een te hoge competitie voor nutriënten, water en licht. Bij een latere inzaai van het gras is het risico op opbrengstdaling beperkter maar zal ook de daling van de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's bij de oogst lager zijn. Bij een te late zaai van het gras is er risico op een slechte ontwikkeling en veel schade aan het gras bij de oogst van de maïs (Verloop *et al.*, 2006; Latré *et al.*, 2007; Aronsson *et al.*, 2016; LCV, 2020; Van de Ven *et al.*, 2020; Cougnon *et al.*, 2021). Omwille van mogelijke opbrengstverliezen bij maïs, de wisselvalligheid van het slagen van deze onderzaai en de al bij al beperkte daling van het  $\text{NO}_3^-$ -N residu in het najaar bij onderzaai gras besluiten Cougnon & Reheul (2022) dat het zaaien van een vroeg maïsras geoogst in de eerste helft van september gevolgd door Italiaans raaigras de beste lange termijnstrategie is. Wie kiest voor onderzaai moet ook weten dat de onbewerkte maïsstoppels een hinderpaal zijn om het gras in het voorjaar te oogsten als veevoer: de stoppels beïnvloeden de voederwaarde immers negatief. Deze bedenking is natuurlijk irrelevant als de hele biomassa wordt ondergeploegd of bij gebruik van speciale oogstmachines die de stoppels grotendeels verhakelen (Cougnon & Reheul, 2022).

Doorzaai van gras in maïs op 4 Vlaamse locaties in het droge jaar 2020 gaf een gemiddelde bovengrondse DS-opbrengst en N-opname door het gras van respectievelijk  $565 \text{ kg DS ha}^{-1}$  en  $19 \text{ kg N ha}^{-1}$  (variërend tussen  $208$  en  $1419 \text{ kg DS ha}^{-1}$  en  $7$  en  $35 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) (zaai half juni - oogst half november van het vanggewas). Bij gelijkzaai van rietzwenkgras en maïs was de DS-opbrengst en N-opname door het gras respectievelijk  $721 \text{ kg DS ha}^{-1}$  en  $48 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Catteeuw *et al.*, 2021). Bij gelijkzaai van maïs en rood zwenkgras in Denemarken varieerde de bovengrondse N-opname van gras van gemiddeld  $28$  tot  $62 \text{ kg N ha}^{-1}$  (gemiddelde van november 2009, 2010 en 2011). De opbrengstdaling van maïs liep op tot 19% (Manevski *et al.*, 2015). Schröder *et al.* (1996) maten eind maart - begin april (1988 - 1994) op een zandbodem in Nederland bij de doorzaai van Italiaans raaigras ingezaaid in de eerste helft van juni een gemiddelde bovengrondse N-opname van  $46 \text{ kg N ha}^{-1}$  (variërend van  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  in een koude winter tot  $35 - 70 \text{ kg N ha}^{-1}$  in een milde winter). De doorzaai resulteerde echter in een opbrengstdaling van de maïs door competitie voor water, nutriënten en licht. De gemiddelde bovengrondse N-opname van rogge ingezaaid in de tweede helft van september na de oogst van de maïs was vergelijkbaar (Schröder *et al.*, 1996). Bij een zandbodem in Nederland was de totale N-opname in januari 2008 bij de doorzaai van Italiaans raaigras in maïs  $25 \text{ kg N ha}^{-1}$ . De totale N-opname bij de zaai van Italiaans raaigras en rogge na de oogst van maïs (6 oktober 2007) was respectievelijk  $5$  en  $11 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Hilhorst & Verloop, 2014).



Figuur 4: Drogestofopbrengst (ton DS ha<sup>-1</sup>) van maïs met onderzaai van gras in functie van de drogestofopbrengst van gras in de herfst (per locatie wordt een verschillend symbool en kleur gebruikt) (Bron: Cougnon et al., 2021)

Rekening houdend met een onderzaai tijdens de teelt om het risico op opbrengstderving te beperken, wordt de totale N-opname in de winterperiode op 25 - 50 kg N ha<sup>-1</sup> geschat. Uit hetgeen voorafgaat wordt de beperking van de reductie bij onderzaai van gras in maïs in Tabel 7 gegeven die overeenstemt met de inzaai van een vanggewas tussen half en eind september.

Tabel 7: Beperking van de bemestingsnormen (in %) bij onderzaai van een vanggewas bij maïs

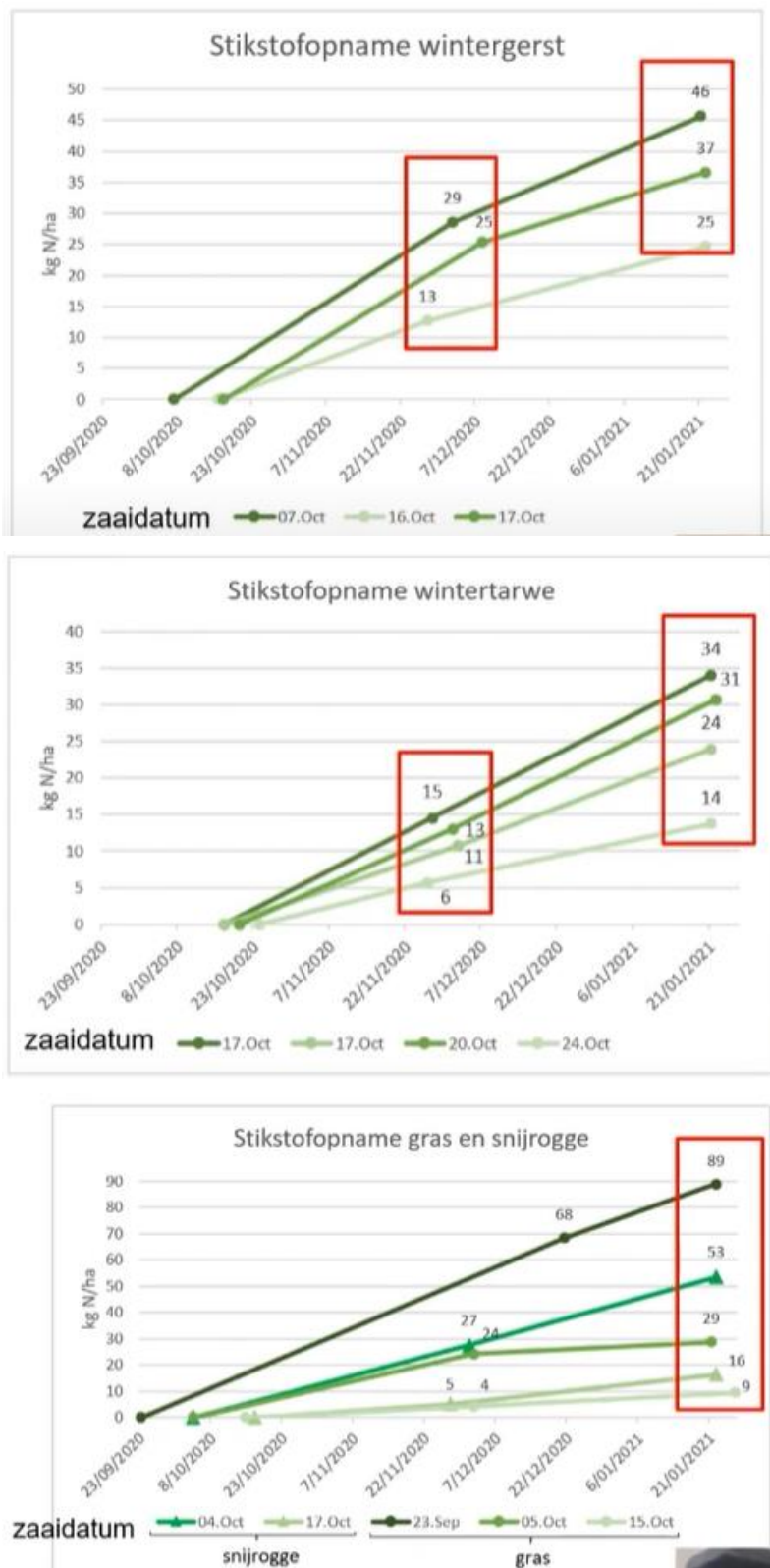
Hoofddeelt	Maïs
Beperking in functie van het gebiedstype (%)	
- Gebiedstype 1	0
- Gebiedstype 2	-15
- Gebiedstype 3	-25

Theoretisch zijn er ook mogelijkheden voor de onderzaai van gras bij andere teelten. Dit dient verder onderzocht te worden vooraleer er sprake kan zijn van terugverdieneffecten.

## Volggewassen

Naast het inzaaien van een vanggewas na de oogst van een hoofddeelt kan ook een niet-nitraat-gevoelige teelt, zoals granen of koolzaad, ingezaaid worden. De inzaai van deze volgteelten situeert zich voor wintergerst tussen eind september en half oktober, voor wintertarwe tussen half oktober en half november en voor koolzaad tussen half augustus en begin september. De N-opnames tegen het einde van het jaar kunnen grofweg gelijkgesteld worden aan deze van de hiervoor vermelde vanggewassen ingezaaid op hetzelfde tijdstip. Dit leidt tot N-opnames voor het einde van het jaar tussen 10 en 25 N ha<sup>-1</sup> voor wintergerst en van 5 tot 15 kg N ha<sup>-1</sup> voor wintertarwe. Dit wordt bevestigd in Figuur 5 die het verloop van de N-opname aangeeft in functie van de inzaaidatum op praktijkpercelen in de winter 2020 - 2021 (Vandervelpen, 2021). Stikstofopnames bij koolzaad daarentegen

schommelen tussen 50 en 75 kg N ha<sup>-1</sup> voor het eind van het jaar (Bijlage 2 - Tabel 22 tot Tabel 24 & Figuur 10 ) (Ulas, 2010; Louvieaux *et al.*, 2020; Rahimitanha *et al.*, 2022).



Figuur 5: Stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) door verschillende volgteelten op praktijkpercelen (2020 - 2021) (Bron: Vandervelpen, 2021)

Het voordeel van de hiervoor vermelde volgteelten is dat deze in het vroege voorjaar nog stelselmatig N opnemen wat niet het geval is voor de niet-winterharde vanggewassen. Daarenboven hebben deze teelten een diepe beworteling (Thorup-Kristensen *et al.*, 2009; Ulas, 2010). Een laatste voordeel is dat granen en koolzaad niet-nitraatgevoelige teelten zijn en dat het volgende jaar vroeg een vanggewas ingezaaid kan worden.

Aangezien granen vaak na laat geogoste hoofdteelten komen, zoals aardappelen, bieten en in mindere mate maïs, werden recent een aantal proeven aangelegd om de evolutie van de minerale N in de bodem en de N-opname van laat ingezaaide granen na te gaan in de winter en het vroege voorjaar en dit in vergelijking met vorstvrije vanggewassen zoals gras en snijrogge. Afhankelijk van de inzaaidatum en de weersomstandigheden kunnen grote verschillen in zowel de  $\text{NO}_3^-$ -N-evolutie in de bodem als in de N-opname tussen de jaren worden vastgesteld (Bijlage 3 - Figuur 11 tot Figuur 15 en Tabel 25 en Tabel 26) (Dillen & De Blauwer, 2021; Dillen, 2022; Anonymus, 2023b).

Voor de proef in 2020 - 2021 (Dillen & De Blauwer, 2021) werden eind maart - begin april N-opnames door de volgteelt granen gemeten, voor een inzaai begrepen tussen half en eind oktober, van 20 tot 50 kg N ha<sup>-1</sup> en voor een inzaai rond half november tussen 10 en 25 kg N ha<sup>-1</sup>. Voor de proef in 2021 - 2022 (Dillen, 2022) en een inzaai rond half oktober werden N-opnames genoteerd half december van ongeveer 10 kg N ha<sup>-1</sup>, begin februari schommelden de N-opnames tussen 20 en 30 kg N ha<sup>-1</sup> en rond half maart tussen 30 en 45 kg N ha<sup>-1</sup>. Voor een inzaai half november bedroeg de N-opname gemiddeld 5 kg N ha<sup>-1</sup> begin februari en 15 tot 20 kg N ha<sup>-1</sup> half maart. Voor het jaar 2022 - 2023 (Anonymus, 2023b), met een extreem warm najaar<sup>3</sup>, werden eind februari voor een inzaai half oktober N-opnames gemeten begrepen tussen 60 kg N ha<sup>-1</sup> voor wintertarwe en tussen 70 en 80 kg N ha<sup>-1</sup> voor wintergerst, snijrogge en raaigras. Bij een inzaai van wintertarwe op 15 november bleef de bovengrondse N-opname beperkt tot 10 kg N ha<sup>-1</sup> eind februari. Uit deze proeven blijkt nogmaals dat bij de inzaai van granen of een vanggewas de N-opnames vergelijkbaar zijn. De N-opnames zijn gemiddeld iets hoger bij snijrogge en wintergerst dan bij gras en wintertarwe. De proefveldresultaten 2020 - 2021 en 2021 - 2022 geven aan dat bij de inzaai half oktober de N-opnames relatief beperkt zijn op het einde van het jaar en onder normale weersomstandigheden tegen half maart oplopen tot waarden begrepen tussen 20 en 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Bij extreem hoge temperaturen in het najaar, zoals in 2022 - 2023, werden eind februari N-opnames tussen 60 en 80 kg N ha<sup>-1</sup> genoteerd. Daarentegen blijven bij late zaai half november de N-opnames beperkt tot 10 kg N ha<sup>-1</sup> aan het einde van het jaar en tot 20 kg N ha<sup>-1</sup> half maart.

Vanzelfsprekend volgt de  $\text{NO}_3^-$ -N-evolutie in de bodem de N-opname door de volgteelt of het vanggewas. Onder normale weersomstandigheden zijn de verschillen in  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheden in de bodem tussen braak- en ingezaaide percelen (tussen half en eind oktober) tot in januari relatief beperkt waarna deze verschillen door N-opname toenemen. Dit betekent dat de daling van het  $\text{NO}_3^-$ -N-gehalte in de bodem tussen begin december en half januari hoofdzakelijk te wijten is aan  $\text{NO}_3^-$ -uitloging en dit zowel op ingezaaide percelen als op de braakpercelen. Uitzondering hierop maken de resultaten in 2022 - 2023 met hoge N-opnames in het late najaar en winter als gevolg van extreem hoge temperaturen in het najaar. Vanaf half januari - begin februari neemt de groei van de ingezaaide gewassen exponentieel toe en zijn de verschillen in  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's tussen de ingezaaide en braakpercelen te wijten aan N-opname van de volgteelt of vanggewas. Voor zeer late inzaai van een vanggewas of een graangewas (half november) blijft de N-opname tot half maart beperkt en zullen de  $\text{NO}_3^-$

---

<sup>3</sup> De gemiddelde temperatuur van 12.8 °C van de herfst van 2022 (september tot en met november) valt binnen de top 3 hoogste waarden van de metingen sinds 1901 (KMI, 2023). Er is geen eenduidige definitie van de frequentie van een weersomstandigheid om als extreem gedefinieerd te worden. Dit hangt af van de periode die men bekijkt. Bij jaardata gaat dit eerder over 1 maal op 10 jaar voorkomend en bij maanddata 1 op 20 jaar.

-verliezen door drainage nauwelijks verschillend zijn tussen braak- en zeer laat ingezaaide percelen. Gedetailleerde resultaten worden in Bijlage 3 gegeven.

Uit hetgeen voorafgaat worden volgende beperkingen op de bemestingsnormen voorgesteld (Tabel 8 en Tabel 9). Naast de N-opname tot het einde van het jaar wordt ook bijkomend rekening gehouden met de N-opname tot half maart, het einde van de periode van uitloging.

In vergelijking met het verplichte doelareaal vanggewassen in MAP6 is er een grotere keuzevrijheid voor de landbouwer. Daarnaast wordt het effect van het tijdstip van inzaaien op de waterkwaliteit meegenomen door een lagere beperking van de N-bemestingsnormen bij een vroegere inzaai van een volgteelt of vanggewas.

Tabel 8: *Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van de inzaaidatum van de volgteelt na een niet-nitraatgevoelige teelt*

<b>Volgteelt</b>	<b>Winterkoolzaad</b>	<b>Wintergranen</b>			
<b>Inzaai van de volgteelt</b>	<b>Eind aug - begin sept</b>	<b>1 - 15 okt</b>	<b>16 - 31 okt</b>	<b>1 - 15 nov</b>	<b>Na 15 nov</b>
N-opname door de volgteelt (kg N ha <sup>-1</sup> )					
- tot half januari	50 - 75	10 - 25	10 - 20	5 - 10	≤ 10
- tot half maart	100 - 150	25 - 60	20 - 50	15 - 25	≤ 20
Beperking in functie van het gebiedstype (%)					
- Gebiedstype 1	0	0	0	0	0
- Gebiedstype 2	0	0	0	-5	-10
- Gebiedstype 3	0	-5	-10	-15	-20

Tabel 9: *Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van de zaaidatum van de volgteelt na een nitraatgevoelige teelt*

<b>Volgteelt</b>	<b>Winterkoolzaad</b>	<b>Wintergranen</b>			
<b>Inzaai van de volgteelt</b>	<b>Eind aug - begin sept</b>	<b>1 - 15 okt</b>	<b>16 - 31 okt</b>	<b>1 - 15 nov</b>	<b>Na 15 nov</b>
N-opname door de volgteelt (kg N ha <sup>-1</sup> )					
- tot half januari	50 - 75	10 - 25	10 - 20	5 - 10	≤ 10
- tot half maart	100 - 150	25 - 60	20 - 50	15 - 25	≤ 20
Beperking in functie van het gebiedstype (%)					
- Gebiedstype 1	0	0	0	-5	-5
- Gebiedstype 2	-5	-10	-15	-20	-20
- Gebiedstype 3	-15	-20	-25	-30	-30

### Tussenvanggewas voor volggewas

Om onkruidgroei voor de inzaai van het volggewas te vermijden, wordt soms na de hoofdteelt een tussenvanggewas ingezaaid. Een tussenvanggewas zorgt voor een bodembedekking die onkruiden helpt te onderdrukken, biedt ook bescherming tegen erosie en brengt OM in de bodem. Door zijn N-opname kan een tussenvanggewas ook in een lager NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij de inzaai van een volgteelt t.o.v. braak resulteren (Creamer & Baldwin, 2020; Verreect *et al.*, 2023). Metingen van de N-opname door het tussenvanggewas en/of het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij de inzaai van een volggewas zijn echter beperkt.

Op een Vlaams demoproefveld waar op 5 augustus 2022 na de oogst van wintertarwe een tussenvanggewas ingezaaid werd, werd het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu opgevolgd. Kort na de zaai werd op de strook zonder en met tussenvanggewas respectievelijk 70 en 39 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> (0 - 90 cm) gemeten. Na het inwerken van het tussenvanggewas en de inzaai van de wintergerst op 10 oktober was het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu op 15 oktober op de strook zonder en met tussenvanggewas (duur van het vanggewas was 9.5 weken) respectievelijk 97 en 35 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>. Het verschil in NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu tussen de strook zonder en met een tussenvanggewas nam met 31 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> toe. De hoogte van het tussenvanggewasmengsel

van gele mosterd en bladrammenas was 15 tot 20 cm. Deze beperkte groei en N-opname, zoals blijkt uit het verschil in  $\text{NO}_3^-$ -N-residu en beperkte hoogte, werd aan de droge weersomstandigheden toegeschreven (B3W, 2022c; Verreкт *et al.*, 2023). Het negatief effect van droogte blijkt eveneens uit Duits onderzoek. In 2008 werd op 3 locaties de N-opname van 6 tussenvanggewassen (0 of 50 kg N  $\text{ha}^{-1}$  bemest) onderzocht. De bovengrondse N-opname door het tussenvanggewas schommelde op de droogste locatie tussen 30 en 63 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (na wintertarwe & ingezaaid op 13 augustus - geoogst op 31 oktober [11.3 weken]). Op een tweede locatie was door de hoge onkruiddruk de N-opname van het tussenvanggewas (na wintertriticale & ingezaaid op 11 augustus - geoogst op 31 oktober [10.7 weken]) beperkt tot 14 - 50 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (excl. N-opname van het aanwezige onkruid of tussen 30 en 75 kg N  $\text{ha}^{-1}$  incl. N-opname door het onkruid). De bovengrondse N-opname varieerde op de derde locatie (na zomergerst & ingezaaid op 29 juli - geoogst op 25 oktober [12.5 weken]) van 67 tot 130 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (Rühlemann & Schmidtke, 2016).

Op 26 juli 2017 werden in Beitem 5 verschillende mengsels van tussenvanggewassen gezaaid en werd de bovengrondse N-opname op 19 september (7.9 weken) bepaald. De bovengrondse N-opname bedroeg  $123 \pm 29$  kg N  $\text{ha}^{-1}$  (variërend tussen 80 en 145 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ). In alle mengsels was er klaver of klaver en wikke ingezaaid wat de hoge N-opname mee verklaard (Sobry & Beeckman, 2017). Het positief effect van zowel het combineren van tussenvanggewassen als N-fixatie op de N-opname wordt bevestigd door onderzoek naar de meest geschikte (combinatie van) tussenvanggewassen in Noord Carolina (warm zeeklimaat) (zaai op 21 juni 1995 of 3 juli 1996 en oogst op 22 augustus 1995 of 5 september 1996 [8.9 of 9.1 weken]). De gemiddelde bovengrondse N-opname van 9 niet-N-fixerende tussenvanggewassen was  $57 \pm 18$  kg N  $\text{ha}^{-1}$  (variërend tussen 35 en 88 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ). De gemiddelde bovengrondse N-opname van 4 N-fixerende tussenvanggewassen was  $76 \pm 30$  kg N  $\text{ha}^{-1}$  (variërend tussen 32 en 97 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ). Vijf verschillende combinaties van tussenvanggewassen waarvan 1 N-fixeerder resulteerde in de hoogste gemiddelde N-opname nl.  $82 \pm 58$  kg N  $\text{ha}^{-1}$  (Creamer & Baldwin, 2000).

Op basis van bovenstaande werden de N-opnames door een tussenvanggewas dat minstens 2 maanden aangehouden wordt in functie van de inzaaidatum ingeschat. De verlaagde reducties bij een tussenvanggewas voor niet-nitraatgevoelige en nitraatgevoelige hoofdteelten worden respectievelijk in Tabel 10 en Tabel 11 voorgesteld. Aangezien de N die door het tussenvanggewas opgenomen werd geleidelijk ter beschikking van de volgteelt granen komt, werd enkel de N-opname door het tussenvanggewas in de evaluatie van de verlaagde reductie opgenomen. Het effect van de volgteelt na het tussenvanggewas op de  $\text{NO}_3^-$ -uitloging zal beperkt zijn omwille van de late inzaai van de volgteelt.

Om deze landbouwpraktijk verder te onderbouwen is er nood aan onderzoek over de link tussen de groeiduur en de N-opname van het tussenvanggewas in functie van het zaaitijdstip. Daarnaast moeten de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in de sperperiode en eventueel in de winterperiode gemeten worden om de snelheid van de N-vrijstelling uit het tussenvanggewas t.o.v. de N-opname van de volgteelt te kunnen onderzoeken.

Tabel 10: Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van het inzaaitijdstip van het tussenvanggewas na een niet-nitraatgevoelige teelt

Tussenvanggewas (minimum 2 maanden)						
Periode van inzaai	Voor 15 juli	16 - 31 juli	1 - 15 aug	16 - 31 aug	1 - 15 sep	16 - 30 sep
N-opname (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	60 - 100	50 - 80	40 - 65	30 - 55	25 - 45	15 - 40
Granen						
Inzaai van de volgteelt granen		1 - 15 okt	16 - 31 okt	1 - 15 nov	Na 15 nov	
Beperking in functie van het gebiedstype (%)						
- Gebiedstype 1		0	0	0	0	
- Gebiedstype 2		0	0	0	0	
- Gebiedstype 3		0	-5	-10	-10	

Tabel 11: Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van het inzaaitijdstip van het tussenvanggewas na een nitraatgevoelige teelt

Tussenvanggewas (minimum 2 maanden)						
Periode inzaai	Voor 15 juli	16 - 31 juli	1 - 15 aug	16 - 31 aug	1 - 15 sep	16 - 30 sep
N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> )	60 - 100	50 - 80	40 - 65	30 - 55	25 - 45	15 - 40
Granen						
Inzaai van de volgteelt granen		1 - 15 okt	16 - 31 okt	1 - 15 nov	Na 15 nov	
Beperking in functie van het gebiedstype (%)						
- Gebiedstype 1		0	0	0	0	
- Gebiedstype 2		-5	-10	-15	-15	
- Gebiedstype 3		-15	-20	-25	-25	

### Inzaai van onbeteelde stroken

De oogstgangen en keereinden van sommige groentepercelen en de zwartstroken in de fruit- en sierteelt worden niet beplant en dienen niet bemest te worden. De inzaai van gras in onbeteelde stroken zorgt voor een betere draagkracht, minder onkruiddruk, properder werken en een lager NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu. In 2020 werd op 2 bloemkoolpercelen het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu in de oogstgangen gemeten bij de inzaai van gras en in november. In het eerste perceel daalde het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu van 173 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> (uitgedrukt per ha) op 5 augustus tot 61 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> op 3 november (= een daling van 112 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>). Op het tweede perceel nam het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu af met 116 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> (= 131 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> op 11 juni - 15 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> op 3 november). Rekening houdend met een N-vrijstelling via mineralisatie van 60 kg N ha<sup>-1</sup> neemt het gras tot 175 kg N ha<sup>-1</sup> op in de oogstgangen en kopakkers die in een bloemkoolperceel 15 tot 20% van de oppervlakte omvatten (Catteeuw, 2023). De N-opname door gras in de onbeteelde stroken is vergelijkbaar met de N-opname van 143 - 169 kg N ha<sup>-1</sup> van een bemest vanggewas raaigras ingezaaid na een hoofdteelt eind juli (Tabel 2) (Ninane *et al.*, 1995). In een driejarige proef met mengsels van grasklaver, van rogge + winterwikke + wintererwt en van rogge + wintererwt in pitfruit werd 90 - 150 kg ha<sup>-1</sup> uit de onbeteelde strook verwijderd en op de zwartstrook als maaimeststof gebruikt (Gomand & Willekens, 2022).

De lagere reductie voor de inzaai van een onbeteelde strook, rekening houdend met minimumareaal van 15% (cfr. equivalente maatregel), wordt in Tabel 12 voorgesteld.

Tabel 12: Beperking van de bemestingsnormen (in %) bij de inzaai van onbeteelde stroken van minimaal 15% van de oppervlakte van het perceel in functie van de voorafgaande teelt

Hoofdteelt	Niet-nitraatgevoelige teelt	Nitraatgevoelige teelt
N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> )	15 - 26*	15 - 26
Beperking in functie van het gebiedstype (%)		
- Gebiedstype 1	0	0
- Gebiedstype 2	0	-15
- Gebiedstype 3	-10	-25

\*: 15 - 26 kg N ha<sup>-1</sup> op 15% van het areaal komt overeen met een N-opname van 100 - 170 kg N ha<sup>-1</sup> op 100% van het areaal



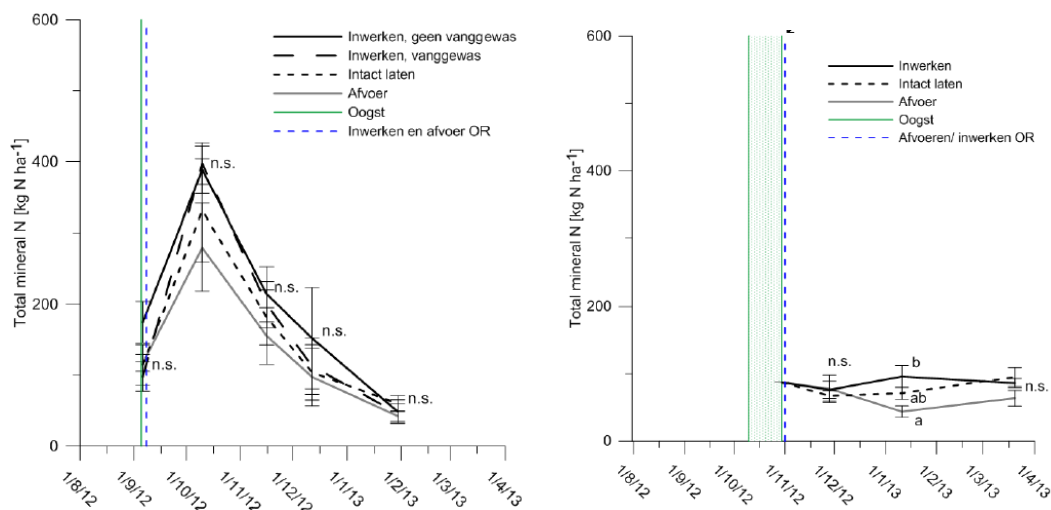
## 3.2 BEHEER VAN OOGSTRESTEN

### Afvoer van oogstresten

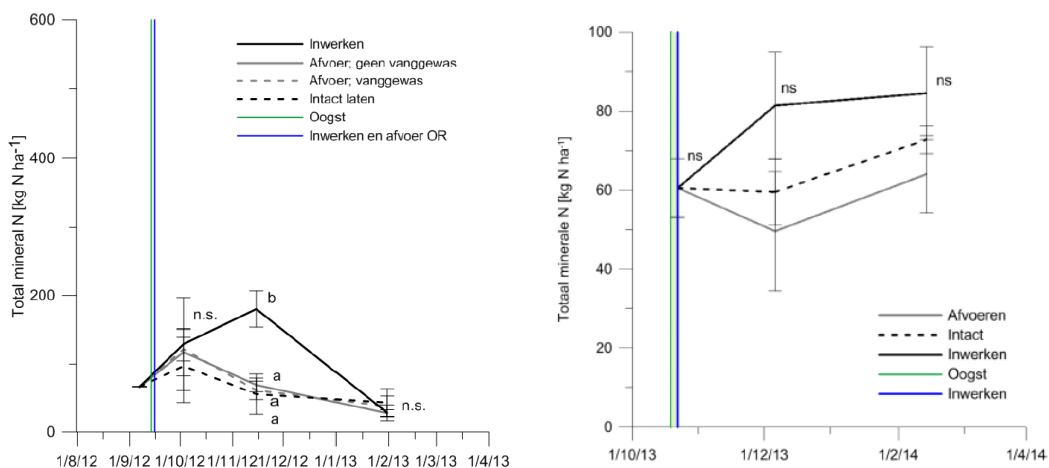
Een aantal teelten, zoals bieten en een aantal groenten, laten N-rijke oogstresten achter. Ondanks het feit dat de temperatuur een belangrijke invloed op de N-mineralisatie heeft, kan de N-mineralisatie van gemakkelijk afbreekbare N-rijke oogstresten bij lagere temperaturen nog belangrijk zijn (De Neve *et al.*, 1996). In de zomer en herfst komt de eerste weken na inwerking 60 tot 80% van de N aanwezig in N-rijke oogstresten vrij. De vrijgestelde N kan door uitloging in het grond- en oppervlaktewater terecht komen (De Neve & Hofman, 1996; De Neve & Hofman, 2002; De Neve, 2017) of denitrificeren. In de literatuur worden denitrificatiecijfers vermeld die tussen 10 en 45% van de N-inhoud van de oogstresten schommelen (Destain *et al.*, 1990; Olsson & Bramstorp, 1994; de Ruijter & Smit, 2007; De Waele *et al.*, 2017). Een aangepast beheer van oogstresten t.o.v. het inwerken na de oogst kan zodoende een positief effect op de waterkwaliteit hebben.

Theoretisch verlaagt het afvoeren van N-rijke oogstresten zowel het risico op  $\text{NO}_3^-$ -uitloging tijdens de winter als de mogelijkheid tot het optreden van denitrificatieverliezen (Velthof & Kuikman, 2000; Zwart *et al.*, 2004; Nawara *et al.*, 2021). De bedoeling van het afvoeren van oogstresten is dat de oogstresten van het perceel verwijderd worden vooraleer er sprake is van de afbraak van het achtergebleven organisch materiaal.

Er zijn een beperkt aantal proefveldresultaten over het effect van het afvoeren van oogstresten op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu en de waterkwaliteit. Door Agneessens *et al.* (2014b) werd er in 2012 - 2013 onderzoek gedaan naar het effect van het beheer van oogstresten bij 3 witte koolpercelen, 6 bloemkoolpercelen, 1 preiperceel en 1 bleekselderperceel. De afvoer van de oogstresten resulteerde in lagere minerale N ( $\text{N}_{\text{min}}$ )-gehalten ( $\text{NO}_3^-$  + ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )), en aldus lagere risico's op N-verliezen tijdens de winter t.o.v. het inwerken van de oogstresten (Figuur 6 en Figuur 7). Door de grote variabiliteit was het verschil nochtans vaak niet significant (Agneessens *et al.*, 2014b).



Figuur 6: Gemiddeld mineraal N gehalte ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) met standaardafwijking (4 herhalingen) in de 0 - 90 cm bodemlaag van een proefveld bloemkool bestemd voor de versmarkt te Puurs (links) en voor de industrie te Ardooe (rechts). Het groen gearceerde gebied duidt de oogstperiode aan, de blauwe lijn het tijdstip van afvoeren, intact laten of inwerken van de oogstresten (ns= geen significante verschillen; OR= oogstrest) (Bron: Agneessens *et al.*, 2014b)



Figuur 7: Gemiddeld mineraal N gehalte ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) met standaardafwijking (4 herhalingen) in de 0 - 90 cm bodemlaag van een proefveld sluitkool te Meulebeke (links) en een proefveld selder te Staden (rechts). Het groen gearceerde gebied duidt de oogstperiode aan, de blauwe lijn het tijdstip van afvoeren, intact laten of inwerken van de oogstresten (ns= geen significante verschillen; OR= oogstrest) (Bron: Agneessens *et al.*, 2014b)

Op 2 witte koolpercelen werd het rendement van het afvoeren van de oogstresten met een klepelmaaier met opvangbak onderzocht. Op organische stofbasis was het rendement 62% en 67%. Het laagste rendement werd op het natste perceel gemeten (Agneessens *et al.*, 2014b). Een test met een aangepaste bietenontkopper verwijderde 46 ton biomassa  $\text{ha}^{-1}$  van de oogstresten van industriële bloemkool wat hoog is t.o.v. gemiddelde oogstresten begrepen tussen 30 en 50 ton biomassa  $\text{ha}^{-1}$  (Vervisch, 2014; De Dobbelaere *et al.*, 2015). Het afvoeren van oogstresten van een koolteelt bestemd voor de versmarkt is, omwille van de gespreide oogst, zeer moeilijk. Het afvoeren van oogstresten van prei en selder gebeurt reeds of kan plaatsvinden mits een kleine aanpassing van de oogstmachines (Agneessens *et al.*, 2014b). Naast de noodzaak tot het aanpassen van oogstmachines om de oogstresten te kunnen afvoeren, zijn de berijdbaarheid van het perceel in het najaar, de hoeveelheid meegevoerde aarde, het verhoogde risico op structuurschade van de bodem en valorisatiemogelijkheden van de oogstresten belangrijke praktische belemmeringen voor de afvoer van oogstresten (Agneessens *et al.*, 2014b; De Dobbelaere *et al.*, 2015; Nawara *et al.*, 2021).

Voor bieten zijn er speciale oogstmachines beschikbaar waarbij zeer weinig bladresten op het perceel achterblijven, maar het verzamelen van de bietenbladeren zorgt voor zwaardere machines of extra transport op het perceel bij de oogst en verhoogt het risico op structuurschade van de bodem (de Wolf, 2019).

Uit voorgaande blijkt dat de praktische haalbaarheid van het afvoeren van oogstresten nog verder onderzocht dient te worden. Echter omwille van het potentieel van het afvoeren van oogstresten op de waterkwaliteit werd het effect ervan begroot. Bij het berekenen van het effect van het afvoeren van oogstresten moet een inschatting gemaakt worden van de hoeveelheid N die uit de oogstresten in het najaar in het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu terecht komt (Tabel 13). Rekening houdend met een N-vrijstelling van 80% uit de oogstresten bij gunstige weersomstandigheden in de zomer (De Neve & Hofman, 1996) en 30% denitrificatie geraakt 50% van de N-inhoud van de oogstresten in het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu. Bij het verwijderen van 80% van de oogstresten, wordt dit tot 10% beperkt. Het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu daalt met 40% van de N-inhoud van de oogstresten. Op te merken valt dat er bij een hoge N-bemesting niet alleen het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu bij de oogst stijgt, maar er ook een toename van de N-inhoud van de oogstresten is.

Bij een late oogst of slecht weer zijn de omstandigheden minder gunstig voor de N-vrijstelling uit de oogstresten. Bij minder gunstige omstandigheden is de N-vrijstelling voor de winter tot 60% beperkt (De Neve & Hofman, 1996). Rekening houdend met een N-vrijstelling van 60% uit de oogstresten en

25% denitrificatie geraakt 35% van de N-inhoud van de oogstresten in het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu. Bij het verwijderen van 80% van de oogstresten, wordt dit tot 7% beperkt. Het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu daalt met 28% van de N-inhoud van de oogstresten door de afvoer van oogstresten.

Tabel 13: Berekening van het effect van de afvoer van oogstresten bij gunstige en minder gunstige omstandigheden

Omstandigheden		Gunstig / Zomer	Minder gunstig / Herfst
N-vrijstelling (%)		80	60
Denitrificatie (%)		30	25
Afvoer van de oogstresten (%)		80	80
Effect van 1 kg N ha <sup>-1</sup> in oogstrest op het residu (kg N ha <sup>-1</sup> )	Zonder afvoer (= 100% oogstrest)	0.80 - 0.30 = 0.50	0.60 - 0.25 = 0.35
	80% afvoer (= 20% oogstrest)	0.20 * (0.80 - 0.30) = 0.10	0.20 * (0.60 - 0.25) = 0.07
	Effect afvoer	0.50 - 0.10 = 0.40	0.35 - 0.07 = 0.28

Op basis van het berekende effect van de afvoer van 80% van de oogstresten op het residu bij gunstige omstandigheden, nl. een daling van 40% van de N-inhoud van de oogstresten, werd het effect voor 4 groepen van oogstresten (> 150, 100 - 150, 50 - 100 en < 50 kg N ha<sup>-1</sup>) zoals gebruikt bij de equivalente maatregel 'Afvoer oogstresten' berekend door de N-inhoud van de oogstresten met 0.4 te vermenigvuldigen (Tabel 14). Voor ongunstige omstandigheden werd de daling van het residu door de afvoer van oogstresten berekend door de N-inhoud met 0.28 te vermenigvuldigen (Tabel 15).

Tabel 14: Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van de voorafgaande hoofdteelt voor de afvoer van oogstresten in gunstige omstandigheden

Hoofdteelt	Niet-nitraatgevoelige teelt				Nitraatgevoelige teelt			
	> 150	100 - 150	50 - 100	< 50	> 150	100 - 150	50 - 100	< 50
N-inhoud in oogstrest (kg N ha <sup>-1</sup> )								
Gemiddeld minder N in het residu (kg N ha <sup>-1</sup> )	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20
Beperking in functie van het gebiedstype (%)								
- Gebiedstype 1	0	0	0	0	0	0	0	-5
- Gebiedstype 2	0	0	0	-5	-5	-10	-15	-20
- Gebiedstype 3	0	-5	-10	-15	-15	-20	-25	-30

Tabel 15: Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van de voorafgaande hoofdteelt voor de afvoer van oogstresten in minder gunstige omstandigheden

Hoofdteelt	Niet-nitraatgevoelige teelt				Nitraatgevoelige teelt			
	> 150	100 - 150	50 - 100	< 50	> 150	100 - 150	50 - 100	< 50
N-inhoud in oogstrest (kg N ha <sup>-1</sup> )								
Gemiddeld minder N in het residu (kg N ha <sup>-1</sup> )	40 - 55	30 - 40	15 - 30	0 - 15	40 - 55	30 - 40	15 - 30	0 - 15
Beperking in functie van het gebiedstype (%)								
- Gebiedstype 1	0	0	0	0	0	0	-5	-5
- Gebiedstype 2	0	0	-5	-10	-10	-15	-20	-20
- Gebiedstype 3	-5	-10	-15	-20	-20	-25	-30	-30

Op basis van de N-inhoud van de oogstresten kunnen pastinaak en wortelpeterselie, die niet in de lijst van equivalente maatregelen opgenomen waren, in de groep 50 - 100 kg N ha<sup>-1</sup> ingedeeld worden (Feller *et al.*, 2011).

### Intact laten van oogstresten

Een alternatief is het niet-inwerken of intact laten van de oogstresten. Het effect van het intact laten van de oogstresten hangt af van de oogstmethode.

Indien het oogsten van de teelt op zodanige wijze gebeurt dat het wortelstelsel en de bovengrondse oogstresten onbeschadigd blijven, kunnen deze nog verder N opnemen (Figuur 8). Het N<sub>min</sub>-gehalte gemeten in de bodem door Agneessens *et al.* (2014b) was vergelijkbaar voor het afvoeren en intact laten van oogstresten van sluitkool en bloemkool bestemd voor de industrie en lager dan bij het inwerken van de oogstresten (Figuur 6 en Figuur 7). Het feit dat de extra N-opname niet resulteert in lagere N<sub>min</sub>-gehalten in de bodem dan bij de afvoer van de oogstresten is mogelijk te verklaren door beperkte bladval na de oogst. Ook bij een demoveld over het onaangeroerd laten van de oogstresten van bloemkool in 2015 werden er veel lagere N<sub>min</sub>-gehalten in de bodem gemeten bij het intact laten dan bij het inwerken van de oogstresten (B3W, 2022b). In Denemarken werd een daling van het NO<sub>3</sub>-N-residu met 39% vastgesteld bij niet-inwerken t.o.v. het inwerken van de oogstresten van bloemkool (Thorup-Kristensen *et al.*, 2012).

Het intact laten van de oogstresten vereist geen bijkomende kosten of tijdsinvestering t.o.v. het onmiddellijk inwerken van de oogstresten. De gevolgen voor ziekteverspreiding en mogelijke omgevingshinder van het intact laten van oogstresten van groenten is echter nog weinig onderzocht (Agneessens *et al.*, 2014b).



Figuur 8: Opgeschoten witte en rode kolen (Bron: B3W, 2022a)

Dit positief effect is in tegenstelling tot de bloemkoolteelt voor de versmarkt waar de oogstresten die niet-ingewerkt en niet-afgevoerd worden, mineraliseren en het N<sub>min</sub>-gehalte in de bodem, en aldus risico op N-verliezen tijdens de winter verhogen t.o.v. het afvoeren van de oogstresten. Bij het oogsten voor de versmarkt wordt de volledige kool gesneden waardoor op het einde van de oogst al een deel van de oogstrest in ontbinding is, terwijl bij een teelt bloemkool voor de industrie bestemd enkel de

bol uit de plant wordt gesneden, waardoor op het einde van de oogst de bladeren nog onbeschadigd op het veld staan. Ook bij bleekselder was er omwille van de oogstmethode geen positief effect van het intact laten van de oogstresten. Bij het oogsten van de bleekselder worden de bladeren van de stengel gesneden waarna deze achter de oogstmachine op het veld vallen. Deze oogstresten zijn zodoende niet in staat om verder N op te nemen. De proefopzet werd tevens na een teelt prei aangelegd. Het intact laten van de oogstresten betrof het terugbrengen van de afgetopte preibladeren naar het veld. Deze oogstresten konden dus niet verder N opnemen en de  $N_{\min}$ -gehalten in de bodem waren dan ook lager na volledige afvoer van de oogstresten (Agneessens *et al.*, 2014b).

In Duitsland was bij spinazie het effect van het niet-inwerken van de oogstresten afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens de winter. In winters met een late vorst was het effect positief t.o.v. het inwerken van de oogstresten door de hergroei en de N-opname door spinazie. In winters met vroege vorst waren de verliezen hoger dan bij het inwerken van de oogstresten en het inzaaien van een vanggewas (Frerichs *et al.*, 2022a).

Omwille van hetzelfde effect van het afvoeren en het intact laten van oogstresten van sluitkolen en bloemkool voor industrie op het  $N_{\min}$ -gehalte in de bodem kan hetzelfde terugwineffect voor beide gebruikt worden (Tabel 14 en Tabel 15). Voor andere situaties zijn er momenteel geen proefvelddata die een positief effect t.o.v. het inwerken van oogstresten onderbouwen.

### Stro niet afvoeren

Stro bevat heel wat OM en nutriënten die bij de oogst afgevoerd worden. Het niet afvoeren van het stro heeft door de OM-aanbreng een positief effect op de bodemkwaliteit. Door stro in te werken blijven ook de nutriënten op het perceel. Het stro legt bij het inwerken ook tijdelijk minerale N vast (= immobilisatie). Door de hoge C/N-verhouding in het stro neemt het bodemleven immers minerale N uit de bodem op om de stroresten af te breken en verlaagt het  $NO_3^-$ -N-residu (Nicholson *et al.*, 1997; Silgram & Chambers, 2002; Ellenkamp, 2017; Vanrespaille *et al.*, 2022). De vuistregel om stro en stoppel te verteren is 7 kg N per ton stro. Bij het achterlaten van 4 ton stro  $ha^{-1}$  is dus 28 kg N  $ha^{-1}$  nodig (Beaudoin *et al.*, 2005; Ellenkamp, 2017; Vanrespaille *et al.*, 2022).

De voorgestelde verlaagde reductie voor het niet afvoeren van stro wordt in Tabel 16 gegeven.

Tabel 16: Beperking van de bemestingsnormen (in %) voor het niet afvoeren van stro

Hoofddeelt	Granen
Gemiddeld minder N in het residu ( $kg\ N\ ha^{-1}$ )	28
Begrazing	
Beperking in functie van het gebiedstype (%)	
- Gebiedstype 1	0
- Gebiedstype 2	0
- Gebiedstype 3	-10

### 3.3 BEMESTING

#### Stikstofbemestingsadviezen

Een correct bemestingsadvies is een sleutelement voor een duurzame bemesting. Via een gefundeerde, perceelsspecifieke bemesting kan zowel de opbrengst als het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu bij de oogst geoptimaliseerd worden.

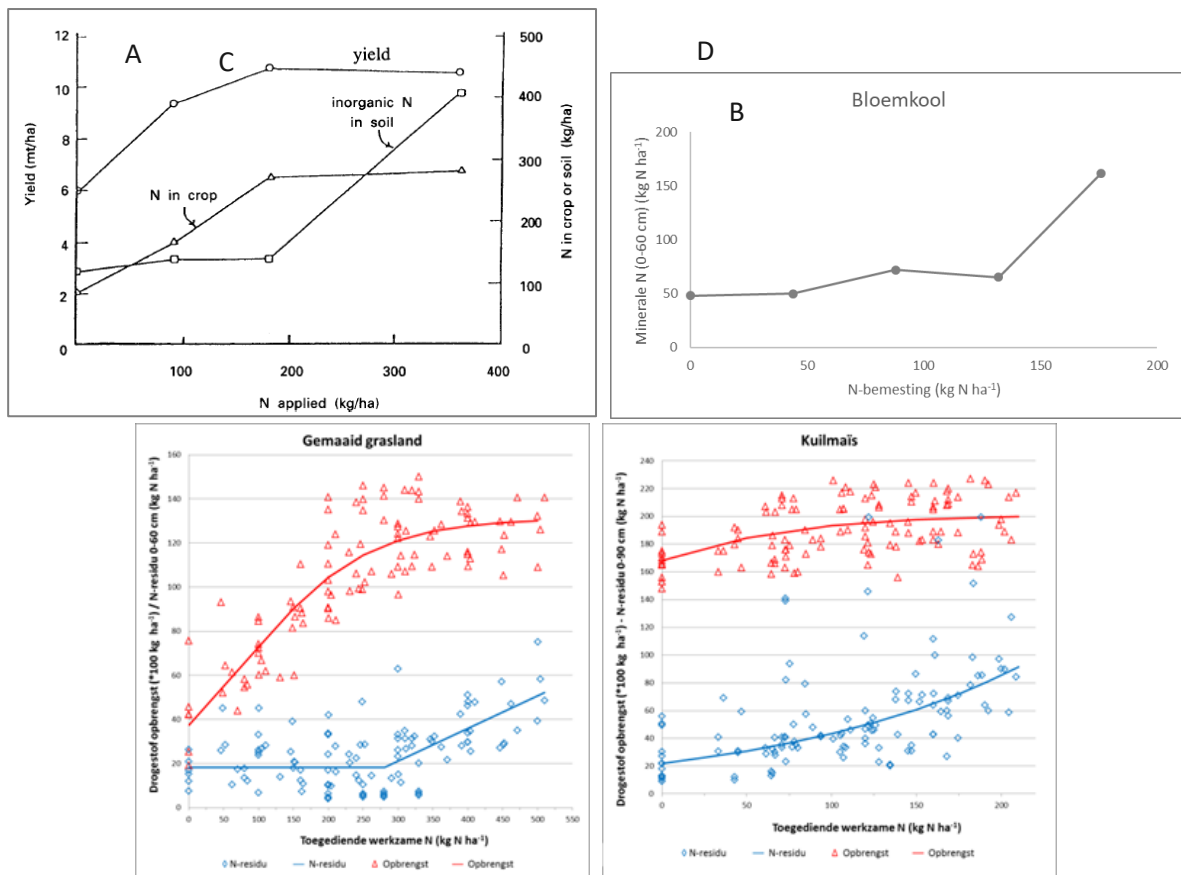
De landbouwkundige  $\text{NO}_3^-$ -N-residudrempelwaarden voor een specifieke teelt (0 - 90 cm) zijn de latente  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's tot bewortelingsdiepte plus een gemiddeld gemeten waarde voor het onbewortelde deel tot 90 cm. Het latent  $\text{NO}_3^-$ -N-residu is de minimale hoeveelheid anorganische N die bij normale weersomstandigheden in het bodemprofiel, in functie van de bewortelingsdiepte van de teelt, aanwezig moet zijn voor een optimale opbrengst op het ogenblik van de maximale N-inhoud van de teelt. In het bereik van lage naar optimale N-bemestingshoeveelheden en teeltbeschikbare N, hebben de meeste teelten bij de oogst een vrij constant  $\text{NO}_3^-$ -N-residu in de bodem dat nodig is om een optimale groei te garanderen. Bij een hogere N-bemestingsdosis of teeltbeschikbare N is er een breekpunt en stijgt het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu voor de meeste teelten steil (Figuur 9 - Tabel 17) (Broadbent & Carlton, 1978; Hofman *et al.*, 1981; Neeteson & Whitmore, 1997). De bemestings- of teeltbeschikbare N-hoeveelheid aan het breekpunt verschilt in vele gevallen weinig van de bemestings- of teeltbeschikbare N-hoeveelheid om 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst te bekomen (D'Haene & Hofman, 2022). In een aantal gevallen wordt er geen breekpunt voor het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu vastgesteld en dient een compromis tussen opbrengsten en nog aanvaardbare  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's gevonden te worden (Figuur 9).

Bij het toedienen van de N-bemesting is het belangrijk dat er niet enkel rekening wordt gehouden met de landbouwkundige  $\text{NO}_3^-$ -N-residudrempelwaarden maar ook met de N-vraag en het perceelsspecifieke N-aanbod. De N-vraag is niet alleen afhankelijk van de teelt, maar ze kan binnen een teelt ook van de variëteit of de bestemming (vb. versmarkt versus industriegroenten) afhangen. Daarnaast moet de juiste dosis ook afgestemd worden op de N-voorraad in de bodem en de verwachte N-vrijstelling via mineralisatie uit BOS, OM-toedieningen en oogstresten van de voorgaande teelt en vanggewassen. De variatie in de N-mineralisatie tussen landbouwpercelen is immers groot. Zowel de bodemeigenschappen, de teelt(rotatie), de genomen beheermaatregelen als het weer kunnen de N-mineralisatiesnelheid beïnvloeden (D'Haene & Hofman, 2020 & 2022). Het nemen van een bodemstaal en een bijhorend N-bemestingsadvies houden hiermee rekening en verhogen de N-efficiëntie t.o.v. het uniform toepassen van de normen van GT0.

Tabel 17: Landbouwkundig nitraatstikstofresidudrempelwaarden ( $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$ ) bij de oogst (Bron: D'Haene & Hofman, 2022)

	Landbouwkundig drempelwaarden
Gras	29
Maïs	55-61
Granen	32-33
Bieten	13
Aardappelen	88
Prei	52
Bloemkool	47
Spruitkool	10
Lichte alternatieve sla	45
Zware alternatieve sla	46
Spinazie	57
Wortelen	56-57





Figuur 9: A: Opbrengst ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en stikstof (N)-opname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) door geïrrigeerde korrelmaïs en minerale N in de bodem ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) bij de oogst in functie van de N-bemestingsdosis ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) (Californië - 1975) (Bron: Broadbent & Carlton, 1978)  
 B: Minerale N in de bodem (0 - 60 cm) ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) bij de oogst van bloemkool in functie van de N-bemestingsdosis ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) (Nederland) (Bron: Neeteson & Whitmore, 1997)  
 C: Drogestofopbrengst van gemaaid grasland ( $*100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en gesegmenteerde lineaire regressie van de nitraat-N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte (0 - 60 cm) ( $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) in functie van de toegediende werkzame N-hoeveelheid ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) (Bron: D'Haene et al., 2014)  
 D: Versopbrengst van kuilmaïs ( $*100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en exponentiële regressie van de  $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheid tot bewortelingsdiepte (0 - 90 cm) ( $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) in functie van de hoeveelheid toegediende werkzame N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) (Bron: D'Haene et al., 2014)

Dat het optimaliseren van de N-bemesting potentieel heeft om de N-efficiëntie te verhogen blijkt uit de vergelijking van het gemeten gemiddelde  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu in de sperperiode van 2013 - 2022 en het berekende gemiddelde  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu bij het optimaliseren van de N-bemesting.

Het 10-jaar gemiddelde gemeten  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu (2013 - 2022) voor alle teelten was  $71 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ . Voor de niet-nitratgevoelige<sup>4</sup> teelten grasland, wintertarwe en suikerbieten was het gemiddelde gemeten  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu  $51 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ . Voor de andere, hoofdzakelijk nitratgevoelige, teelten was het gemiddelde  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu  $93 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  (Anonymus, 2023d).

D'Haene et al. (2022) berekenden gemiddelde  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's bij het optimaliseren van de bemesting. Hiervoor werden de  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's voor het breekpunt gebruikt, indien beschikbaar. Voor de andere teeltgroepen werd de 33 percentiel van de  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's per teeltgroep, gemeten in 2014 - 2016 (met normale weersomstandigheden), gebruikt als de minimale  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's bij het optimaliseren van de bemesting. Het gewogen gemiddelde berekende  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu was  $38 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  voor alle

<sup>4</sup> Deze opdeling gebeurde op basis van de beschikbare  $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's.



teelten. Voor grasland, wintertarwe en suikerbieten enerzijds en de andere teelten anderzijds was het gemiddelde berekende  $\text{NO}_3^-$ -N-residu respectievelijk 29 en 48  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  (D'Haene *et al.*, 2022). Door het optimaliseren van de N-bemesting kan bij niet-nitraatgevoelige en nitraatgevoelige teelten het gemiddelde  $\text{NO}_3^-$ -N-residu respectievelijk met 22 (= 51 - 29) en 45 (= 93 - 48)  $\text{kg NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  dalen. Op basis van deze berekende daling wordt een beperking van de reductie door het optimaliseren van de bemesting in Tabel 18 voorgesteld. Vooral bij nitraatgevoelige teelten kan een belangrijke winst geboekt worden.

Tabel 18: Beperking van de bemestingsnormen (in %) in functie van de voorafgaande hoofdteelt bij stikstofbemestingsadviezen

Hoofdteelt	Niet-nitraatgevoelige teelt	Nitraatgevoelige teelt
Gemiddeld minder N in het residu ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )	22	45
Beperking in functie van het gebiedstype (%)		
- Gebiedstype 1	0	0
- Gebiedstype 2	-5	-10
- Gebiedstype 3	-15	-20

Het belang van kwalitatieve bemestingsadviezen wordt duidelijk onderstreept door het rapport van De Neve *et al.* (2022). Een pijnpunt in de huidige bemestingsadvisering is de grote verschillen in de adviezen gegeven door verschillende adviesinstanties. Daarnaast vereist een kwalitatief bemestingsadvies het geven van kwalitatieve data omtrent het perceel en de geplande teelt. Dit is in eerste instantie de verantwoordelijkheid van de landbouwer, maar gebeurt door tijdsgebrek vaak niet voldoende. Dit resulteert in 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. Het is belangrijk dat de verschillen in de N-adviezen tussen adviesinstanties verkleind worden en de kwaliteit van de adviezen verzekerd is (De Neve *et al.*, 2022; Anonymus, 2023c). Om te garanderen dat de adviezen effectief een positief effect op de waterkwaliteit hebben, kan een resultaatsverbintenis -nl. de landbouwkundige  $\text{NO}_3^-$ -N-residudrempelwaarden (Tabel 17) moeten gerealiseerd worden voor het verkrijgen van de beperking van de reductie- overwogen worden.

Aangezien het, zowel praktisch als economisch gezien, niet mogelijk is om in het voorjaar de N-voorraad in de bodem van alle percelen te bepalen, is het een optie om per bedrijf beredeneerd stalen te nemen. De N-voorraad in de bodem in het voorjaar wordt hoofdzakelijk bepaald door het residu in het najaar en de weersomstandigheden tijdens de winter en kan tussen jaren enkele tientallen kilo's per ha variëren (Maes *et al.*, 2012; Tits *et al.*, 2015 & 2020). Indien de bodemkwaliteit en de voorgeschiedenis van de percelen grotendeels vergelijkbaar zijn, met name vooral de voorteelt en de OM-toediening, kan het volstaan om op één of twee percelen voor een bepaalde teelt een bodemstaalname met bijhorend N-bemestingsadvies te laten uitvoeren. Dit N-bemestingsadvies kan ook gebruikt worden op de andere percelen met hetzelfde gewas en met dezelfde voorgeschiedenis binnen het bedrijf (D'Haene & Hofman, 2022).

## Begeleiding

De Neve *et al.* (2022) besloten dat er veel meer ingezet moet worden op begeleiding van landbouwers bij het interpreteren, uitvoeren en opvolgen van N-bemestingsadviezen. Het is wellicht veel efficiënter om een eenvoudig N-bemestingsadvies te koppelen aan begeleiding, dan om een zeer gedetailleerd N-bemestingsadvies af te leveren waar geen begeleiding bij voorzien is (De Neve *et al.*, 2022).

De begeleiding van de landbouwers kan ruimer zijn dan het verhogen van kennis rond N-bemestingsadviezen en kan op duurzaam nutriëntenbeheer, bodembeheer, teeltrotaties, etc. gericht zijn. Het is

niet mogelijk om het extra effect van begeleiding t.a.v. N-bemestingsadviezen in te schatten, maar er wordt verwacht dat het effect op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu vooral aan het opvolgen van N-bemestingsadviezen gelinkt zal zijn.

### Gefractioneerd bemesting

Een koude en natte periode bij het begin van de teelt kan de groei vertragen en zo de N-opname door de teelt uitstellen. In deze periode van uitgestelde N-opname kan overvloedige neerslag de bemesting van bij het planten deels naar diepere bodemlagen doen migreren die voor de teelt moeilijker bereikbaar kan zijn. Via gefractioneerde bemesting wordt de N-bemesting bij de start van de teelt verlaagd en wordt eventueel tijdens de teelt bijbemest (Vos, 1999; Vandermoere *et al.*, 2022; Frerichs *et al.*, 2022b). De N-bemesting kan immers het efficiëntst ingezet worden door het tijdstip van het N-aanbod en de N-vraag op elkaar af te stemmen. Door het toepassen van een (eerder beperkte) basisbemesting, gevolgd door een tussentijdse (bodem)monsternamen - minimaal 4 weken na toedienen van de basisbemesting- gekoppeld aan een N-bemestingsadvies, wordt de N-mineralisatie uit BOS, de N-werking van recent toegediende organische mest en de weersomstandigheden al gedeeltelijk meegenomen. Indien doorheen het teeltseizoen opgemerkt wordt dat er een verminderde biomassa-productie is of dat er vooruitzichten zijn voor een lagere biomassa-productie (vb. wanneer aardappelen al in bloei staan voor het sluiten van de rijen), dan is er een grote kans dat de opbrengst niet 100% zal zijn en kan een gereduceerde bijbemesting gepast zijn. Een tweede bemesting (de bijbemesting) moet dus niet enkel aangepast zijn aan het gewas (N-vraag) maar ook aan de omstandigheden (vb. droogte) en het verwachte rendement, en is enkel zinvol wanneer de basisbemesting het N-advies niet voor 100% invult. In het kader van de klimaatsverandering, dat in Vlaanderen tot nattere winters en warmere zomers met meer en intensere neerslagevents kan leiden, wordt gefractioneerde bemesting als een goede landbouwpraktijk beschouwd (Nawara *et al.*, 2021; D'Haene & Hofman, 2022).

Door de N-basisbemesting bij de start te verlagen wordt het risico van  $\text{NO}_3^-$ -uitloging door ongunstige weersomstandigheden beperkt, maar de totale N-bemestingshoeveelheid is niet noodzakelijk lager dan bij niet-gefractioneerde toediening bij normale weersomstandigheden. Om aan de totale N-vraag te voldoen moet dan de verlaagde N-bemestingshoeveelheid bij de start op een later tijdstip aangevuld worden (Frerichs *et al.*, 2022b).

Het fractioneren van de N-bemestingshoeveelheid gebeurt reeds bij granen, sommige groenten en grasland en wordt bij suikerbieten geadviseerd. Het fractioneren van de N-bemestingshoeveelheid is een potentiële maatregel bij een aantal andere gewassen zoals bv. aardappelen. Bij maïs geeft proefveldonderzoek wisselende resultaten (Nawara *et al.*, 2021).

Uit een analyse door de Bodemkundige Dient van België van percelen waar een tussentijds bodemstaal genomen werd (staalnamejaar 2019), was bij 66% van de stalen reeds voldoende minerale N aanwezig en moest er niet bijbemest worden na het uitvoeren van de basisbemesting. Mogelijke verklaringen zijn i. dat de basisbemesting te hoog was of ii. dat landbouwers toch onmiddellijk de basis- en bijbemesting in één beurt hadden gegeven. Een te hoge eerste N-gift maakt het wel onmogelijk om via fractionatie te corrigeren voor bv. de weersomstandigheden (Nawara *et al.*, 2021). Hieruit blijkt dat het belangrijk is dat het fractioneren van de N-bemesting met een N-bemestingsadvies gecombineerd wordt. Dit blijkt ook uit N-bemestingsproeven bij aardappelen. Het fractioneren van de N-bemesting zonder bodemstaalname en een aangepast advies bij de bijbemesting waarbij de tweede fractie voor 1 juli toegediend werd, resulteerde dit in een gemiddelde beperkte daling van  $11 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  van het residu bij de oogst t.o.v. een volledige toediening bij de start (11 demonstratieprojecten) (De Blauwer *et al.*, 2013; Vandermoere *et al.*, 2022).

De basisbemesting verlagen en bijbemesten op advies verhoogt de kansen op een goede opbrengst en een lager  $\text{NO}_3^-$ -N-residu t.o.v. volledige bemesting op basis van een advies voor het planten (Vandermoere *et al.*, 2022; Odeurs & Vandermoere, 2023). Fractionatie van de bemesting in een proef

in het droge jaar 2020 liet niet alleen toe om 30 kg N-bemesting ha<sup>-1</sup> uit te sparen zonder noemenswaardig in te boeten op de opbrengst, maar resulteerde in een daling van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu met 53 kg N ha<sup>-1</sup>. In het natte jaar 2021, bleek uit een gelijkaardige proef echter dat de totale N-bemesting op basis van een advies voor het planten en voor bijbemesting dezelfde was, maar dat het fractioneren leidde tot een 8% hogere bruto-opbrengst dan wanneer de volledige bemesting bij het planten werd toegediend. De verschillen in de gemeten NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's waren verwaarloosbaar klein (4 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> hoger dan bij toediening van de volledige N-bemesting bij het planten) (Vandermoere *et al.*, 2022). Voor andere teelten waar fractioneren van de bemesting toegepast of geadviseerd wordt, zijn de proefvelddata niet samengebracht om het gemiddelde effect van het fractioneren van de N-bemesting te begroten.

Op basis van de huidige informatie wordt ingeschat dat het effect van het fractioneren zonder advies bij de bijbemesting niet voldoende is om een verlaagde reductie van de norm voor te stellen. Het combineren van het fractioneren van de N-bemesting waarbij de basisbemesting verlaagd wordt en de bijbemesting gebeurt op basis van een bodemstaalname en advies wordt eenzelfde verlaagde reductie als voor een advies (Tabel 18) voorgesteld.

### Traagwerkende meststoffen

Een N-bemesting gedifferentieerd in de tijd kan naast fractionatie ook door de juiste meststofkeuze gerealiseerd worden. Traagwerkende meststoffen mikken op de geleidelijke N-vrijstelling. Aangezien alle N bij de start gegeven wordt en niet aan de groeiomstandigheden aangepast wordt, wordt voor het gebruik van traagwerkende meststoffen hetzelfde effect op het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu verwacht als fractionatie zonder een tussentijds advies.

Op basis van de huidige informatie wordt ingeschat dat het effect van traagwerkende meststoffen niet voldoende is om een verlaagde reductie van de norm te berekenen.

### Geplaatste bemesting

Bij rij- en bandbemesting is het van belang dat de meststof dicht bij de wortels van de planten komt te liggen en de jonge planten er al snel over kunnen beschikken, maar ook ver genoeg dat er geen zoutschade optreedt (D'Haene *et al.*, 2018a; Nawara *et al.*, 2021). Literatuuronderzoek door D'Haene *et al.* (2018a) gaf aan dat er N-efficiëntiewinsten (zij het meestal beperkt en vaak niet significant) geboekt kunnen worden bij een rij- of bandbemesting bij een aantal gewassen met een beperkte beworteling en een relatief grote tussenrij-afstand. Deze winsten zijn het hoogst bij (sub)optimale bemestingen en/of bodems met een lage bodemvruchtbaarheid. Bij scherpe maximale N-bemestingsnormen kan een N-bemesting in de rij een oplossing zijn om aan de desbetreffende wetgeving te voldoen (D'Haene *et al.*, 2018a & 2022).

Voor gewassen met een hoger latent residu, dit als gevolg van een beperkte worteldensiteit, een ondiepe beworteling en een vaak relatief hoge tussen rij-afstand, zoals aardappelen, kan een bemesting in de rij theoretisch de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's bij de oogst beperken. Indien men rekening houdt met een ietwat hogere N-efficiëntie en dus minder N zal toedienen bij rij- of bandbemesting t.o.v. een breedwerpige toepassing kunnen lagere NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's verwacht worden bij rij- of bandbemesting. In de praktijk is er nochtans geen duidelijk effect op het residu bij rijbemesting bij bv. aardappelen (Salomez *et al.*, 1995; Odeurs & Vandermoere, 2022). De NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's zijn bij eenzelfde bemesting soms hoger bij een rij- of bandbemesting t.o.v. een breedwerpige toepassing. Een mogelijke verklaring is dat de iets hogere N-efficiëntie vaak niet opweegt t.o.v. het beperken van de gasvormige verliezen bij rij- of bandbemesting (D'Haene *et al.*, 2018a). Wellicht ligt het grootste voordeel van rij- of bandbemesting in het vermijden van overlappingsen en het meemesten van aangrenzende waterlopen (D'Haene *et al.*, 2022; Odeurs & Vandermoere, 2022).

Omwille van het feit dat er bij de toepassing van rij- en bandbemesting geen significante verschillen in de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's gemeten worden, kan een verlaagde reductie van de normen niet onderbouwd worden.

### Emissiearme technieken en gebruik van ureaseremmers

Emissiearme technieken en het gebruik van een ureaseremmer kunnen toegepast worden om de ammoniakale ( $\text{NH}_3$ ) -verliezen na de toediening van ammonium- en ureumhoudende meststoffen te beperken en verhogen de N-efficiëntie. Bij het niet aanpassen van de N-bemestingshoeveelheid, kan het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu verhogen en zodoende kan een verlaagde reductie van de normen niet geadviseerd worden.

## 3.4 TEELT(ROTATIE)

### Gemaaid en begraasd grasland

Grasland is een niet-nitraatgevoelige teelt die gefractioneerd bemest wordt. In de sperperiode worden lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's gemeten (in 2013 - 2022 gemiddeld  $50 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  bij grasland t.o.v.  $71 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  voor alle teelten) (Anonymus, 2023d). Grasland heeft een laag latent residu (nl.  $18 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  tot bewortelingsdiepte) (Figuur 9) (D'Haene *et al.*, 2014) en landbouwkundige drempelwaarde (nl.  $29 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  in de 0 - 90 cm laag)<sup>5</sup>. De lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's bij (gemaaid) grasland zijn te verklaren door de hoge N-opname van grasland (tot maximaal gemiddeld ongeveer  $420 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en omdat gras tot laat in het najaar N kan opnemen (D'Haene *et al.*, 2014). In het najaar (van augustus tot november) wordt er bij gemaaid en begraasd grasland respectievelijk 70 tot  $130 \text{ kg N ha}^{-1}$  en 40 tot  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  opgenomen wat vergelijkbaar of hoger is dan een vroeg ingezaaid vanggewas (zie Bijlage 4). Bij een N-bemestingshoeveelheid van 385 en  $375 \text{ kg N ha}^{-1}$  (de norm voor gemaaid grasland op respectievelijk niet-zand- en zandbodems) is bij normale weersomstandigheden het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu in de 0 - 90 cm laag respectievelijk 43 en  $45 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  (D'Haene *et al.*, 2014). Een verlaging van de N-bemestingshoeveelheid van de norm tot aan de knik resulteert in een maximale verlaging van 14 -  $16 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ .

Onderzoek toont aan dat het onbeperkt laten begrazen van vee na 1 september in een verhoging van het  $\text{N}_{\text{min}}$ -residu van 10 tot  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  resulteert (zie Bijlage 4). Bij begraasde percelen kan het risico op  $\text{NO}_3^-$ -uitloging zodoende verlaagd worden door beperkte of geen begrazing in het najaar (Hofman *et al.*, 1998; De Vlieghe *et al.*, 2003a & b).

Op basis van de uitgewerkte methodiek in functie van de N-opname in het najaar en het effect op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu kunnen reducties voor een gemaaid en begraasd grasland (beweid tot 1 september of zonder beperking van de beweiding) zoals in Tabel 19 voorgesteld worden. Hierbij werd rekening gehouden met de lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's gemeten in de sperperiode en de relatief hoge N-opname door het gras tijdens het volledige groeiseizoen en in het najaar. Voor gemaaid grasland wordt, ondanks de meestal 'zeer' lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's, toch een bemestingsreductie van -5% in GT3 voorgesteld daar een verlaging van de N-bemestingshoeveelheid van de norm tot aan de knik zoals hierboven aangegeven leidt tot een beperkte daling van het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu. Voor begraasd grasland tot 1 september worden de reducties aangehouden zoals in Tabel 6 gegeven voor vergelijkbare N-opnames door vanggewassen. Voor geen beperking van de begrazing worden de waarden voor 16 - 30 september overgenomen

<sup>5</sup> De landbouwkundige drempelwaarde ( $29 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ ) is de som van het latent residu tot bewortelingsdiepte ( $18 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ ) en het gemiddelde residu ( $11 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ ) in de 0 - 90 cm laag.

waarbij rekening gehouden wordt met een verhoging van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu van 10 tot 30 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N per ha.

Dit voorstel komt niet overeen met het MAP7 voorstel waarbij het terugverdienen van de generieke reducties door het toepassen van extra goede landbouwpraktijken moet plaatsvinden.

Tabel 19: Beperking van de bemestingsnormen (in %) voor gemaaid en begraasd grasland

Hoofddeelt	Gemaaid grasland	Begraasd grasland	
N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> )*	70 - 130	40 - 80	
Begrazing		Tot 1 sept	Geen beperking
Beperking in functie van het gebiedstype (%)			
- Gebiedstype 1	0	0	0
- Gebiedstype 2	0	0	0
- Gebiedstype 3	-5	-5	-10

\* van augustus tot november

### Aanpassen van de teeltrotatie

De landbouwkundige haalbare NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's verschillen behoorlijk tussen gewassen (Tabel 17) (D'Haene & Hofman, 2022). Niet-nitraatgevoelige teelten zoals gras, granen gevolgd door een vanggewas, bieten met afvoer van oogstresten, etc. kunnen met lage NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's eindigen in het najaar, dit in tegenstelling met bv. aardappelen en een aantal groentegewassen. Een groter areaal van deze niet-nitraatgevoelige gewassen zal, vooral in gebieden met te hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentraties in het grond- en/of oppervlaktewater, een positief effect op de waterkwaliteit hebben (Schoumans *et al.*, 2012).

In de sperperiode worden hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's bij aardappelen en groenten gemeten (gemiddeld 119 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> bij aardappelen en 101 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> bij groenten t.o.v. 71 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> voor alle teelten en 51 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> voor niet-nitraatgevoelige teelten in 2013 - 2022) (Anonymus; 2023d). Het verlagen van de aardappelteelt van 1 op 3 tot 1 op 4 resulteert in een daling van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu met 36 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> over 4 jaar (invloegen van niet-nitraatgevoelige teelt). In een teeltrotatie met enkel groenten waarbij een groente 1 op 4 jaar door een niet-nitraatgevoelige teelt vervangen wordt, geeft over 4 jaar een daling van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu met 50 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>.

Op basis van deze berekende daling wordt een verlaagde reductie voor het verminderen van aardappelen of groenten in de teeltrotatie in Tabel 20 voorgesteld.

Tabel 20: Beperking van de bemestingsnormen (in %) voor het beperken van aardappelen of groenten in de teeltrotatie

Hoofddeelt	Aardappelen 1 op 4	1 op 4 niet-nitraatgevoelige teelt bij groenten
Gemiddeld minder N in het residu (kg N ha <sup>-1</sup> )	36*	50**
Beperking in functie van het gebiedstype (%)		
- Gebiedstype 1	0	0
- Gebiedstype 2	-15	-15
- Gebiedstype 3	-25	-25

\*: de meerjarige verlaging van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu wordt aan de aardappelen na de niet-nitraatgevoelige teelt toegekend

\*\* : de meerjarige verlaging van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu wordt aan de groente geteeld na de niet-nitraatgevoelige teelt toegekend

Op perceelsniveau zal het aanpassen van de rotatie een positief effect op het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu en het risico op NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-uitloging tijdens de winterperiode hebben. Op bedrijfsniveau resulteert dit echter niet noodzakelijk in een daling van het areaal van aardappelen en groenten zodat er een potentiële trade-off is met hogere NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's op andere percelen zonder een verbetering van de waterkwaliteit.

### 3.5 ANDERE VOORGESTELDE GOEDE LANDBOUWPRAKTIJKEN

#### Aangepaste zaaidichtheid en ruitzaai

De zaai- en plantafstand is bepalend voor de opbrengst: te weinig of te veel planten per oppervlakte-eenheid resulteert in een suboptimale opbrengst. De plantafstand beïnvloedt echter ook het risico op ziektes en plagen (Vandenbergh *et al.*, 2007). In 2020 werd door LCV het effect van de inzaai van maïs op 37.5 i.p.v. 75 cm onderzocht. Deze proef gaf aan dat na het scheuren van grasland een verkleinde rijafstand vooral effect heeft op het zetmeelgehalte, en niet altijd op het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu (LCV, 2021). Nederlands onderzoek gedurende 4 jaar (2016 - 2019) gaf bij een meer evenredige plantverdeling in de vorm van ruitzaai t.o.v. de standaard rijafstand van 75 cm een licht hogere DS-opbrengst van kuilmaïs, maar dit leidde niet tot een significant hogere N-benutting (Klootwijk & van Schooten, 2020).

Omwille van het feit dat de proefveldresultaten van de aanpassing van de zaaidichtheid en ruitzaai niet duiden op een significante daling van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's, kan een verlaagde reductie van de normen niet onderbouwd worden.

#### Irrigatie

Uit de evolutie van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's tussen de jaren blijkt dat in droge jaren deze waarden duidelijk hoger zijn dan in de nattere jaren, respectievelijk 84 (2017 - 2020) en 60 (2013 - 2016) kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> (Anonymus, 2023d). Dit is hoofdzakelijk te wijten aan lagere opbrengsten en dus lagere N-opnames. Irrigatie en eventueel fertigatie resulteren in robuustere teelten die minder gevoelig zijn aan stress door ongunstige weersomstandigheden of ziekten en plagen en beperken de opbrengstderving door droogte en het effect op het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu (Fonder *et al.*, 2010; Janssens *et al.*, 2020; Nawara *et al.*, 2021).

Beredeneerde irrigatie kan in droge jaren<sup>6</sup> tot hogere opbrengsten en lagere NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's leiden. Er wordt ingeschat dat de meerjarig gemiddelde daling van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's onvoldoende is voor een verlaagde reductie van de normen.

#### Gebruik van drempels

Het aanleggen van drempels zorgt voor de beperking van de erosie en kan water vasthouden in het perceel dat in droge jaren mogelijk een effect op de opbrengst kan hebben. Er wordt verwacht dat de meerjarige daling van de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's onvoldoende is voor een verlaagde reductie van de normen.

#### Peilgestuurde drainage / stuwtjes

In regio's met een hoog percentage aan gedraineerde percelen met een snelle afvoer van het water en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in het najaar en de winter, is het uiterst moeilijk om met duurzame landbouwpraktijken de

---

<sup>6</sup> De neerslaghoeveelheid van de lente (maart - mei) en zomer (juni - augustus) (1991 - 2020) was respectievelijk gemiddeld 166 en 234 mm. Tussen 1991 en 2022 varieerde de neerslaghoeveelheid in de lente echter tussen 71 (2011) en 277 mm (2001) terwijl de neerslaghoeveelheid van de zomer uiteenliep van 111 (2022) tot 411 mm (2021) (KMI, 2023).



waterkwaliteit aanzienlijk te verbeteren. Indien men door het water langer in de bodem te houden, de N-opname door de teelt en/of de denitrificatie kan stimuleren, kunnen theoretisch de drainage en de N-verliezen verlaagd worden. Peilgestuurde drainage en stuwstijlen zijn end-of-pipe-maatregelen die hiervoor in aanmerking komen (Drury *et al.*, 2009; Cartensen *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2022).

Voor er een inschatting gemaakt kan worden van het effect van peilgestuurde drainage en stuwstijlen op de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's moet zowel hun effect op de N-verliezen als de impact op de P-beschikbaarheid en mogelijke P-verliezen nagegaan worden om ook het risico op "pollution swapping" te kunnen inschatten (D'Haene & Hofman, 2022).

### **Impact van bodemorganisch koolstofpercentage hoger dan x% op het nitraatstikstofresidu**

Het bodemorganisch koolstof (BOC) -gehalte heeft een positief effect op de bodemstructuur en water-beschikbaarheid wat de beworteling bevordert en vooral bij teelten met een beperkte beworteling in een betere opbrengst kan resulteren. Een hoger BOC-gehalte verkleint tevens de variabiliteit in opbrengst. Een voldoende hoog BOC-gehalte bevordert een efficiënte opname van nutriënten en water (Hijbeek *et al.*, 2017; Nawara *et al.*, 2021; D'Haene & Hofman, 2022).

Echter zowel in Vlaanderen als Wallonië voldeden een hoger % percelen niet aan de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu-drempel (in Vlaanderen en Wallonië respectievelijk  $90 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$  en de teeltafhankelijke wettelijke drempels) in het najaar in percelen met een hoger BOC-gehalte (N-(eco)<sup>2</sup>, 2002; Nawara *et al.*, 2021; Vandenberghe & Colinet, 2017). In het derogatiemonitoringsnetwerk van 2016 - 2019 werd een statistisch significant positief effect van het BOC-gehalte op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu waargenomen (Odeurs *et al.*, 2020). Dit duidt er enerzijds op dat de N-mineralisatiehoeveelheid bij het bepalen van de N-bemestingshoeveelheid niet voor alle percelen voldoende in rekening gebracht werd. Anderzijds kan de N-vraag tijdens het najaar lager zijn dan de N-levering via mineralisatie in bodems met een hoog BOC-gehalte (Siddique *et al.*, 2012; D'Haene & Hofman, 2022).

Daarentegen stelt de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) dat er uit een internationaal literatuuroverzicht geen éénduidig beeld naar voren komt van het effect van het BOC-gehalte op de  $\text{NO}_3^-$ -uitspoeling. Lagere  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's en dus lagere  $\text{NO}_3^-$ -uitspoeling bij hogere BOC-gehalten kunnen verklaard worden door een hogere denitrificatiecapaciteit en/of een hogere N-opname als gevolg van een betere bodemkwaliteit (CDM, 2017).

Aangezien een hoger BOC-gehalte in de bodem geen éénduidig effect op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu heeft, kan een verlaagde reductie van de normen niet onderbouwd worden.

### **Vervroegde stop uitrijregeling / alle dierlijke mest in het voorjaar**

Vlaanderen heeft één van de strengste wetgevingen betreffende het bemesten in het najaar (Tzilivakis *et al.*, 2020 & 2021). Naast de verbodsperiode voor het bemesten zijn er op het einde van de toegelaten uitrijperiode beperkingen nl. de aanwezigheid van een teelt of vanggewas en maximale N-bemestingsdosissen. Onderzoek naar het effect van de toediening van  $36 \text{ kg werkzame N ha}^{-1}$  via dierlijke mest op de stoppel van graangewassen, gevolgd door vanggewassen ingezaaid voor 1 september, heeft aangetoond dat er geen significant extra risico is op N-verliezen tijdens de winter (De Waele *et al.*, 2014a).

Het (over)bemesten kan nefaste gevolgen hebben voor het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu indien de bemesting bij ongunstige weers- en bodemomstandigheden plaatsvindt. Het risico op structuurschade en bijgevolg opbrengstderving is onafhankelijk van het tijdstip van bemesting. Er wordt verwacht dat het gemiddelde meerjarige effect door het verder inkorten van de uitrijperiode te laag is voor een verlaagde reductie van de normen.



## Bredere bufferstroken

Uit het onderzoek naar bemestingsvrije stroken (Tits *et al.*, 2019) blijkt dat de breedte van de strook weinig effect heeft op de oppervlakkige afspoeling, verliezen via het grondwater en drainage. De breedte van de strook heeft wel een grote impact op het risico op meemesten van aanliggende beken of grachten. Een toenemende breedte van (gemakkelijk handhaafbare) teeltvrije en bemestingsluwe stroken van 0 m tot 3 m zou gepaard gaan met quasi lineair afnemende meemesthoeveelheden of 1.2 g N per m grenslengte van de waterloop en per toenemende meter van de strook. Per extra meter mestluwe en teeltvrije strook komt er grosso modo 25000 kg N minder in de waterlopen terecht maar per ha is dit zeer weinig. Het effect van de breedte van de strook op het risico op meemesten is afhankelijk van de toegepaste techniek. Vooral bij de toediening van vaste meststoffen, zowel stalmest als minerale meststoffen, zijn er grote N-verliezen bij een breedte van 3 m. Het probleem kan opgelost worden door het gebruik van kantstrooitechnieken (Tits *et al.*, 2019). In het voorstel van MAP7 wordt het gebruik van kantstrooisystemen voor minerale meststoffen verplicht (Anonymus, 2023c).

Het vervangen van de huidige bemestingsvrije stroken van 5 m door een bufferstrook van 3 m (GT0 en GT1) of 5 m (GT2 en GT3) met een meerjarig buffergewas is in het MAP7 voorstel opgenomen (Anonymus, 2023c). Aangezien de oppervlakkige afspoeling door de bodembedekking in de winter beïnvloed wordt (Tits *et al.*, 2019), kunnen bufferstroken een positief effect op de waterkwaliteit hebben. Een recente metadata-analyse vond echter geen significant effect van de bufferstrookbreedte op de oppervlakkige afspoeling (Valkama *et al.*, 2019).

Er wordt geen groot effect verwacht van het vervangen van een bemestingsvrije strook door een bufferstrook en zodoende kan een verlaagde reductie van de normen niet onderbouwd worden.

## 4 CONCLUSIES

In het MAP7 voorstel worden in GT1, GT2 en GT3 in functie van de afstand tot het waterkwaliteitsdoel en teelttype (niet-nitraat- of nitraatgevoelig) een bemestingsreductie voor de werkzame N als generieke maatregel voorgesteld. Deze bemestingsreducties kunnen geheel of gedeeltelijk terugverdiend worden door het toepassen van duurzame landbouwpraktijken die aanleiding geven tot minder  $\text{NO}_3^-$ -uitloging naar grond- en oppervlaktewater. De maximale terugverdienpercentages hangen af van de combinatie gebieds- en teelttype.

Aan de hand van literatuurgegevens, eventueel aangevuld met expertkennis, werd voor een 25-tal landbouwpraktijken nagegaan of ze leiden tot lagere  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's in het najaar en dus een lagere  $\text{NO}_3^-$ -uitloging tijdens de winter. De ingeschatte winst in lagere  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's werd pragmatisch vertaald naar een aanpassing van de generieke beperkingen van de N-bemestingsnormen met als doelstelling de toepassing van de goede landbouwpraktijken te stimuleren. Omdat goede landbouwpraktijken vlugger zullen leiden tot minder overschrijdingen van de  $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$  in grond- en oppervlaktewater na niet-nitraatgevoelige teelten dan na nitraatgevoelige teelten werd er hiervoor een onderscheid gemaakt. Er werd gerekend met eenzelfde ingeschatte winst voor de drie gebiedstypes zodat de verlaagde reducties het strengst blijven voor GT3. De verlaagde reducties van de N-bemestingsnormen zijn op gemiddelde weersomstandigheden gebaseerd en worden voor de verschillende duurzame landbouwpraktijken in tabellen weergegeven.

Het tijdig inzaaien van vanggewassen (voor 1 september) blijft de beste oplossing om lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's te realiseren. De onderzaai van gras heeft theoretisch mogelijkheden maar deze kunnen gehypothekerd worden door de onzekerheid van het slagen van deze techniek. Het voordeel van het inzaaien van een nateelt zoals wintergranen, die meestal relatief laat ingezaaid worden, is dat deze in het vroege voorjaar nog stelselmatig N opnemen. Het inzaaien van een tussenvanggewas (+ volggewas) heeft potentieel op voorwaarde dat het vroeg genoeg kan ingezaaid worden en het tussenvanggewas lang genoeg aangehouden wordt. Bijkomend onderzoek lijkt hier aangewezen om de minimale aanhouddatum af te leiden en de evolutie van de  $\text{NO}_3^-$ -N dient verder in de winter opgevolgd te worden om de N-vrijstelling uit het ingewerkte tussenvanggewas te monitoren. Ook de inzaai van onbeteelde stroken draagt bij aan een daling van de  $\text{NO}_3^-$ -uitloging. Het is belangrijk dat bij het bepalen van de N-bemestingsdosis voor de volgteelt de N-vrijstelling uit het (tussen)vanggewas in rekening wordt gebracht.

Het afvoeren van N-rijke oogstresten kan ook een belangrijke positieve bijdrage leveren om het risico op  $\text{NO}_3^-$ -uitloging tijdens de winter te beperken. Het intact laten van de oogstresten werd slechts voor een beperkt aantal teelten onderzocht. Enkel bij sluitkolen en bloemkool voor industrie werd aangetoond dat het intact laten van N-rijke oogstresten een alternatief is voor de afvoer. Door de N-immobilisatie bij het inwerken i.p.v. afvoeren van stro is er een licht positief effect op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu.

Correcte N-bemestingsadviezen kunnen eveneens bijdragen aan het realiseren van lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's. Om de adviezen en het opvolgen van het advies te beoordelen, kan overwogen worden de verlaagde reductie van de normen aan een resultaatsverbintenis te koppelen. De verlaagde reductie van begeleiding en gefractioneerde bemesting is gelijk aan deze van N-bemestingsadviezen. Voor traagwerkende meststoffen wordt er geen verlaagde reductie van de normen voorgesteld. Een uitgebreide analyse van de onderzoeksresultaten van gefractioneerde bemesting en traagwerkende meststoffen kan een verfijndere berekening van hun effect op het residu in de sperperiode becijferen. Geplaatste bemesting, emissiearme technieken en het gebruik van ureaseremmers verhogen de N-efficiëntie. Indien bij landbouwpraktijken die de N-efficiëntie verhogen de N-bemesting niet aangepast wordt, is er een risico op een hoger  $\text{NO}_3^-$ -N-residu.

Grasland is een niet-nitraatgevoelige teelt waar de bemesting gefractioneerd wordt toegediend en er nog in het najaar N opgenomen wordt zodat er lage  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's gemeten worden. Ook het

verlagen van het areaal van nitraatgevoelige teelten zoals aardappelen en groenten in de teeltrotatie vermindert het risico op  $\text{NO}_3^-$ -uitloging op perceelsniveau maar heeft enkel een positief effect op de waterkwaliteit binnen een afstroomzone indien het areaal van deze teelten verlaagt.

Voor de andere voorgestelde goede landbouwpraktijken zoals een aangepaste zaaidichtheid, irrigatie, gebruik van drempel, etc. wordt het gemiddelde effect op de  $\text{NO}_3^-$ -N-residu's en waterkwaliteit te laag ingeschat om een verlaagde reductie van de normen te onderbouwen. Een uitgebreide analyse van de onderzoeksresultaten van deze landbouwpraktijken kan hun concrete effect op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu in de sperperiode becijferen.

Hoewel er voor sommige landbouwpraktijken op basis van het effect op het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu op perceelsniveau geen wetenschappelijk onderbouwing voor winst is, mag dit niet geïnterpreteerd worden als een negatieve beoordeling van deze landbouwpraktijken. Deze landbouwpraktijken kunnen een positief effect op de opbrengst en/of de N-efficiëntie hebben.

In vergelijking met de N-bemestingsreducties van MAP6 (-10% in GT2 en -20% in GT3) zijn de voorgestelde N-bemestingsreducties na nitraatgevoelige teelten meestal strenger. Bij de niet-nitraatgevoelige teelten met een lager  $\text{NO}_3^-$ -N-residu in de sperperiode zijn de voorgestelde N-bemestingsreducties lager. Vooral in GT3 is er een grote stimulans goede landbouwpraktijken toe te passen. Bij het bepalen van de verlaagde reducties werd er geen rekening gehouden met de geldende wetgeving vb. de verplichting van minimale bodembedekking in het kader van de conditionaliteit van het GLB. Er werd evenmin nagegaan hoe gemakkelijk een toegepaste landbouwpraktijk gecontroleerd kan worden vb. het inzaaitijdstip van een vanggewas. Voor sommige landbouwpraktijken is er nog nood aan verder onderzoek om de voorwaarden beter te onderbouwen vb. de inzaai van een tussenvanggewas of om de toepasbaarheid te verhogen vb. afvoer van oogstresten.

Aangezien het combineren van sommige goede landbouwpraktijken -vb. advies en afvoer van N-rijke oogstresten- een hoger effect op de waterkwaliteit heeft dan de toepassing van slechts 1 goede landbouwpraktijk maar lager dan de som van de afzonderlijk effecten, kan nagegaan voor welke combinaties een aangepaste reductie voorgesteld kan worden.

## 5 REFERENTIES

- Agneessens, L., De Waele, J., De Neve, S., 2014a. Review of alternative management options of vegetable crop residues to reduce nitrate leaching in intensive vegetable rotations. *Agronomy* 4, 529-555.
- Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., Willekens, K., De Neve, S., 2014b. Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP 4): Hoofdrapport. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 149 p.
- Anonymus, 2020. Graslandupdates 2020. <https://www.lcvvzw.be/nieuws/graslandupdate/>
- Anonymus, 2021. Graslandupdates 2021. <https://www.lcvvzw.be/nieuws/graslandupdate/>
- Anonymus, 2023a. Conditionaliteit 2023-2027. <https://lv.vlaanderen.be/bedrijfsvoering/conditionaliteit-en-randvoorwaarden/conditionaliteit-2023-2027>
- Anonymus, 2023b. Leader Bouwen aan een betere bodem. Leader Bouwen aan een betere bodem, 11 p.
- Anonymus, 2023c. Ontwerp 7<sup>de</sup> actieprogramma in uitvoering van de Nitraatrichtlijn 2024 - 2027 (MAP 7). 14.04.2023, 87 p.
- Anonymus, 2023d. Nitraatresidurapport 2022. Analyse van de resultaten van de nitraatresidumetingen in Vlaanderen tot en met de staalnamecampagne van 2022. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 62 p.
- Aronsson, H., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Liu, J., Øgaard, A.F., Känkänen, H., Ulén, B., 2016. The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. *Journal of Soil and Water Conservation* 71, 41-55.
- B3W, 2022a. Kan ik kunstmest uitsparen na het telen van groenten? Thematisch uitwisselingsmoment, 15/03/2022. Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 48 p.
- B3W, 2022b. Stikstofvrijstelling uit oogstresten en vanggewassen. Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 5 p.
- B3W, 2022c. Vanggewas tussen hoofd- en nateelt: Is het de moeite waard? Thematisch uitwisselingsmoment B3W. Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 5 p.
- Beaudoin, N., Saad, J.K., Van Laethem, C., Machet, J.M., Maucorps, J., Mary, B., 2005. Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: Effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 111, 292-310.
- Broadbent, F.E., Carlton, A.B., 1978. Field trials with isotopically labeled nitrogen. In: Nielsen, D.R., MacDonald, J.G. (Eds.), *Nitrogen in the Environment*. Academic Press, New York, p. 1- 41.
- Carstensen, M.V., Børgesen, C.D., Ovesen, N.B., Poulsen, J.R., Hvid, S.K., Kronvang, B., 2019. Controlled drainage as a targeted mitigation measure for nitrogen and phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 48(3), 677-685.
- Catteeuw, B., 2023. Oogstgangen bloemkool inzaaien met gras heeft heel wat voordelen. *Proeftuinnieuws* 13, 27.
- Catteeuw, B., Schellekens, A., Wouters, S., Bode, J., Somers, J., Luys, L., Nelissen, V., De Nies, J., Opdebeeck, A., Lauwers, L., 2021. Brochure onderzaai gras in maïs. Coördinatiecentrum Voorlichting en Begeleiding duurzame Bemesting (CVBB), 79 p.
- CDM, 2017. Advies 'Organische stof in de bodem en nitraatuitspoeling'. Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM), Wageningen, 40 p.
- Cougnon, M., Frenne, P., Reheul, D., 2021. Reducing competition in forage maize intercropped with tall fescue through herbicides, plant types, and sowing density. *Agronomy for Sustainable Development* 41, 52.
- Cougnon, M., Reheul, D., 2022. Onderzaai van gras in kuilmaïs: Bezint eer ge begint. [https://www.rundveeloket.be/kenniscentrum/ruwvoerwinning/ma%C3%AFs/onderzaai\\_1](https://www.rundveeloket.be/kenniscentrum/ruwvoerwinning/ma%C3%AFs/onderzaai_1)
- Cougnon, M., Vandermoere, S., De Vliegheer, A., Reheul, D., 2015. Yield comparison of Italian ryegrass and winter rye sown as cover crops after forage maize. In: van den Pol-van Dasselaar, A., Aarts, H.F.M., De Vliegheer, A.,

- Elgersma, A., Reheul, D., Reijneveld, J.A., Verloop, J., Hopkins, A. (Eds.), Proceedings European Grassland Federation (EGF) 'Grassland and forages in high 'output dairy farming systems. Grassland Science in Europe 20, 187-189.
- Creamer, N.G., Baldwin, K.R., 2000. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. Hortscience 35(4), 600-603.
- De Blauwer, V., Odeurs, W., Goeminne, M., 2013. Fractioneren van de stikstofbemesting in aardappelen - 6 jaar proeven. Landbouwcentrum Aardappelen - Resultaten 2013. Landbouwcentrum aardappelen, 6 p.
- De Dobbelaere, A., Vervisch, B., Ryckaert, B., Annicaert, B., Lebuf, V., Van Driessche, J., 2015. Case Study Report. Development of agro-sidestreams for bioenergy. Arbor, 80 p.
- 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, p. 65-83.
- De Neve, S., Hofman, G., 1996. Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. Soil Biology & Biochemistry 28, 1451-1457.
- De Neve, S., Hofman, G., 2002. Quantifying soil water effects on nitrogen mineralization from soil organic matter and from fresh crop residues. Biology and Fertility of Soils 35, 379-386.
- De Neve, S., Krekelbergh, N., François, A., Mendoza, O., Sleutel, S., Vandermoere, S., De Waele, J., 2022. Code goede bemestingsadviezen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 160 p.
- De Neve, S., Pannier, J., Hofman, G., 1996. Temperature effects on C- and N-mineralization from vegetable crop residues. Plant Soil 181, 25-30.
- de Ruijter, F.J., Smit, A.L., 2007. Het lot van stikstof uit gewasresten. Rapport 133, Plant Research International (PRI), Wageningen, 34 p.
- Destain, J.P., François, E., Guiot, J., 1990. Fertilizer nitrogen budgets of  $^{15}\text{N}$ -labelled sugarbeet (*Beta vulgaris*) tops and  $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$  dressings split-applied to winter wheat (*Triticum aestivum*) in microplots on a loam soil. Plant and Soil 124, 257-259.
- De Vliegheer, A., Carlier, L., Latré, J., Martens, L., 2003a. Invloed van een vervroegde stopzetting van de begrazing op de grasopbrengst en stikstofreserve in de bodem. Resultaten 2000 - 2002. In: "Brochure voedergrassen 2003. Oogstjaar 2002", Landbouwcentrum voor Voedergrassen (LCV), p. 87-97.
- De Vliegheer, A., Grunert, O., Carlier, L., 2003b. Cutting or grazing in autumn: effect on grass yield, grass quality and soil nitrate content. Grassland Science in Europe 8, 157-159.
- De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., 2014. Effect of grassland management in autumn on the mineral N content in soil. Grassland Science in Europe 19, 773-775.
- De Waele, J., D'Haene, K., Salomez, J., Hofman, G., De Neve, S., 2017. Simulating the environmental performance of post-harvest management measures to comply with the Nitrates Directive. Journal of Environmental Management 187, 513-526.
- 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., 2014a. Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten / vanggewassen. Eindrapport Bodem. Studie uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 164 p.
- De Waele, J., De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., Odeurs, W., Elsen, A., Haesaert, G., Derycke, V., Verlinden, G., Bries, J., Wittouck, D., De Neve, S., 2014b. Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten / vanggewassen. Literatuurstudie. Studie uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 91 p.
- de Wolf, P., 2019. Kansen voor bietenblad in kringlooplandbouw? <https://weblog.wur.nl/kringlooplandbouw/kansen-voor-bietenblad-in-kringlooplandbouw/>
- D'Haene, K., De Waele, J., De Neve, S., Hofman, G., 2022. Spatial distribution of the relationship between nitrate residues in soil and surface water quality revealed through attenuation factors. Agriculture, Ecosystems and Environment 330, 107889.

- D'Haene, K., Hofman, G., 2020. Stikstofmineralisatie. Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting, Merelbeke, 72 p.
- D'Haene, K., Hofman, G., 2022. Milieu- en landbouwkundige nitraatstikstofresidudrempelwaarden. Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting, Merelbeke, 109 p.
- D'Haene, K., Salomez, J., De Neve, S., De Waele, J., Hofman, G., 2014. Environmental performance of the nitrogen fertiliser limits imposed by the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 192, 67-79.
- D'Haene, K., Salomez, J., Hofman, G., 2018a. Is rijenbemesting dé oplossing om stikstofverliezen te minimaliseren? Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting, Merelbeke, 14 p.
- D'Haene, K., Salomez, J., Verhaeghe, M., Van de Sande, T., De Nies, J., De Neve, S., Hofman, G., 2018b. Can optimum yield and quality of vegetables be reconciled with low residual soil mineral nitrogen at harvest? *Scientia Horticulturae* 233, 78-89.
- Dillen, J., 2022. Hoeveel stikstof nemen vanggewassen en granen nog op na late aardappelen? *Landbouwleven* 06/10/2022, 2 p.
- Dillen, J., 2023. Hoeveel stikstof kan een vanggewas opnemen? Infofiche Begeleidingsdienst Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 2 p.
- Dillen, J., De Blauwer, V., 2021. Welke groenbedekker neemt het meeste stikstof op? *Boer & Tuinder* 7 oktober 2021, 30 - 33.
- Drury, C.F., Tan, C.S., Reynolds, W.D., Welacky, T.W., Oloya, T.O., Gaynor, J.D., 2009. Managing tile drainage, subirrigation, and nitrogen fertilization to enhance crop yields and reduce nitrate loss. *Journal of Environmental Quality* 38, 1193-1204.
- Ellenkamp, R., 2017. Zeven vragen over: Strobemesten. *Akker* 3, 12-13.
- 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.
- Fonder, N., Heens, B., Xanthoulis, D., 2010. Optimisation de la fertilisation azotée de cultures industrielles légumières sous irrigation. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment* 14, 103-111.
- Frerichs, C., Glied-Olsen, S., De Neve, S., Broll, G., Daum, D., 2022a. Crop residue management strategies to reduce nitrogen losses during the winter leaching period after autumn spinach harvest. *Agronomy* 12, 653.
- Frerichs, C., Key, G., Broll, G., Daum, D., 2022b. Nitrogen fertilization strategies to reduce the risk of nitrate leaching in open field cultivation of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 185, 1-18.
- Gomand, A., Willekens, K., 2022. Optimalisatie van de bemestingsstrategieën vanuit de principes van de biologische landbouw. Pitfruit. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 14 p.
- Hermans, I., Elsen, A., Bries, J., 2010. Groenbemesters en nitraatresidu. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 41 p.
- Hilhorst, G., Verloop, K., 2014. Opbrengst vanggewas na maïs. 'Koeien & Kansen' rapport nr. 51, 21 p.
- Hofman, G., Van Ruymbeke, M., Ossemerct, C., Ide, G., 1981. Residual nitrate nitrogen in sandy loam soils in a moderate marine climate. *Pedologie* 31, 329-346.
- Hofman, G., Vermoesen, A., Bogaert, N., Salomez, J., Van Cleemput, O., Van Meirvenne, M., 1998. Mogelijke aanpassingen van N-bemestingsstrategieën op begraasd grasland in functie van de variabiliteit van de minerale bodemstikstof binnen het perceel. In: *Technologisch Instituut KVTU (Ed.), Studiedag Precisie-landbouw*, 13 p.
- Holshof, G., W.J., Willems, 2001. Invloed eerder opstallen en verlagen stikstofbemesting op de hoeveelheid minerale-N in de bodem en de nitraatconcentratie in bovenste grondwater. *PraktijkRapport Rundvee* 44, Praktijkonderzoek ASG, Lelystad, 75 p.
- Hijbeek R., Cormont A., Hazeu G.W., Bechini L., Zavattaro L., Janssen B.H., Werner M., Schlatter N., Guzmán G., Bijttebier J., Pronk A.A., van Eupen M., van Ittersum, M.K., 2017. Do farmers perceive a deficiency of soil organic matter? A European and farm level analysis. *Ecological Indicators* 83, 390-403.

- Janssens, P., Reynaert, S., Piccard, I., Pauly, K., Garré, S., Dumont, G., von Hebel, C., Van Der Kruk, J., Neumann Andersen, M., Manevski, K., Peng, J., Kørup, K., Fasterholt Maskinfabrik, Kamp, J., Booij J. 2020. Variable rate irrigation and nitrogen fertilisation in potato; engage the spatial variation (Potential), 89 p.
- Klootwijk, C.W., H.A. van Schooten, 2020. Effect van ruitzaai en drijfmestrijenbemesting op de stikstofbenutting van snijmaisteelt. Rapport 1256, Wageningen Livestock Research, Wageningen, 33 p.
- KMI, 2023. Klimatologische overzichten van 2022. <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaat-van-belgie/klimatologisch-overzicht/2022/januari>
- Komainska, M., Taube, F., Kluß, C., Herrmann, A., 2016. Above- and belowground nitrogen uptake of winter catch crops sown after silage maize as affected by sowing date. *European Journal of Agronomy* 79, 31-42.
- Latré, J., Stoop, T., Verheyen, J., Coomans, D., Rombouts, G., Haesaert, G., 2007. Mogelijkheden van grasinzaai in maïs of gras/rogge inzaai na maïs met het oog op bodembedekking, reductie herbicide input en reststikstof. Landbouwcentrum voor Voedergewassen (LCV), 8 p.
- LCV, 2020. Onderzaai van groenbedekkers in maïs. *Boer & Tuinder* 9, 17-22.
- LCV, 2021. Andere rijafstanden in maïs voordelig, maar geen garantie voor lager nitraatresidu. Landbouwcentrum voor Voedergewassen (LCV), Geel, 3 p.
- Louvieux, J., Leclercq, A., Haelterman, L., Hermans, C., 2020. In-field observation of root growth and nitrogen uptake efficiency of winter oilseed rape. *Agronomy* 10, 105.
- Maes, S., Elsen, A., Tits, M., Boon, W., Deckers, S., Bries, J., Vogels, N., Vandendriessche, H., 2012. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2008 - 2011). Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 198 p.
- Manevski, K., Børgesen, C.D., Andersen, M.N., Kristensen, I.S., 2015. Reduced nitrogen leaching by intercropping maize with red fescue on sandy soils in North Europe: a combined field and modeling study. *Plant and Soil* 388(1), 67-85.
- Nawara, S., Vanden Nest, T., Odeurs, W., Janssens, P., Tits, M., Elsen, A., 2021. Klimaatadaptieve praktijken voor het terugdringen van nutriëntenverliezen: een gerichte verkenning. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 395 p.
- N-(eco)<sup>2</sup>, 2002. Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument. Eindrapport deel 4: scenario analyse, afleiding van de normen en aanbevelingen aan de landbouwers. Studie in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 270 p.
- Neeteson, J.J., Whitmore, A.P., 1997. Sustainable nitrogen management in intensive vegetable production. In: Lian, S., Wang, C.H., Lee, Y.C. (Eds.), *Analysis of fertilizer response and efficiency in vegetable production in the HSILO Area*. Food & Fertilizer Technology Center, Taipei, p. 1-9.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Mills, A.R., Strachan, P.J., 1997. Effects of repeated straw incorporation on crop fertilizer nitrogen requirements, soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses. *Soil Use and Management* 13 (3), 136-142.
- Ninane, V., Goffard, J.-P., Meeus-Verdinne, K., Destain, J.-P., Guiot, J., Francois, E., 1995. Inbreng van organisch materiaal en de gevolgen op landbouwkundig en milieukundig vlak. In: Geypens, M., Honnay, J.P. (Eds), *Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem*. Comité voor onderzoek van de organische stof in de bodem. Instituut tot Aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw (I.W.O.N.L.), p. 67-103.
- Nouri, A., Lukas, S., Singh, S., Singh, S., Machado, S., 2022. When do cover crops reduce nitrate leaching? A global meta-analysis. *Global Change Biology* 28, 1-14 .
- Odeurs, W., Vandermoere, S., 2022. Rijenbemesting in aardappelen. Infociche Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 2 p.
- Odeurs, W., Vandermoere, S., 2023. Bijbemesting in aardappelen. Infociche Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 2 p.
- Odeurs, W., Vandervelpen, D., Elsen, A., De Vliegheer, A., Ruyschaert, G., D'Hose, T., Vanden Nest, T., Bries, J., Vandendriessche, H., 2020. Derogation monitoring network of farms under Directive 2008/64/EG (MAP 5). Final report: Period January 2016-May 2020. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 445 p.



- Olsson, R., Bramstorp, A., 1994. Fate of nitrogen from sugar beet tops. In: Proceedings van 57ste IIRB Congress, Brussel, 189-212.
- PROTECT'eau, 2019. Le Mag 5. PROTECT'eau, 44 p.
- Rahimitanha, S., Woodcock, T., Spink, J., Forristal, P.D., Berry, P.M., 2022. The impact of sowing date on soil mineral nitrogen uptake efficiency and fertilizer N uptake efficiency for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in Ireland. *Agronomy* 12, 1551.
- Rühlemann, L., Schmidtke, K., 2016. The suitability of non-legume cover crops for inorganic soil nitrogen immobilisation in the transition period to an organic notill system. *Plant Production Science* 19(1), 105-124.
- Salomez, J., Hofman, G., Delanote, P., Ampe, G., 1995. Bemesting in de rij. In: Bries, J., Vandendriessche, H., Geypens, M. (Eds.); Bemesting en beregening van aardappelen in functie van opbrengst en kwaliteit. I.W.O.N.L., Brussel, 146-156.
- Schoumans, O.F., de Haan, J.J., de Ruijter, F.J., van der Bolt, F.J.E., Oenema, O., van Boekel, E.M.P.M., van der Schoot, J.R., 2012. Analyse van aanvullende maatregelen om nutriëntenemissies vanuit de landbouw te verminderen. Deskstudie ter voorbereiding van planMER. Alterra-rapport 2385, Wageningen, 90 p.
- Schröder, J.J., van Dijk, W., de Groot, W.J.M., 1996. Effects of cover crops on the nitrogen fluxes in a silage maize production system. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44(4), 293-315.
- Siddique, K.H.M., Johansen, C., Turner, N.C., Jeuffroy, M.H., Hashem, A., Sakar, D., Gan, Y., Alghamdi, S.S., 2012. Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 46-64.
- Silgram, M., Chambers, B.J., 2002. Effects of long-term straw management and fertilizer nitrogen additions on soil nitrogen supply and crop yields at two sites in eastern England. *Journal of Agricultural Science* 139, 115-127.
- Singh, N., Kogan, C., Chaudhary, S., Rajagopalan, K., LaHue, G.T., 2022. Controlled drainage and subirrigation suitability in the United States: A meta-analysis of crop yield and soil moisture effects. *Vadose Zone Journal* 21, e20219.
- Sobry, L., Beeckman, A., 2017. Groenbedekkers als ruwvoeder. Inagro, Beitem, 2 p.
- Thorup-Kirstensen, K., Magid, J., Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79, 227-302.
- Thorup-Kristensen, K., Dresbøll, D.B., Kristensen, H.L., 2012. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. *European Journal of Agronomy* 37, 66-82.
- Thorup-Kristensen, K., Salmerón Cortasa, M., Loges, R., 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant Soil* 322, 101-114.
- Tits, M., Coussement, T., Nuyttens, D., Amery, F., Foqué, D., Elsen, F., 2019. Bemestingsvrije stroken langs waterlopen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 265 p.
- Tits, M., Elsen, A., Deckers, S., Boon, W., Bries, J., Vandendriessche, H., 2015. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2012 - 2015). Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 218 p.
- Tits, M., Elsen, A., Deckers, S., Bries, J., Vandendriessche, H. 2020. Bodemvruchtbaarheid van de akkerbouw- en weilandpercelen in België en Noordelijk Frankrijk (2016 - 2019). Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 235 p.
- Tzilivakis, J., Green, A., Warner, D.J., Lewis, K.A., 2020. Identification of approaches and measures in action programmes under Directive 91/676/EEC. Final report: Report prepared for Directorate-General Environment, European Commission, for project ENV.D.1/SER/2018/0017 by the Agriculture and Environment Research Unit (AERU), University of Hertfordshire, 131 p.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., Green, A., Lewis, K.A., 2021. A broad-scale spatial analysis of the environmental benefits of fertiliser closed periods implemented under the Nitrates Directive in Europe. *Journal of Environmental Management* 299, 113674.

- Ulas, A., 2010. Agronomic and Physiological Parameters of Genotypic Nitrogen Efficiency in Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Doctoraat, Leibniz Universiteit, 196 p.
- Valkama, E., Usva, K., Saarinen, M., Uusi-Kämppe, J., 2019. A meta-analysis on nitrogen retention by buffer zones. *Journal of Environmental Quality* 48, 270-279.
- Vandenbergh, A., Cools, A., Van Lierde, D., Debruycker, E., 2007. Inventarisatie van reductiemogelijkheden voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten in de groenteteelt in open lucht. Mededeling ILVO nr 27. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke, 97 p.
- Vandenbergh, C., Colinet, G., 2017. La gestion de la matière organique du sol, un enjeu important pour limiter la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 21(3), 201-208.
- Van de Ven, G., Geudens, K., Schellekens, A., Latré, J., Haesaert, G., Vervisch, B., 2020. Vanggewassen bij mais: is onderzaai een optie? LCV, 10 p. [http://www.lcvzw.be/wp-content/uploads/2020/03/A2020\\_3-Vanggewassen-in-mais-is-onderzaai-ee-optie.pdf](http://www.lcvzw.be/wp-content/uploads/2020/03/A2020_3-Vanggewassen-in-mais-is-onderzaai-ee-optie.pdf)
- Vandermoere, S., Eeckhout, I., De Waele, J., Nawara, S., 2022. Beredeneerd bemesten in aardappelen = Perceel specifiek bemesten, de basis bemesting verlagen en bijbemesten op advies. Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 9 p.
- Vandervelpen, 2021. Opbrengstresultaten van N-index, tarwe als vanggewas. LCG graanavond, 2 en 3 maart 2021.
- Vanrespaille, H., Elsen A., Willekens, K., 2022. Hoe voor je bodem zorgen binnen de beperkingen van het mestactieplan? Boeren leren van bioboeren. Brochure uit het VLM-project "Optimaliseren van bemestingsstrategieën vanuit de principes van de biologische landbouw. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 18 p.
- Velthof, G.L., Kuikman, P.J., 2000. Beperking van lachgasemissie uit gewasresten. Een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-3. Alterra, Wageningen, 80 p.
- Ver Elst, P., Vanongeval, L., Bries, J., 1999. Praktijkgids bemesting suikerbieten. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 62 p.
- Verloop, J., Boumans, L.J.M., van Keulen, H., Oenema, J., Hilhorst, G.J., Aarts, H.F.M., Sebek, L.B.J., 2006. Reducing nitrate leaching to groundwater in an intensive dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 59-74.
- Verreect, S., Versluys, M., Loys, L., Catteeuw, B., 2023. Hoe een tussenvanggewas succesvol aanpakken? B3W helpt je op weg. Begeleidingsdienst voor een Betere Bodem en Waterkwaliteit (B3W), 3 p.
- Versavel, E., 2022. Graslandupdates 2022. <https://inagro.be/projecten/optimalisering-van-graslanduitbating-door-middel-van-ee-beslissingsondersteunende-tool>
- Vervisch, B., 2014. Vervoederen we binnenkort bloemkoolbladeren? *Management & Techniek* 21, 46-47.
- Vos, J., 1992. Growth and nitrogen accumulation of catch crops. In: François E., Pithan K. & Bartiaux-Thill N. (eds). *Nitrogen cycling and leaching in cool and wet regions of Europe - COST 814*, 103-109.
- Vos, J., 1999. Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget. *Journal of Agricultural Science* 133, 263-274.
- Vos, J., van der Putten, P.E.L., 1997. Field observations on nitrogen catch crops. I. Potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species. *Plant and Soil* 195, 299-309.
- Zwart, K.B., Pronk, A.A., Kater, L.J.M., 2004. Verwijderen van gewasresten in de open teelten: een deskstudie naar de effecten op de bodemvruchtbaarheid en de mogelijke verwerking van gewasresten in het kader van het project Nutriënten Waterproof, LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III). Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO), Wageningen, 75 p.

## BIJLAGE 1

Tabel 21: Gemiddelde (gemidd.), minimale (min.) en maximale (max.) boven- en ondergrondse drogestofopbrengst (kg DS ha<sup>-1</sup>) en stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) (gemeten tussen 4 en 15 december) gedurende 4 proeffjaren (1991 – 1996). De vanggewassen waren rogge, koolzaad en bladrammenas ingezaaid op 3 zaaitijdstippen (Z1 (eind augustus), Z2 (na 3 weken) en Z3 (na 6 weken) en met (N1) en zonder (N0) toediening van minerale meststoffen (zandbodem - Wageningen) (Bron: Vos & van der Putten, 1997)

N-bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> )	Zaaidatum	Biomassa (kg DS ha <sup>-1</sup> )			N-opname (kg N, ha <sup>-1</sup> )		
		Gemidd.	Min.	Max.	Gemidd.	Min.	Max.
N0	Z1	2850	520	4710	57.4	15.4	104.5
N0	Z2	1310	150	2480	42.0	6.7	94.6
N0	Z3	280	50	780	10.7	2.9	35.4
N1	Z1	4000	2810	4940	141.3	113.7	183.2
N1	Z2	2280	530	3500	89.6	28.9	133.6
N1	Z3	380	120	900	15.8	5.7	44.5

## BIJLAGE 2

Tabel 22: Gemiddelde en range van de bovengrondse stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) door 3 variëteiten van koolzaad (inzaai op 28/08/2017) in functie van de bemesting (geen bemesting en bemest met  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) in Ath (Wallonië) (2017 – 2018) (Bron: Louvieaux et al., 2020)

	27/11/2017	25/04/2018
Onbemest	61 (52 - 68)	169 (144- 195)
Bemest	122 (120 - 124)	227 (196 - 249)

Tabel 23: Gemiddelde\* bovengrondse stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) door koolzaad in functie van het zaaitijdstip in Ierland (2017 – 2020) (Bron: Rahimitanha et al., 2022)

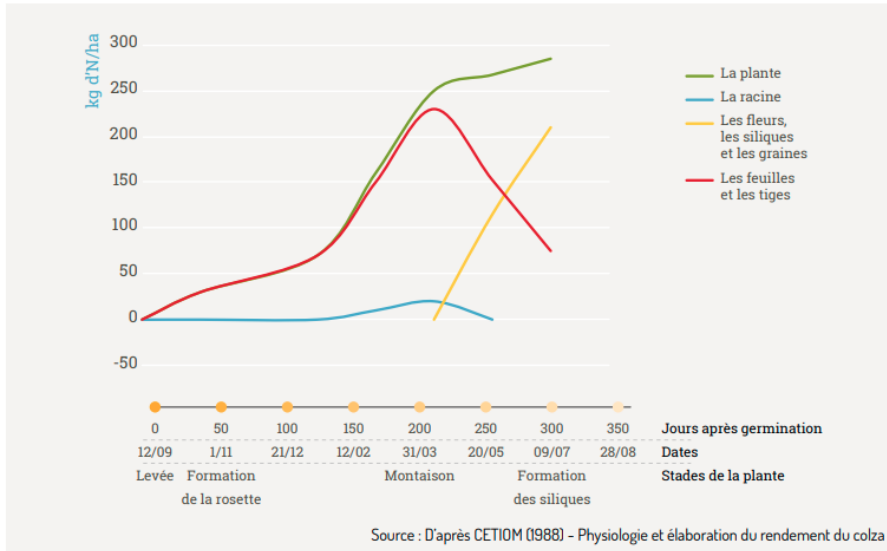
	Zaaidatum	Februari	Oogst
Jaar 1	18/08/2017	108	125
	31/08/2017	74	117
	19/09/2017	32	105
Jaar 2	15/08/2018	55	109
	28/08/2018	63	97
	14/09/2018	37	114
Jaar 3	15/08/2019	55	92
	28/08/2018	55	100
	21/09/2019	19	78

\* gemiddelde van nulbemesting en 3 bemestingsstrategieën

Tabel 24: Gemiddelde en range van bovengrondse stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) door 8 koolzaadvariëteiten in functie van het de stikstofbemestingshoeveelheid ( $\text{N0} = 0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $\text{N1} = 120 \text{ kg N ha}^{-1}$  en  $\text{N2} = 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) in Göttingen (Noord-Duitsland) (1999 - 2002) (Bron: Ulas, 2010)

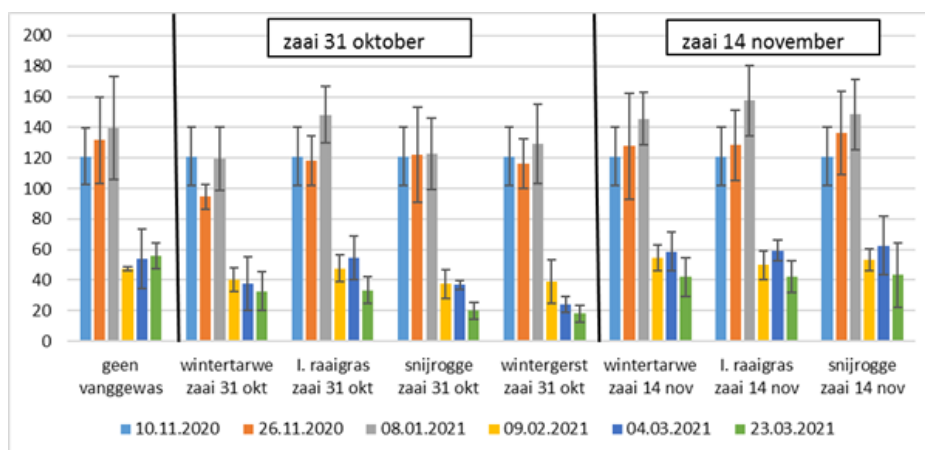
	Staalnamedatum	N0	N1	N2
1999 - 2000	22/03/2000	47 (42 - 51)	50 (44 - 54)	55 (49 - 67)
	13/07/2000	64 (57 - 70)	120 (105 - 133)	172 (144 - 187)
2000 - 2001	9/04/2001	57 (54 - 61)	82 (75 - 91)	107 (103 - 115)
	20/07/2001	88 (78 - 94)	140 (132 - 147)	202 (188 - 216)
2001 - 2002	24/04/2002	61 (51 - 70)	131 (127 - 138)	202 (193 - 212)
	16/07/2002	105 (97 - 113)	149 (132 - 162)	190 (170 - 210)

## Courbe d'absorption de l'azote par le colza et répartition dans la plante (dans le cas d'un développement normal avant l'hiver)

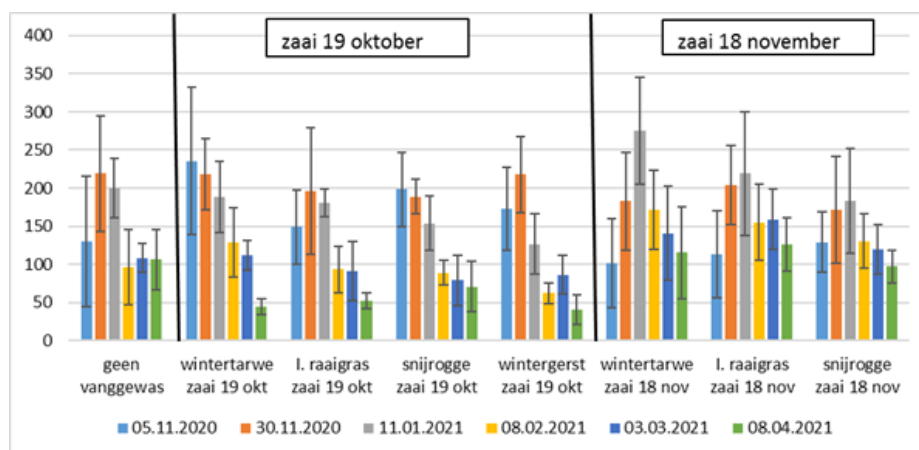


Figuur 10: Stikstofopnamecurve van koolzaad (Bron: PROTECT'eau, 2019)

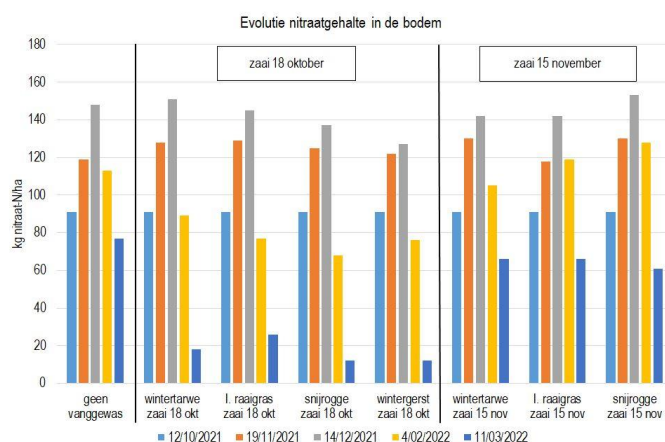
## BIJLAGE 3



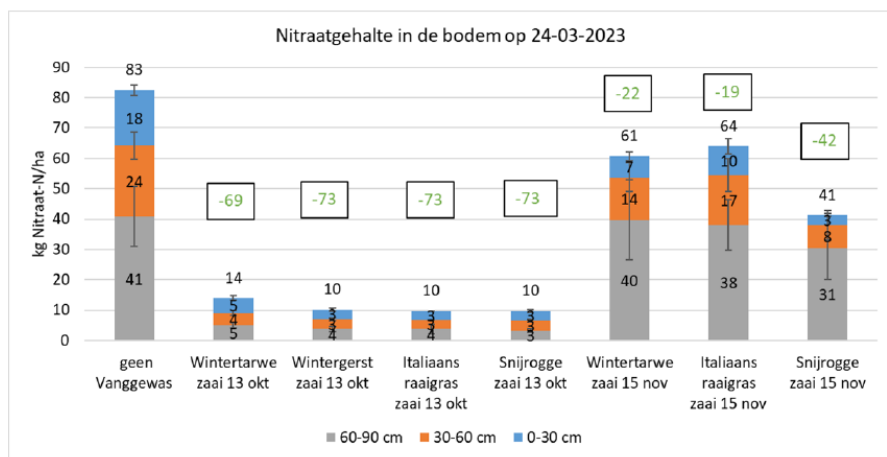
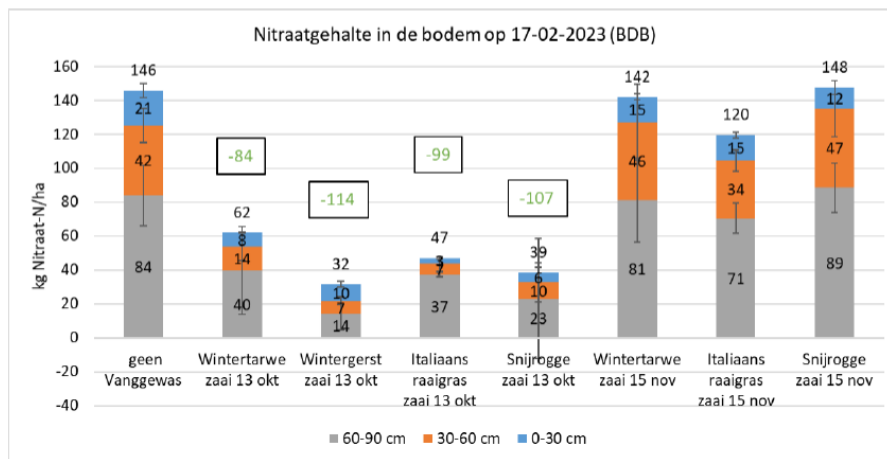
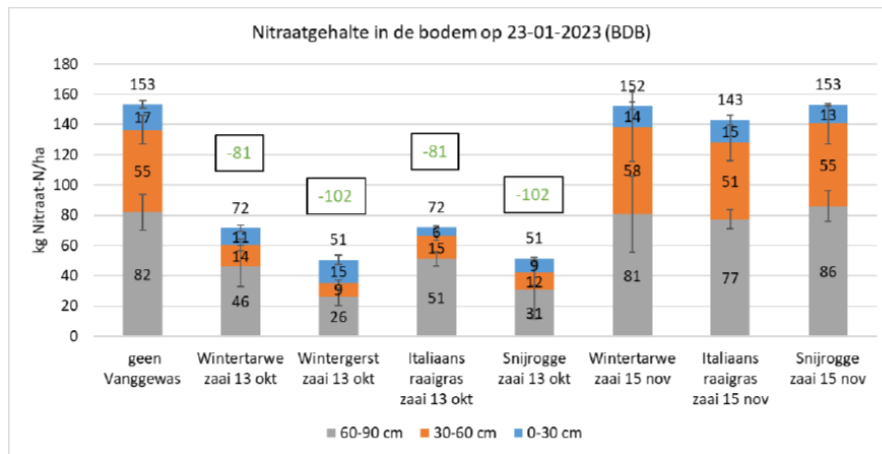
Figuur 11: Verloop van het nitraatstikstofgehalte in de bodem (0 - 90 cm) ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) bij inzaai van verschillende volgteelten op 30 oktober en 14 november in Bekkevoort (2020 – 2021) (Bron: Dillen & De Blauwer, 2021)



Figuur 12: Verloop van het nitraatstikstofgehalte in de bodem (0 - 90 cm) ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) bij inzaai van verschillende volgteelten op 19 oktober en 18 november in Ledegem (2020 – 2021) (Bron: Dillen & De Blauwer, 2021)



Figuur 13: Verloop van het nitraatstikstofgehalte in de bodem (0 - 90 cm) ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) bij inzaai van verschillende volgteelten op 18 oktober en 15 november in Bekkevoort (2021 – 2022) (opm. op 12/10/2021 was de stalname tot 60 cm) (Bron: Dillen, 2022)



Figuur 14: Verloop van het nitraatstikstofgehalte in de bodem (0 - 90 cm) ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) bij inzaai van verschillende volgteelten op 12 oktober en 15 november op Pibo (2022 – 2023) (op 14 oktober werd  $98 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  gemeten) (Bron: Anonymus, 2023b)

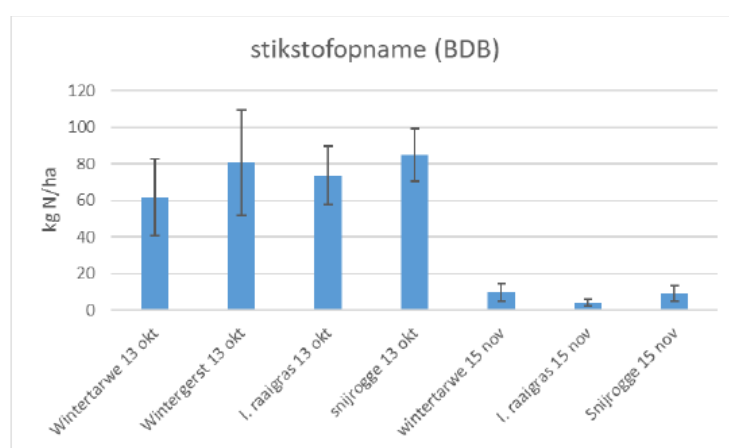


Tabel 25: Stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) en biomassaproductie ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) bij een vroege en late inzaai van verschillende volgteelten in Bekkevoort en Ledegem (2020 - 2021) (Bron: Dillen & De Blauwer, 2021)

		Stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )	Biomassa ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
Bekkevoort (oogst op 23 maart)			
Wintertarwe vroege zaai	31/okt	18	577
Wintergerst vroege zaai	31/okt	21	800
Italiaans raaigras vroege zaai	31/okt	18	731
Snijrogge vroege zaai	31/okt	20	789
Wintertarwe late zaai	14/nov	13	351
Italiaans raaigras late zaai	14/nov	12	376
Snijrogge late zaai	14/nov	15	493
Ledegem (oogst op 12 april)			
Wintertarwe vroege zaai	19/okt	38	1008
Wintergerst vroege zaai	19/okt	56	2529
Italiaans raaigras vroege zaai	19/okt	37	2121
Snijrogge vroege zaai	19/okt	49	2915
Wintertarwe late zaai	18/nov	20	467
Italiaans raaigras late zaai	18/nov	19	881
Snijrogge late zaai	18/nov	26	1031

Tabel 26: Bovengrondse stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) op 11 maart bij een vroege en late inzaai van verschillende volgteelten in Bekkevoort (2021 - 2022) (Bron: Dillen & De Blauwer, 2021)

		Stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )
Wintertarwe vroege zaai	18/okt	39
Wintergerst vroege zaai	18/okt	32
Italiaans raaigras vroege zaai	18/okt	43
Snijrogge vroege zaai	18/okt	46
Wintertarwe late zaai	15/nov	16
Italiaans raaigras late zaai	15/nov	13
Snijrogge late zaai	15/nov	18



Figuur 15: Bovengronds stikstofopname ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) op 23 februari 2023 bij inzaai van verschillende volgteelten op 13 oktober en 15 november op Pibo (2022 - 2023) (Bron: Anonymus, 2023b)

## BIJLAGE 4

Voor 3 begraasde graslandpercelen (voor 1 september 250 kg N ha<sup>-1</sup> toegediend via minerale meststoffen plus 0 of 27 kg N ha<sup>-1</sup> ten laatste op 1 september) (2000 - 2002) werd de gemiddelde DS-opbrengst en N-opname respectievelijk op 1.9 ± 0.5 ton DS ha<sup>-1</sup> en 63 ± 19 kg N ha<sup>-1</sup> begroot. Op een deel van dezelfde graslandpercelen werd de begrazing op 1 september gestopt en werd half oktober een maaisnede (0 of 54 kg N ha<sup>-1</sup> bemest ten laatste op 1 september) afgevoerd. De gemiddelde DS-opbrengst en N-opname van deze maaisnede waren respectievelijk 2.7 ± 1.1 ton DS ha<sup>-1</sup> en 98 ± 53 kg N ha<sup>-1</sup> (De Vlieghe *et al.*, 2003a & b). Na het stoppen van de begrazing eind augustus toonden de gemiddelde N-opnames van 3 zand-, zandleem- en kleiperdelen, gemeten via een maaisnede in oktober en 2<sup>de</sup> bemonstering half november (2010 - 2012), aan dat in september tot half november 75 ± 11 kg N ha<sup>-1</sup> werd opgenomen. Een extra maaisnede in september resulteerde in een N-opname van 99 ± 48 kg N ha<sup>-1</sup> (De Vlieghe & Vandecasteele, 2014). Wekelijkse metingen op 5 gemaaide graslanden na 1 augustus gaven in 2020 een gemiddelde DS-opbrengst en N-opname van respectievelijk 2.5 ton DS ha<sup>-1</sup> en 82 kg N ha<sup>-1</sup> (Anonymus, 2020). In 2021 was de gemiddelde DS-opbrengst van week 31 t.e.m. 40 van 4 gemaaide graslanden 3.1 ton DS ha<sup>-1</sup> (Anonymus, 2021). De gemiddelde DS-opbrengst gemeten van week 30 t.e.m. 45 in 2022 op 7 gemaaide graslanden (4 gras - klaver en 3 Engels raaigrasperdelen) was 2.5 ton DS ha<sup>-1</sup> (Versavel, 2022).

Het effect van het einde van intensieve begrazing werd in 2000 - 2002 op 3 Vlaamse locaties onderzocht. Voor 1 september werden de graslanden intensief begraasd door melkvee of jongvee en werd gemiddeld 250 kg N ha<sup>-1</sup> via minerale meststoffen toegediend. De weilanden werden op 1 september opgesplitst in een deel dat nog verder begraasd werd en een onbegraasd deel dat half oktober gemaaid werd. Zowel op 1 september als in november werd het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu gemeten. Het gemiddelde NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij het begraasde (bemesting van 0 of 27 kg N ha<sup>-1</sup> ten laatste op 1 september) nam met 18 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> toe, terwijl er een afname van 11 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> was in het gemaaide deel (bemesting van 0 of 54 kg N ha<sup>-1</sup> bemest ten laatste op 1 september). Het verschil in NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu was in november gemiddeld 28 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> (De Vlieghe *et al.*, 2003a & b). In 2010 - 2012 werd een vergelijkbaar experiment uitgevoerd, maar bij geldende lagere N-bemestingsnormen van 235 en 245 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> voor respectievelijk zand- en niet-zandbodems. Op 3 Vlaamse zand-, zandleem- en kleiperdelen was half november het gemiddelde NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu voor het begraasde en vanaf 1 september niet-begraasde, gemaaide deel respectievelijk 50 en 51 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>. Het NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-gehalte was wel hoger in het begraasde deel nl. 21 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> t.o.v. 12 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> (0 - 30 cm) dan in het gemaaide deel (De Vlieghe & Vandecasteele, 2014). Het 2 maanden vroeger opstallen van melkvee in Nederland en schapen in Engeland resulteerde in een daling van het N<sub>min</sub>-residu van respectievelijk 23 en 22 kg N ha<sup>-1</sup> (Holshof & Willems, 2004). Deze onderzoeken geven aan dat het eerder opstallen van vee in het najaar in een daling van het N<sub>min</sub>-residu van 10 tot 30 kg N ha<sup>-1</sup> resulteert.