



Vlaamse Landmaatschappij
SAMEN INVESTEREN IN DE OPEN RUIMTE

Onderzoeksopdracht

Beste landbouwpraktijken van teelten in
combinatie met nateelten/vanggewassen



Literatuurstudie

2 oktober 2014

Consortium

Universiteit Gent

ILVO Plant

Inagro

Bodemkundige Dienst van België

Hogeschool Gent

Refereren naar deze literatuurstudie:

De Waele, J., Odeurs, W., Elsen, A., Vandecasteele, B., De Vliegheer, A., Haesaert, G., Derycke, V., Verlinden, G., Bries, J., Wittouck, D., De Neve, S. (2014). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/ vanggewassen. Literatuurstudie. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 91 p.

INHOUDSOPGAVE

English summary.....	1
1 Inleiding.....	2
1.1 Onderzoeksopdracht.....	2
1.2 De rol van vanggewassen	2
2 Bemestingsnormen van granen in vlaanderen	4
2.1 Stikstofbehoefte wintertarwe.....	4
2.2 Evolutie bemestingsnormen voor wintertarwe	7
2.2.1 Mestactieplan 1, 2 en 3.....	7
2.2.2 MAP4.....	8
2.3 Evaluatie bemestingsnormen granen.....	9
2.4 Nitraat-N-residu na granen.....	10
2.4.1 Nitraat-N-residu referentieperiode.....	10
2.4.2 Nitraat-N-residu bij oogst.....	12
2.4.3 Stikstofmineralisatie najaar	13
2.4.4 Organische bemesting na de oogst van de hoofdteelt.....	15
2.4.5 Stikstofvrijstelling uit oogstresten	18
3 Soorten vanggewassen.....	19
3.1 Indeling van de vanggewassen	19
3.1.1 Bladrijke vanggewassen	19
3.1.2 Grasachtige vanggewassen.....	19
3.1.3 Vlinderbloemige vanggewassen	20
3.2 Factoren die de keuze van het vanggewas bepalen.....	20
3.2.1 Gewenste functie van het vanggewas.....	20
3.2.2 Plaats binnen de teeltrotatie	23
3.2.3 Zaaitijdstip	24
3.2.4 Kostprijs.....	24
3.2.5 Aanlegwijze.....	25
3.2.6 Vernietigingswijze	25
4 Stikstofopname door vanggewassen.....	27
4.1 Inleiding.....	27
4.2 Ontwikkeling van het vanggewas en zijn stikstofopname	29
4.3 Effect van de wortelontwikkeling op de stikstofopname	36
4.4 Effect van het zaaitijdstip op de stikstofopname	38
4.5 Effect van bemesting op de stikstofopname	41
5 Mineralisatie van vanggewassen na inwerken in de bodem	47

5.1	Afbraak van vanggewassen.....	47
5.2	Stikstofmineralisatie.....	47
5.3	Opbouw van organische koolstof.....	52
6	Uitspoeling en uitloging.....	56
6.1	Uitspoeling uit de bodem	56
6.2	Uitloging uit het strooisel van vanggewassen.....	59
7	Effect op het volggewas.....	61
8	Immobilisatie	63
9	Denitrificatie	65
10	Vanggewassen en N-fixatie in de biologische landbouw	73
11	Referenties.....	75
12	Bijlage 1: Vlaamse referentieprojecten	82
	ADLO-project “Beheersing van het nitraatresidu in de akkerbouw: een permanente uitdaging”	82
	Demonstratieproject “Beperken van nitraatresidu in de vollegrondsgroenteteelt via beredeneerde N-bodembalans”	82
	N-(eco) ² -studie.....	82
	“Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm”	83
	“Analyse van Nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw”	83
	“N-monitoring in relatie tot de mineralisatie van diverse groenbemesters”	83
	“Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem”	84
13	Bijlage 2: Fiches van de meest voorkomende vanggewassen.....	85
	Gele mosterd (<i>Sinapis alba</i>).....	85
	Bladrammenas (<i>Raphanus sativus</i>).....	86
	Facelia (<i>Phacelia tanacetfolia</i>).....	87
	Italiaans raaigras (<i>Lolium multiflorum</i>).....	88
	Snijrogge (<i>Secale cereale</i>).....	89
	Japanse haver (<i>Avena strigosa</i>)	90
	Wikke (<i>Vicia sativa</i>).....	91

ENGLISH SUMMARY

This literature review shows the fertilisation standards for cereals which became more and more limited during the sequence of action plans. The nitrate-N residue between the first of October and the 15th November after cereals responded positively on the restrictions set in the action plans and the more sustainable and more reasoned fertilisation. However this evolution of lower nitrate residues resulted in lower amounts of nitrate available for plant growth in spring which results in higher nitrogen fertilisation. Under the restricted fertilisation standard the higher advices cannot be accomplished anymore. If the amount of nitrogen supplied for a catch crop has to be taken into account in the standard for the cereal crop a profitable culture of cereals will not always be possible. An overview of Flemish and international studies on catch crops shows the capacity of different types of catch crops. The nitrate-N-residue was always lower when catch crops were cultivated and nitrate leaching during winter was reduced. N₂O emissions decreased due to catch crop cultivation in winter, but increased after catch crop incorporation. N uptake in the above ground parts can be highly variable but N-uptake figures of 178 kg N/ha were measured in Belgian studies. Most studies resulted in N-uptake figures between 20 and 100 kg N/ha. N-uptake is shown to be function of N-availability, sowing date, crop type and weather conditions. Fertilisation of the catch crop resulted in higher N-uptake but the amount of N supplied by fertilisation was not always used for 100%. Both efficient and non-efficient use of N-fertilisation was shown. The moment of N-mineralisation of the catch crop depends on the moment of incorporation of the catch crop and the type of catch crop cultivated. N-mineralisation of the catch crop can reach from 9 kg N/ha for a poorly developed catch crop incorporated in autumn to 42 kg N/ha for a well-developed catch crop incorporated in spring. Catch crops in the crop rotation also help to maintain the level of organic matter in the soil. For this purpose grasses are the most appropriate. The amount of organic matter contributed by catch crops one year after incorporation can be estimated at 900 to 1100 kg/ha.

1 INLEIDING

1.1 ONDERZOEKSOPDRACHT

Deze literatuurstudie combineert resultaten uit internationaal en Vlaams onderzoek, respectievelijk samengesteld door de UGent en de Bodemkundige Dienst van België. Ze werd opgesteld in het kader van de onderzoeksopdracht *'Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten of vanggewassen'*. Deze onderzoeksopdracht werd uitgeschreven door de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) en werd voorgelegd aan het Onderzoeks- en voorlichtingsplatform duurzame bemesting. Het platform werd opgericht als één van de flankerende maatregelen van Mestactieplan IV.

Het gebruik van vanggewassen is een agromilieumaatregel die tot doel heeft de verliezen van stikstof na een bepaalde teelt (in casu graangewassen) te verminderen in vergelijking met een teelt die niet door een vanggewas wordt gevolgd. Bij toediening van een bijkomende bemesting op de graanstoppel moet het dus zo zijn dat de N-verliezen door uitspoeling kleiner zijn dan bij een (onbemeste) graanstoppel die niet gevolgd wordt door een vanggewas. Bovendien mogen de verliezen niet significant groter zijn dan bij een graanstoppel gevolgd door een niet-bemest vanggewas. De onderzoeksvraag vanuit de VLM was dus in eerste instantie of een bemesting op de graanstoppel, gevolgd door een vanggewas, mogelijk is binnen deze randvoorwaarden, en hoe groot deze bemesting dan kan zijn. Aangezien deze bemesting op de stoppel momenteel begrepen is in de totale bemestingsnorm voor het graangewas is het noodzakelijk een globale evaluatie van de bemestingsnorm uit te voeren. Bijkomend moet nagegaan worden wat de effecten zijn van het inbrengen van het vanggewas, met bijkomende bemesting, op de opbouw van organische (kool)stof in de bodem. Binnen de steeds strenger wordende bemestingsnormen in Vlaanderen is het behoud of de opbouw van bodem organische stof immers een zeer grote bezorgdheid. Het doel van het onderzoeksproject was om via een combinatie van een literatuurstudie, gerichte veldproeven, incubatieproeven en modellering een antwoord te geven op deze vragen.

De overeenkomst voor het uitvoeren van de opdracht werd afgesloten tussen enerzijds de VLM en anderzijds het consortium van de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. De uitvoering van de opdracht ging van start op 1 oktober 2011.

1.2 DE ROL VAN VANGGEWASSEN

Minerale stikstof (N_{\min}) is cruciaal voor de gewasgroei. Een teveel aan N_{\min} in de bodem zorgt voor verliezen die onder meerdere vormen – met uitzondering van N_2 – schadelijk zijn voor het milieu. Nitraten kunnen bij een neerslagoverschot terechtkomen in het grondwater. Dit heeft 3 grote nadelige gevolgen:

1. Een verhoogd nitraatgehalte maakt het grondwater ongeschikt voor menselijke consumptie; nitraten worden in het menselijk lichaam omgezet tot nitrieten. In het bloed bindt nitriet met hemoglobine en vormt methemoglobine, waardoor zuurstoftekorten kunnen optreden. Bij kleine kinderen kan dit leiden tot het blauwe babysyndroom (Knobeloch et al., 2000). Nitrieten kunnen in de maag ook omgezet worden tot nitrosamines, die een carcinogene werking hebben op het gastro-intestinaal kanaal (Ward et al., 2005).
2. Via het verontreinigd grondwater komen de nitraten ook in het oppervlaktewater terecht, waar zij bijdragen tot de problematiek van eutrofiëring.

3. Het verlies van nitraten uit de bodem wordt in de conventionele landbouw gecompenseerd met de jaarlijkse toediening van kunstmest. Het aanmaken van kunstmest is een zeer kostelijk en energieverwendend proces.

Het telen van vanggewassen kan dan ook pas als een doeltreffende maatregel beschouwd worden als dit de vraag naar toediening van stikstof in het daaropvolgende jaar verkleint (Vos & van der Putten, 2001). Het verlies aan nitraten in de winter wordt immers omgebogen in een N-gift aan het volgende hoofdgewas.

De efficiëntie van vanggewassen hangt af van:

1. De stikstofopnamesnelheid van het vanggewas tijdens het najaar; deze hangt sterk af van het soort vanggewas, van het inzaaitijdstip, van de weersomstandigheden en van de concentratie en verdeling van N_{\min} in de bodem.
2. De retentie van stikstof in het vanggewas tot het moment van inwerken; dit hangt voornamelijk af van de winterhardheid van de soort. Die winterhardheid kan negatief beïnvloed worden door hogere beschikbaarheid van stikstof; voor winterrogge werd reeds aangetoond dat 's winters het N-verlies uit het plantenweefsel groter is bij bemesting en vroege inzaai (Vos & van der Putten, 2001).
3. Het mineralisatiepatroon van stikstof uit het vanggewas in relatie tot de evolutie van de stikstofvraag van het volggewas; dit hangt af van het tijdstip van inwerken, de C:N-verhouding en alle andere factoren die de afbraak- en mineralisatiesnelheid beïnvloeden. Idealiter is de mineralisatiesnelheid het hoogst op het moment dat de stikstofvraag van het volggewas het grootst is.

De waarde van vanggewassen ligt echter niet enkel in de beperking van de N-uitspoeling; ze kunnen bij correct gebruik in een rotatie ook een positief effect hebben op de bestrijding van plagen, ziekten en onkruiden (Abawi & Widmer, 2000), ze dragen bij tot de opbouw van bodemorganische stof, verbeteren de bodemstructuur, stimuleren het bodemleven en de biodiversiteit en beschermen de bodem tegen verslemping en erosie.

Vanggewassen kunnen tevens een belangrijke rol spelen in de nutriëntencycli. Planten stimuleren immers de afbraak van organische substraten door labiele C-vormen vrij te stellen voor de microbiële populatie in de wortelzone (Cheng et al., 2003). De afbraak- en N-mineralisatiesnelheid zijn afhankelijk van de plantensoort, de samenstelling van de microbiële gemeenschap en de nutriëntenbeschikbaarheid. De netto N-mineralisatie is niet enkel afhankelijk van de C:N-verhouding, maar wordt positief beïnvloed door de verschillen in stochiometrie tussen het eerste en tweede trofische niveau. De secundaire consumenten (protozoa, nematoden) leven van de primaire (bacteriën, schimmels) en stellen daarbij N vrij. Hieruit volgt dat de structuur van het voedselweb een significante regulator is voor de beschikbaarheid van nutriënten voor de primaire producenten (de planten). Er zijn steeds meer bewijzen voorhanden dat planten naargelang hun nutriëntenbehoefte dit mechanisme beïnvloeden door de hoeveelheid oplosbare C die ze vrijstellen via de wortels. Sommige planten creëren hun eigen microbiële gemeenschap in hun wortelzone en slagen er zo in de mineralisatie zowel ruimtelijk als temporeel af te stemmen op hun opname, waardoor de hoeveelheid N_{\min} in de bodem tot een minimum beperkt wordt. Door voor zulke planten te kiezen, kan het toedienen van oplosbare anorganische meststoffen beperkt worden tot het strikt noodzakelijke, en kan het risico op uitspoeling ook tijdens het groeiseizoen tot nul gereduceerd worden (Drinkwater & Snapp, 2007).

2 BEMESTINGSNORMEN VAN GRANEN IN VLAANDEREN

2.1 STIKSTOFBEHOEFTE WINTERTARWE

De bemesting van granen richt zich vooral op de stikstofbemesting. Een algemene goede vruchtbaarheidstoestand en pH-toestand van graanpercelen is uiteraard ook van belang maar hieraan wordt doorgaans gewerkt in rotatieverband. Een voldoende stikstofvoorziening is uitermate belangrijk voor de huidige hoogproductieve tarwevariëteiten. Voor een goede korrelopbrengst is behoorlijk wat stikstof nodig aangezien de tarwekorrels veel eiwitten bevatten. Een algemene stelregel in relatie tot de korrelopbrengst is een stikstofbehoefte van 25 kg N per ton korrels met een eiwitgehalte van 11 % (voedertarwe) tot 13 % (baktarwe). Van deze 25 kg N wordt 18 à 20 kg geïnvesteerd in de korrelgroei (Darwinkel, 1997). Ook in Nederland is men overtuigd van de hoge stikstofbehoefte van productieve wintertarwe met hoge eiwitgehalten. Voor een productie van 10 ton graan met een eiwitpercentage van 13 % op een kleigrond wordt de stikstofbehoefte begroot op 246 kg stikstof (Nutrinorm, 2012). De stikstofopname (kg N ha⁻¹) in korrel en stro wordt ingeschat zoals weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1: STIKSTOFOPNAME (KG N HA⁻¹) IN KORREL EN STRO IN FUNCTIE VAN GRAANOPBRENGST (TON HA⁻¹) EN EIWITGEHALTE (%) (NUTRINORM, 2012).

Graanopbrengst (ton ha ⁻¹)	Eiwitgehalte		
	13%	12%	11%
8	197	181	164
9	221	203	185
10	246	226	205
11	270	248	226
12	295	271	247

De vermelde benodigde hoeveelheid stikstof dient uiteraard niet volledig aangevoerd te worden. Ook de minerale stikstof aanwezig in het profiel bij de aanvang van het groeiseizoen en de stikstof die door mineralisatie wordt vrijgezet gedurende het groeiseizoen van de granen kan worden aangesproken. Deze hoeveelheden kunnen gemeten en begroot worden en dienen niet meer mineraal of organisch aangevoerd te worden.

De nitraatvoorraden in het voorjaar zijn echter onderhevig aan weersinvloeden, zijn functie van de voorafgaande teelt en worden tevens beïnvloed door de geldende bemestingsnormen. Tussen de gemiddelde stikstofvoorraad in het voorjaar (1 januari tot 15 maart) in de periode 1989-1991 (Hendrickx et al., 1992) en de periode 2008-2011 (Maes et al., 2012) zijn grote verschillen (Tabel 2).

TABEL 2: GEMIDDELDE HOEVEELHEID NO₃-N EN NH₄-N (KG HA⁻¹) IN DE BODEM (0-90 CM) VAN AKKERBOUWPERCELEN IN HET VOORJAAR VOOR VERSCHILLENDE PERIODEN EN TEELTEN (MAES ET AL., 2012).

Teelt	Periode	NO ₃ -N	NH ₄ -N
Wintertarwe	1989-1991	140,7	14,6
	2008-2011	76,4	15,3
Suikerbieten	1989-1991	132,9	12,9
	2008-2011	74,5	14,4
Aardappelen	1989-1991	87,8	12,2
	2008-2011	46,8	11,9
Witloof	1989-1991	75,9	14,2
	2008-2011	46,8	13,8

Voor de teelt van winter tarwe zat er in de periode 1989-1991 gemiddeld 64,3 kg NO₃-N meer in de bodemlaag van 0-90 cm in vergelijking met de situatie in de periode 2008-2011 (Tabel 2). De grote verschillen in nitraatstikstof tussen beide perioden zijn het gevolg van de verbeterde bemestingspraktijken, de steeds strengere bemestingsnormen en de strengere uitrijmaatregelen (Tits et al., 2010).

De kleiner wordende stikstofvoorraden in het voorjaar resulteren echter in gemiddeld hogere adviezen zoals blijkt uit Figuur 1 en Figuur 2. De evolutie van de stikstofadviezen in functie van een optimaal teeltrendement blijkt ook uit de statistieken van de stikstofbemestingsadviezen van de Bodemkundige Dienst van België (Tabel 3).

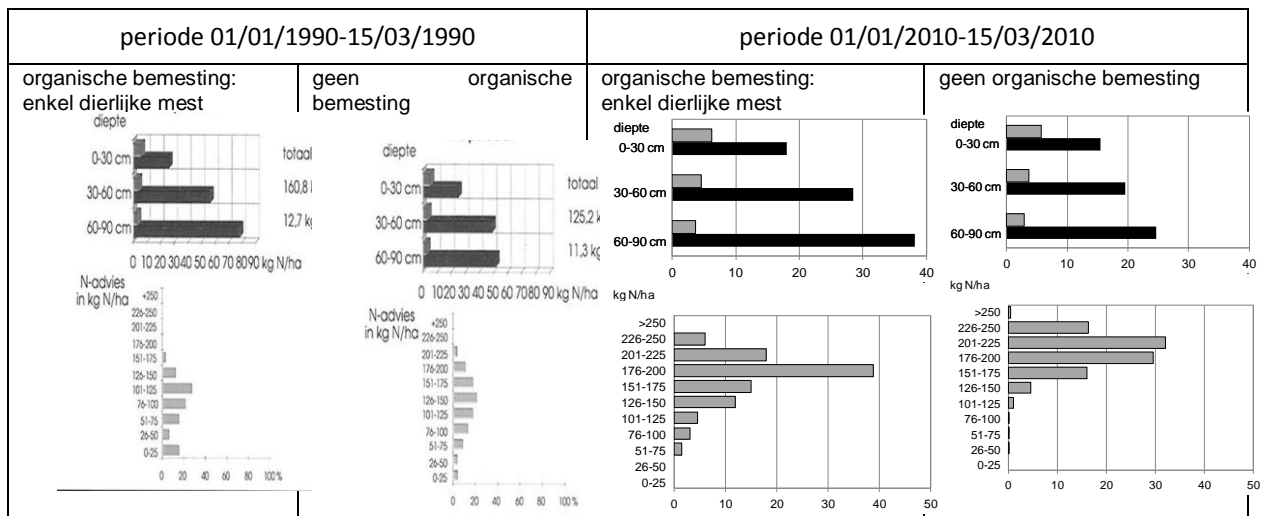
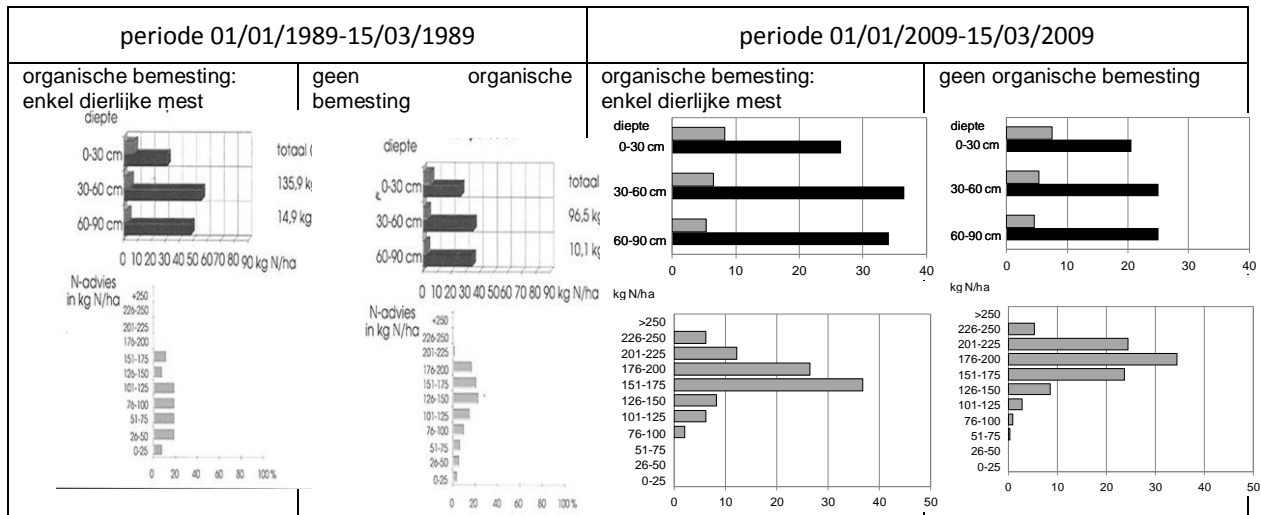
Deze stikstofbemestingsadviezen zoals geformuleerd door Bodemkundige Dienst van België zijn gebaseerd op de N-indexmethode die rekening houdt met de minerale stikstofvoorraad op het moment van staalname, de verwachte stikstofmineralisatie en eventuele verliezen. Echter niet enkel de totale stikstofgift is van belang maar ook de fractionering, die zorgt voor een betere benutting van de toegediende bemesting.

TABEL 3: OVERZICHT GEMIDDELD STIKSTOFADVIES (KG N HA⁻¹) VOOR DE TEELT VAN WINTERTARWE* OP BASIS VAN DE N-INDEXMETHODE EN PERCENTAGE ADVIEZEN HOGER DAN 175 KG N HA⁻¹ (STATISTIEKEN BDB).

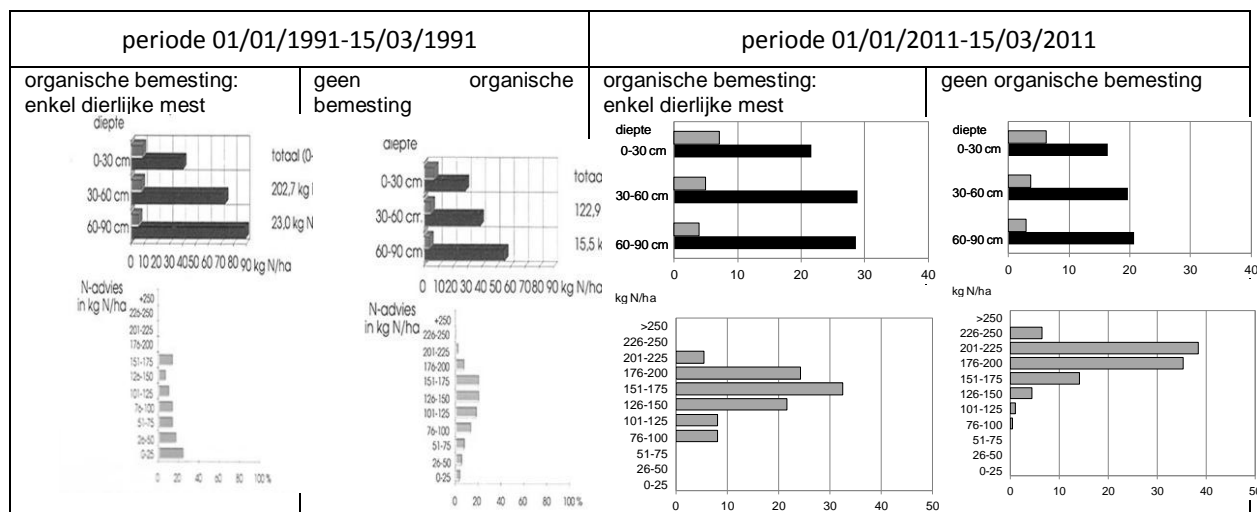
Jaar	Gemiddeld N-advies (kg N/ha)	% adviezen > 175 kg N/ha
2000	167	47
2001	184	65
2002	177	56
2003	185	66
2004	155	30
2005	141	26
2006	173	52
2007	190	71
2008	185	65
2009	183	63
2010	196	78
2011	193	78
2012	188	73
Gemiddeld	178	59

*175 kg werkzame N ha⁻¹ = norm winter tarwe zonder nateelt op niet-zandgrond (zie Tabel 5).

De gemiddelde stikstofadviezen in Tabel 3 worden geëvalueerd ten opzichte van de stikstofbemestingsnorm voor de teelt van winter tarwe (op niet zandgrond zonder nateelt) binnen MAPIV zonder bijkomendheden omtrent beheerovereenkomst of kwetsbaar gebied natuur. Binnen de verdere literatuurstudie zullen de bemestingsadviezen en de nitraat-N-residuen steeds geëvalueerd worden ten opzichte van normen geldend binnen MAP4.



FIGUUR 1: GEMIDDELDE RESERVE AAN MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM BIJ TOEPASSING VAN VERSCHILLENDE BEMESTINGSPRAKTIJKEN EN PROCENTUELE VERDELINGEN VAN DE STIKSTOFADVIEZEN VOOR DE TEELT VAN WINTERTARWE; LINKS VOOR 1989-1990 EN RECHTS VOOR 2009-2010 VOOR DE PERIODE VAN 1 JANUARI TOT EN MET 15 MAART (HENDRICKX ET AL., 1992 EN MAES ET AL., 2012).



FIGUUR 2: GEMIDDELTE RESERVE AAN MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM BIJ TOEPASSING VAN VERSCHILLENDE BEMESTINGSPRAKTIJKEN EN PROCENTUELE VERDELINGEN VAN DE STIKSTOFADVIEZEN VOOR DE TEELT VAN WINTERTARWE; LINKS VOOR 1991 EN RECHTS VOOR 2011 VOOR DE PERIODE VAN 1 JANUARI TOT EN MET 15 MAART (HENDRICKX ET AL., 1992 EN MAES ET AL., 2012).

2.2 EVOLUTIE BEMESTINGSNORMEN VOOR WINTERTARWE

2.2.1 MESTACTIEPLAN 1, 2 EN 3

Een overzicht van de bemestingsnormen voor granen tijdens de eerste drie mestactieplannen wordt gegeven in Tabel 4. In 2001 werd de toegelaten hoeveelheid totale N voor het eerst verminderd. De toegelaten totale N-gift bedroeg niet langer 300 kg N ha^{-1} maar 275 kg N ha^{-1} . De N-gift uit kunstmest bleef ongewijzigd maar de N-aanvoer uit dierlijke mest of andere meststoffen moest beperkt worden. De beperking van de N-gift uit dierlijke mest werd verdergezet in 2003. De maximale N-aanvoer uit dierlijke mest of andere meststoffen bedroeg niet langer 300 kg N ha^{-1} maar 200 kg N ha^{-1} .

TABEL 4: OVERZICHT BEMESTINGSNORMEN VOOR WINTERTARWE BINNEN MAP1, 2 EN 3.

	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)				
		Totale N		N dierlijk	N andere meststof	N kunstmest
		zand	niet zand			
Algemeen gebied	2000	130	300	300	300	200
	2001	110	275	275	225	200
	2002	110	275	275	225	200
	2003	100	275	275	200	200
	2004	100	275	275	200	200
	2005	100	275	275	200	200
	2006	100	275	275	200	200
Vlaanderen volledig kwetsbaar*						
Kwetsbaar gebied	2007	95	275	275	170	175
	2008	90	270	275	170	175
	2009	85	265	275	170	175
	2010	85	260	275	170	175

*vóór 2007 was in het grootste deel van Vlaanderen de norm Algemeen gebied geldig; vanaf 2007 was heel Vlaanderen Kwetsbare zone Water

Het derde Vlaamse actieprogramma van 2007-2010 voerde verscherpte maatregelen in en het Vlaamse grondgebied werd volledig afgebakend als kwetsbaar gebied. De totale hoeveelheid toegelaten N bleef aanvankelijk ongewijzigd maar de toegelaten N-aanvoer uit dierlijke of andere mestsoorten werd beperkt tot 170 kg N ha^{-1} en de N-gift uit kunstmeststoffen werd beperkt tot 175 kg N ha^{-1} .

N ha⁻¹. Sinds 2008 werd voor de totale N-gift ook onderscheid gemaakt tussen zand- en niet zandgronden. Op de zandgronden werd de totale N-norm jaarlijks met 5 kg verminderd sinds 2007.

Binnen MAP3 werden niet alleen de normen strenger maar werd voor verschillende soorten meststoffen een uitrijregeling uitgewerkt die bepaalt in welke periode het verboden is de meststof nog toe te dienen.

2.2.2 MAP4

Het vierde actieprogramma, in voege sinds 2011, voert de maatregelen van het vorige programma verder uit maar voert tevens een aanzienlijke verscherping van de maatregelen door.

Tot 2011 gebruikte Vlaanderen een systeem van maximale bemestingsnormen uitgedrukt in totale N. Dit betekent dat de totale N-inhoud van dierlijke mest en andere organische meststoffen in rekening moet gebracht worden. Binnen MAP4 is aan de telers de mogelijkheid geboden om met het systeem van totale N verder te werken of te opteren voor het systeem van werkzame N. In het systeem van de werkzame N wordt rekening gehouden met de werkingscoëfficiënten van meststoffen en wordt gerekend met de teeltbeschikbare N. Dit systeem zou de landbouwers moeten stimuleren om organische meststoffen op de meest efficiënte manier toe te passen.

Een overzicht van de bemestingsnormen voor granen in het totale of werkzame N-systeem wordt gegeven in Tabel 5 en Tabel 6.

2.2.2.1 BEMESTINGSNORMEN IN HET SYSTEEM VAN TOTALE N (TOTALE N-SYSTEEM)

De N-bemestingsnormen voor dierlijke mest en andere meststoffen blijven onveranderd indien een nateelt na het graangewas wordt ingezaaid. Deze nateelt kan zowel een vanggewas als tijdelijk grasland of een wintergraan zijn. Dit betekent dat 170 kg N ha⁻¹ (Tabel 5) uit dierlijke mest kan aangewend worden. In het nieuwe actieprogramma 2011-2014 zijn aanscherpingen voorzien voor granen niet gevolgd door een nateelt. De N-bemestingsnorm voor dierlijke en andere meststoffen bedraagt zonder nateelt nog slechts 100 kg N ha⁻¹.

TABEL 5: OVERZICHT BEMESTINGSNORMEN GRANEN IN HET TOTALE N-SYSTEEM BINNEN MAP4.

Gewas (combinatie)		N (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)						
		Totale P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	Totale N		N dierlijk	N andere meststoffen	N kunstmest	
			zand	niet zand			zand	niet zand
Wintertarwe/ triticale	Nateelt	75	250	265	170	170	80	95
	Geen nateelt	75	200	215	100	100	100	115
Wintergerst/ andere graangewassen	Nateelt	75	200	215	170	170	30	45
	Geen nateelt	75	150	165	100	100	50	65

De totale N-bemestingsnorm evolueerde verder in negatieve zin en in totaal mag 10 kg N ha⁻¹ minder worden aangevoerd dan binnen MAP3. Dit betekent dat op zand- en niet zandgronden respectievelijk 250 en 265 kg N ha⁻¹ in totaal mag aangebracht worden voor wintertarwe gevolgd door een nateelt. De minerale N-bemestingsnorm is drastisch gedaald in vergelijking met het vorige actieprogramma.

2.2.2.2 BEMESTINGSNORMEN IN HET SYSTEEM VAN WERKZAME N (WERKZAME N-SYSTEEM)

De N-bemestingsnormen voor dierlijke mest blijft onveranderd indien een nateelt na het graangewas wordt ingezaaid, namelijk 170 kg N totale N uit dierlijke mest (Tabel 6). De hoeveelheid andere organische meststoffen wordt bepaald door de werkzame N van de meststof en de werkzame N uit de dierlijke mest in rekening te brengen. De werkzame N wordt begroot met behulp van de werkingscoëfficiënten voorgesteld in Tabel 7.

TABEL 6: OVERZICHT BEMESTINGSNORMEN GRANEN IN HET WERKZAME N-SYSTEEM BINNEN MAP4.

Gewas (combinatie)		Totale P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	Werkzame N (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)		N dierlijk (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)
			zand	niet zand	
Wintertarwe/ triticale	Nateelt	75	180	195	170
	Geen nateelt	75	160	175	100
Wintergerst/ andere graangewassen	Nateelt	75	130	145	170
	Geen nateelt	75	110	125	100

TABEL 7: OVERZICHT WERKINGSCOËFFICIËNTEN VAN VERSCHILLENDE MESTSTOFFEN (% VAN TOTALE N).

Meststoffen	Werkingscoëfficiënt
Mengmest runderen en varkens, dunne fractie na scheiding	60%
Andere organische meststoffen (behalve gecertificeerde GFT- en groencompost)	60%
Stalmest, champost, vaste dierlijke mest	30%
Begrazing	20%
Gecertificeerde GFT- en groencompost	15%
Effluent van biologie	100%
Kunstmest	100%

2.2.2.3 ORGANISCHE BEMESTING NA DE OOGST VAN WINTERGRANEN

Na de oogst van granen is het een frequent toegepaste praktijk om organische meststoffen toe te dienen op de graanstoppel. Vaak is de gebruikte organische mest vloeibaar zoals runder- of varkensmengmest. In MAP4 wordt het gebruik van vloeibare dierlijke mest op de graanstoppel beschouwd als zijnde geen goede landbouwkundige praktijk. Bij het aanscherpen van het mestbeleid in Vlaanderen in het vierde actieprogramma wordt bijgevolg het gebruik van vloeibare, dierlijke mest na de oogst verboden als hetzelfde jaar geen gewas meer ingezaaid wordt. Concreet betekent dit voor zware klei in de polders en niet-poldergronden het volgende:

- Op zware klei in de polders kunnen na de oogst van de hoofdteelt enkel nog vloeibare dierlijke mest, andere meststoffen of kunstmest toegediend worden bij inzaai van een vanggewas binnen de 15 dagen na bemesting of bij inzaai van een vanggewas of nateelt. Volgens de huidige regelgeving kan dierlijke mest worden toegediend tot en met 14 oktober, stalmest en champost tot en met 14 november, andere meststoffen en kunstmest tot en met 31 augustus. Indien geen vang- of volggewas wordt ingezaaid na de oogst zijn vloeibare mest, kunstmest en andere meststoffen met snel vrijkomende stikstof verboden.
- Op andere akkerlandgronden is, in het geval dat een vanggewas wordt ingezaaid vóór 1 september, een maximale totale hoeveelheid vloeibare dierlijke of andere mest van 60 kg N ha⁻¹ of maximaal 30 kg N ha⁻¹ uit kunstmest of effluënten van de mestverwerking toegelaten. Wanneer geen nateelt vóór 1 augustus noch vanggewas voorzien wordt is het gebruik van vloeibare mest na de oogst van het gewas eveneens verboden. Als het niet mogelijk is om het vanggewas te zaaien vóór 1 september wegens uitzonderlijke weersomstandigheden, kan de Vlaamse minister van Leefmilieu beslissen dat het vanggewas moet worden gezaaid vóór 10 september. Dierlijke mest, andere meststoffen en kunstmest kunnen slechts toegediend worden tot en met 31 augustus. Voor stalmest en champost geldt dezelfde periode van toediening als op de zware kleigronden.

2.3 EVALUATIE BEMESTINGSNORMEN GRANEN

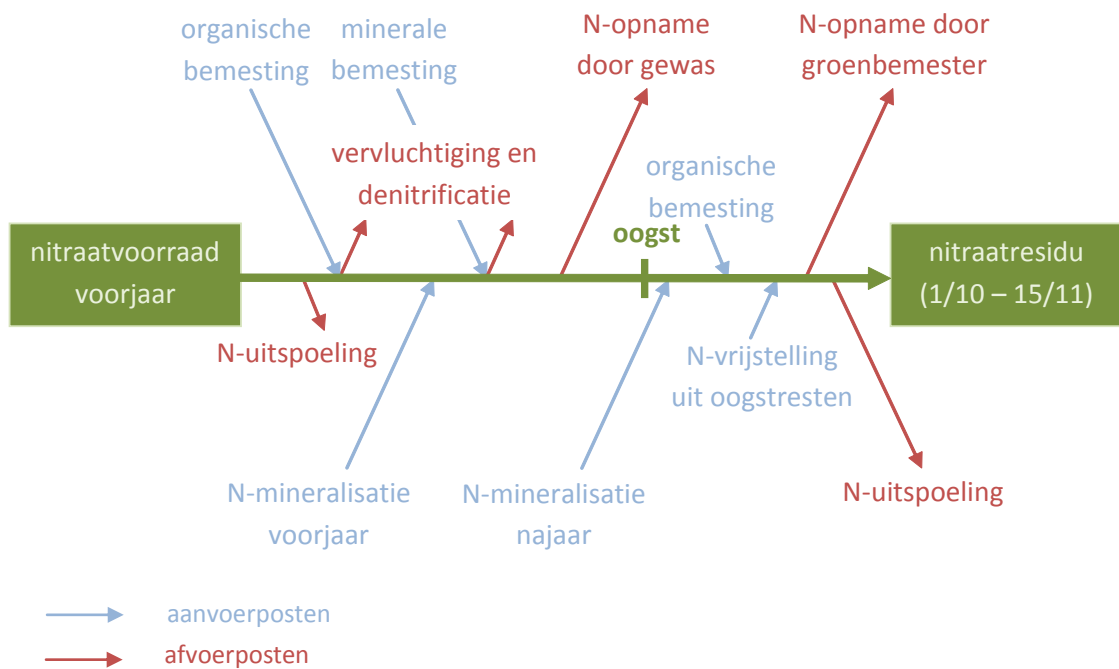
Vergelijking van de gemiddelden van de geformuleerde adviezen met de bemestingsnormen opgelegd door MAP4 voor de graanpercelen maakt duidelijk dat het gemiddelde advies zeer vaak de bemestingsnorm overschrijdt. Het stikstofadvies voor wintertarwe overschreed de laatste 13 jaren voor gemiddeld 59 % van de percelen de binnen MAP4 toegelaten stikstofgift (op niet zandgrond en

zonder vanggewas). Dit betekent dat onder de nieuwe normen opgelegd sinds 2011 op heel veel percelen het advies niet meer volledig kan ingevuld worden en bijgevolg theoretisch geen optimaal rendement kan gerealiseerd worden.

Wanneer daarenboven de bemesting op stoppel ook nog in de norm voor de teelt van de granen wordt meegerekend, wordt de ruimte voor bemesting in het voorjaar voor de tarweteelt op zich zeer beperkt.

2.4 NITRAAT-N-RESIDU NA GRANEN

Het nitraat-N-residu wordt gedefinieerd als de hoeveelheid nitraatstikstof aanwezig in het bodemprofiel tot 90 cm diep in de periode van 1 oktober tot en met 15 november. Deze hoeveelheid wordt beïnvloed door tal van factoren zoals aangegeven in Figuur 3.

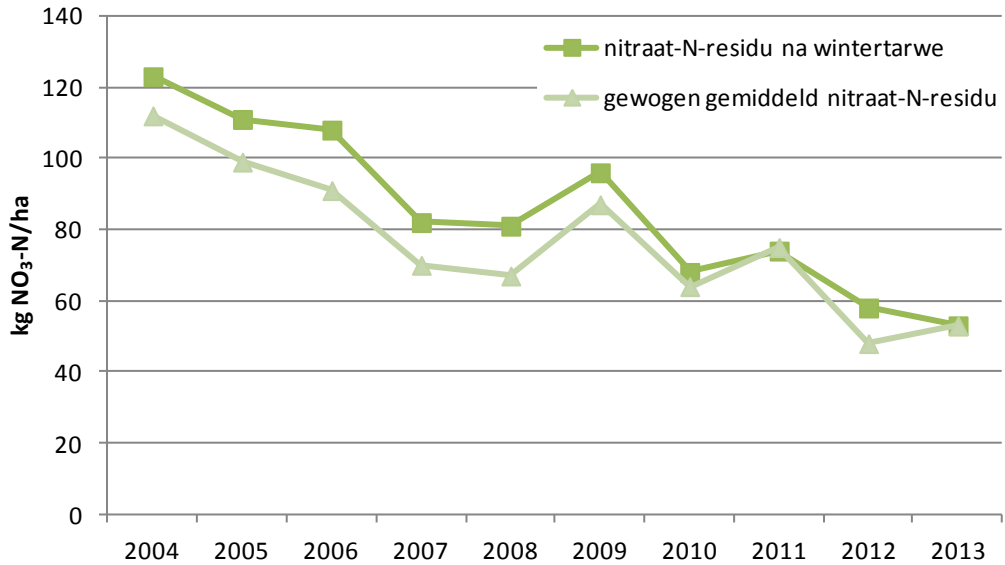


FIGUUR 3: FACTOREN DIE HET NITRAAT-N-RESIDU BEÏNVLIEDEN (HERMANS ET AL., 2010)

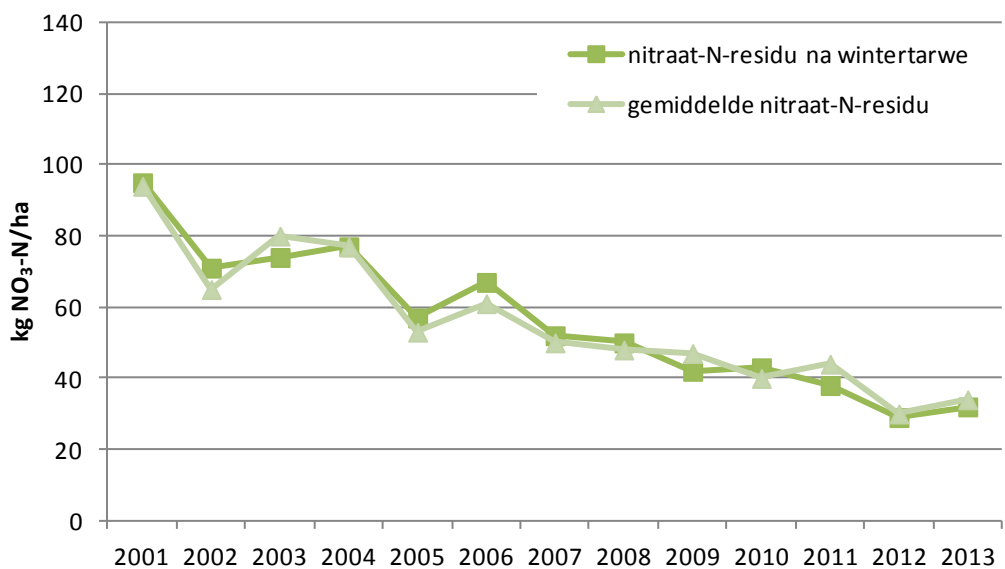
2.4.1 NITRAAT-N-RESIDU REFERENTIEPERIODE

Het nitraat-N-residu na de teelt van winter tarwe wordt net als het gemiddelde nitraat-N-residu steeds kleiner en evolueert in positieve zin. Deze evolutie wordt zowel zonder (Figuur 4) als met beheerovereenkomst (Figuur 5) waargenomen.

Ondanks de positieve evolutie van het nitraat-N-residu die blijkt uit de metingen in opdracht van de Mestbank, moet bij de interpretatie van deze gegevens rekening gehouden worden met de steekproefpopulatie. De nitraat-N-residumetingen in opdracht van de Mestbank worden voornamelijk (maar niet uitsluitend) vanuit controleoogpunt op de toepassing van derogatie en vanuit een bepaald risicoperspectief van landbouwbedrijven (d.w.z. op percelen gelegen in risicogebieden oppervlaktewater uitgevoerd). In een beperkt aantal gevallen zijn de metingen ook gedaan op percelen waar een overschrijding van de nitraat-N-residunorm verwacht werd. Deze dataset vormt daarom geen representatieve steekproef van de hele populatie Vlaamse landbouwers.



FIGUUR 4: EVOLUTIE GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU VAN ALLE TEELTEN (GEWOGEN GEMIDDELTE IN KG NO₃⁻-N HA⁻¹) EN GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU NA DE TEELT VAN WINTERTARWE (VLM, 2014).



FIGUUR 5: EVOLUTIE GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU VAN ALLE TEELTEN (KG NO₃⁻-N HA⁻¹) EN GEMIDDELTE NITRAAT-N-RESIDU NA DE TEELT VAN WINTERTARWE ONDER BEHEEROVEREENKOMST (VLM, 2014).

Deze cijfers dienen geëvalueerd te worden ten aanzien van de drempelwaarde, het maximale nitraat-N-residu dat in de bodem aanwezig mag zijn opdat uitspoeling van nitraat tot een minimum beperkt kan blijven. Uit de studie omtrent de procesfactor voor oppervlakte- en grondwater bleek dat de teelt en de bodemtextuur een belangrijke invloed hebben op het nitraat-N-residu. Daarom is de drempelwaarde in vergelijking met het vorige actieprogramma verder gedifferentieerd, namelijk in functie van de bodemtextuur en de teelt.

De toestand van de waterkwaliteit is echter niet overal in Vlaanderen gelijk, wat een gebiedsgerichte aanpak vraagt. Gebieden waar de doelstellingen omtrent waterkwaliteit nog niet gehaald worden, worden aangeduid als "focusgebieden". In deze focusgebieden gelden lagere nitraat-N-residudrempelwaarden voor de periode 2012-2014. In 2012 werd 283000 ha of 42% van het

landbouwareaal aangeduid als focusgebied. Een verdere differentiatie van de drempelwaarde gebeurt dan ook in functie van de ligging van het perceel, namelijk in focusgebied of niet-focusgebied.

Het vierde Vlaamse actieprogramma onderscheidt 4 niveaus van drempelwaarden om aan grotere overschrijdingen meer of zwaardere maatregelen te kunnen koppelen. Een overzicht van de eerste drempelwaarde geldend voor de graangewassen wordt in Tabel 8 gegeven.

TABEL 8: OVERZICHT EERSTE DREMPELWAARDE VOOR DE GRAANTEELT IN FUNCTIE VAN HET BODEMTYPE, LIGGING EN REFERENTIEJAAR (VLM, 2012).

Gewas	Bodemtextuur	Eerste drempelwaarde (kg NO ₃ ⁻ -N ha ⁻¹)		
		Niet-focusgebied vanaf 2012	Focusgebied 2012 en 2013	Focusgebied 2014
Overige landbouwgewassen	zand	88	75	70
	niet zand	90	80	80

Evaluatie van de gemiddelde nitraat-N-residuen na de teelt van wintertarwe ten opzichte van de minst strenge norm, namelijk 90 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ in niet-focusgebied, toont dat op de percelen niet onder beheerovereenkomst de drempelwaarde gemiddeld reeds 3 jaar op 7 gerespecteerd kon worden. Op de percelen wel onder beheerovereenkomst blijkt de norm 9 jaren op 10 gerespecteerd te zijn.

Evaluatie van de gemiddelde nitraat-N-residuen na de teelt van wintertarwe ten opzichte van de strengste norm, namelijk 70 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ op zandgrond in focusgebied in 2014, maakt duidelijk dat het halen van deze drempelwaarde moeilijk kan worden op percelen zonder beheerovereenkomst. Het gemiddelde nitraat-N-residu op deze percelen lag slechts 1 jaar op 7 onder deze strengere drempelwaarde. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het gemiddelde nitraat-N-residu de laatste jaren afneemt. Op percelen die wel onder beheerovereenkomst vallen lijkt het respecteren van de drempelwaarde van 70 kg NO₃⁻-N ha⁻¹, gemakkelijker. In 6 op de 10 jaren was het gemiddelde nitraat-N-residu op deze percelen kleiner.

Gezien de vroege oogst van graangewassen en de ruime tijdsperiode tot de referentieperiode, zijn de processen na de oogst van de granen nog zeer belangrijk voor het nitraat-N-residu, namelijk het al dan niet aanbrengen van nutriënten met organische mest, de najaarsstikstofmineralisatie, de mineralisatie van de oogstresten en eventuele stikstofopname door vanggewassen. Uiteraard speelt ook het aanvangspunt, namelijk de nitraatrest bij de oogst, een belangrijke rol (zie 2.4.2).

2.4.2 NITRAAT-N-RESIDU BIJ OOGST

In het kader van het Landbouwcentrum Granen (LCG) werd gedurende 5 jaar (periode 2001 tem 2005) de evolutie van de nitraatstikstof in het bodemprofiel na de oogst opgevolgd. Op een 20- à 30-tal proefvelden met wintertarwe, wintergerst en triticale werd jaarlijks de hoeveelheid nitraatstikstof in het bodemprofiel 0-90 cm een eerste keer bepaald kort na de oogst en een tweede keer in de referentieperiode van 1 oktober tot en met 15 november. Kort na de oogst werden telkens belangrijke verschillen tussen de minimale en maximale hoeveelheid nitraatstikstof vastgesteld (Tabel 9). Algemeen wordt na de oogst van een graangewas een laag nitraatgehalte in de bodem gemeten. Het diepe en dichte wortelstelsel zorgt er immers voor dat granen de minerale stikstof, beschikbaar in het bodemprofiel, zeer efficiënt kunnen benutten. Maar wanneer het stikstofaanbod, bestaande uit de bodemvoorraad, de bemesting en de stikstofmineralisatie, de opnamecapaciteit van het gewas in grote mate overschrijdt, laten zelfs granen het teveel aan stikstof achter in het bodemprofiel.

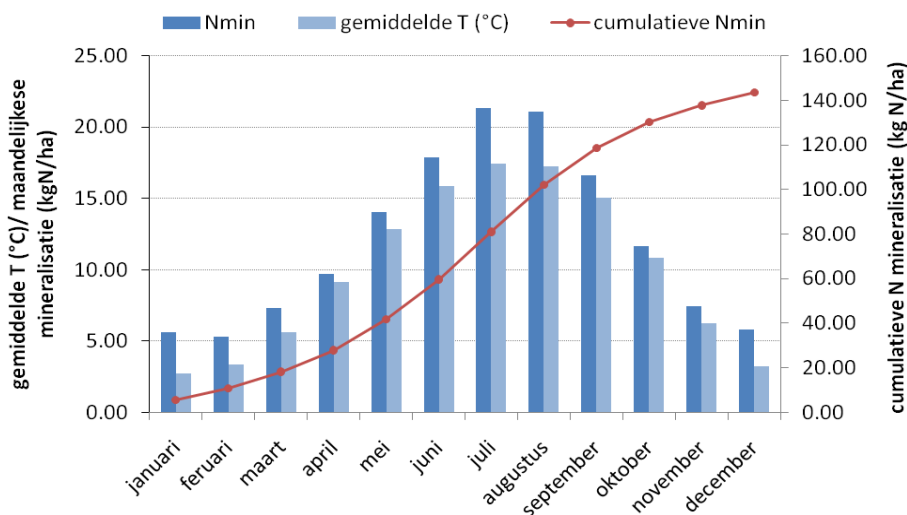
TABEL 9: OVERZICHT NITRAATRESTEN (KG NO₃-N HA⁻¹) BIJ DE OOGST OP PROEFVELDEN WINTERGRANEN IN HET KADER VAN HET LCG IN DE PERIODE 2001-2005 (VER ELST EN BRIES, 2002; VER ELST EN VOGELS, 2003, 2004, 2005; VER ELST, 2006).

	Nitraatrest bij oogst (kg NO ₃ -N ha ⁻¹ ; 0-90 cm)			
	min	max	gemiddeld	mediaan
2001	20	188	69	56
2002	27	200	85	80
2003	45	176	79	72
2004	33	154	82	84
2005	29	163	77	58

Ook Geypens en Honnay (1995) vonden in hun onderzoek beperkte hoeveelheden nitraatstikstof na de oogst van wintergerst. In de proefopzet werd 2 à 3 weken na de oogst van wintergerst tot op een diepte van 1,5 m 43 kg N ha⁻¹ gevonden in 1990, 25 kg N ha⁻¹ in 1991, 31 kg N ha⁻¹ in 1992 en 19 kg N ha⁻¹ in 1993.

2.4.3 STIKSTOFMINERALISATIE NAJAAR

De stikstofvrijstelling uit de bodemhumus is een belangrijke bron van stikstof op een perceel. Het mineralisatieproces vindt gespreid over het hele jaar plaats, ook na de oogst van de hoofdteelt zoals Figuur 6 aangeeft. Vooral bij vroeg geoogste teelten zoals granen, vlas en erwten kan de najaarsvrijstelling belangrijk zijn en een beduidende bijdrage leveren aan het nitraat-N-residu. Uit Tabel 10 is af te leiden dat op een zandleemperceel met een koolstofpercentage van 1,1% C in de periode van midden augustus tot midden november een stikstofbijdrage van gemiddeld 47 kg nitraatstikstof door stikstofmineralisatie kan verwacht worden.



FIGUUR 6: GEMIDDELDE MAANDELIJKSE STIKSTOFVRIJSTELLING DOOR MINERALISATIE OP VLAAMSE BODEMS MET EEN NORMAAL HUMUSGEHALTE (HERELIXKA ET AL., 2002)

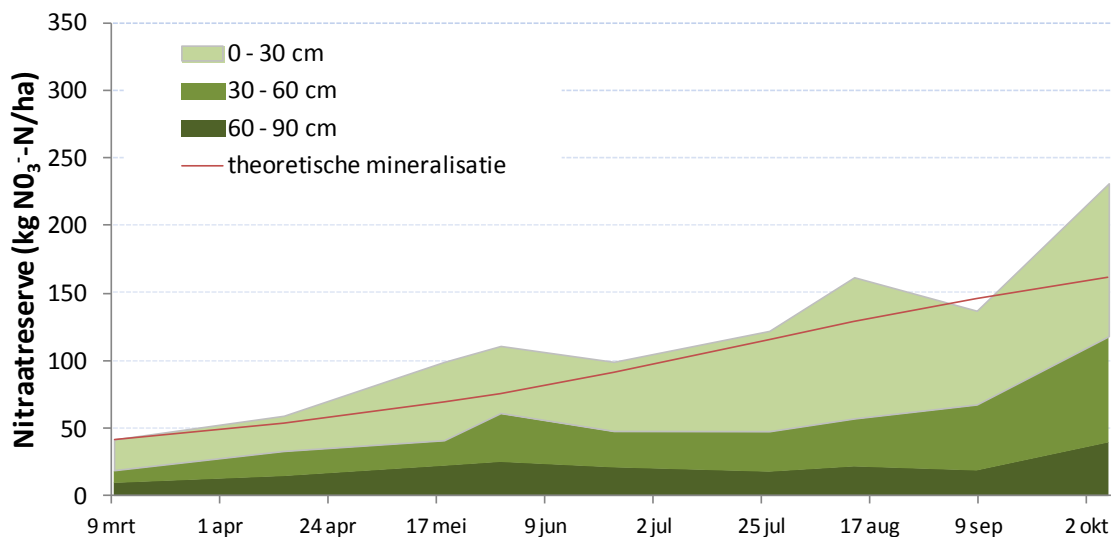
Figuur 6 en Tabel 10 zijn afgeleid uit de studie N-(eco)² (Herelixka et al., 2002). De cijfers moeten geïnterpreteerd worden bij normale vocht- en temperatuurwaarden en bij een constante aanvoer van organisch materiaal door de jaren heen. In het kader van het proefprogramma van het Landbouwcentrum Voedergewassen (LCV) werd de N-mineralisatie op maïspcelen opgevolgd gedurende drie jaar. Hieruit bleken nogmaals de weersinvloeden op de N-mineralisatie en het effect van de

weersomstandigheden op het al dan niet respecteren van de nitraat-N-residudrempelwaarde (Figuur 7).

TABEL 10: VERWACHTE MAANDELIJKE STIKSTOFMINERALISATIE (KG N HA⁻¹) VAN BODEMORGANISCHE STOF IN FUNCTIE VAN HET ORGANISCHE STOFGEHALTE (%C) EN DE BODEMTEXTUUR (HERELIXKA ET AL., 2002).

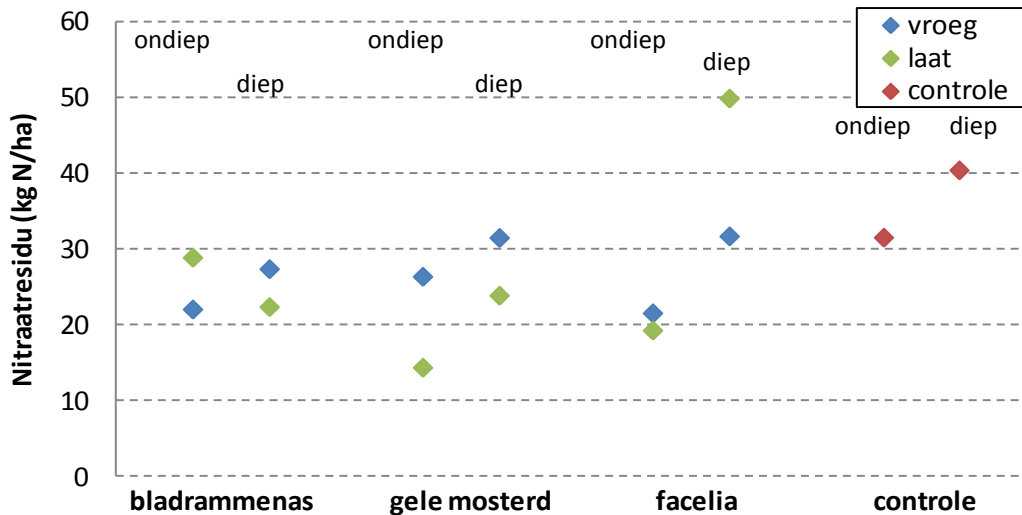
textuur	%C	jan	feb	maa	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	som
zand	2,3	11,5	11,5	16,6	19,7	26,9	33,5	36,6	36,0	31,4	20,9	15,8	12,5	273,0
	1,8	9,1	9,1	13,1	15,6	21,3	26,4	28,9	28,4	24,8	16,5	12,5	9,8	215,6
	1,3	6,9	6,9	9,9	11,8	16,1	20,0	21,9	21,5	18,8	12,5	9,4	7,4	163,1
zandleem	1,3	7,4	7,4	10,6	14,0	19,4	24,3	26,8	26,4	21,4	15,0	10,1	8,0	190,8
	1,1	6,4	6,4	9,2	12,2	16,8	21,0	23,2	22,8	18,5	13,0	8,8	6,9	165,3
	0,7	3,9	3,9	5,7	7,5	10,3	13,0	14,3	14,1	11,4	8,0	5,4	4,3	101,7
leem	1,4	6,5	6,5	9,4	12,4	17,2	21,5	23,7	23,3	18,9	13,3	9,0	7,1	169,0
	1,2	5,9	5,9	8,5	11,2	15,5	19,4	21,4	21,1	17,1	12,0	8,1	6,4	152,6
	0,9	4,4	4,4	6,3	8,3	11,5	14,4	15,9	15,6	12,7	8,9	6,0	4,7	113,2
klei	2,8	16,6	16,6	23,8	31,6	43,6	54,6	60,2	59,2	48,1	33,8	22,7	17,9	428,7
	1,2	5,5	5,5	7,9	10,5	14,5	18,1	20,0	19,7	16,0	11,2	7,5	6,0	142,4
	0,9	4,0	4,0	5,8	7,7	10,6	13,3	14,6	14,4	11,7	8,2	5,5	4,4	104,2

Uit Figuur 7 blijkt enigszins de invloed van de warme april- en meimaand in 2011 op de N-mineralisatie. Het meest duidelijk is het effect van de warme septembermaand van 2011 op de najaarsmineralisatie. Door de warmere temperaturen en de voldoende vochtige bodem werd veel meer stikstof vrijgesteld dan theoretisch verwacht.



FIGUUR 7: WERKELIJKE NITRAAT-N-RESERVE OP EEN PROEFPERCEEL TE LENNIK IN 2011 EN DE OP BASIS VAN DE THEORETISCHE N-MINERALISATIE VERWACHTE CUMULATIEVE NITRAAT-N-RESERVE (ODEURS EN BRIES, 2012).

Bodembewerkingen die voor een betere verluchting van de bodem zorgen en bijgevolg de mineralisatie stimuleren, betekenen een verhoogde vrijstelling van nitraat-N. Dit werd ook aangetoond door Hermans et al. (2010) door het nitraat-N-residu na een diepe en ondiepe grondbewerking te vergelijken. In het kader van het demonstratieproject “Beheersing van nitraatresidu in de akkerbouw: een permanente uitdaging” werden in 2008 en 2009 diverse vanggewassen vroeg of laat en na een diepe of ondiepe grondbewerking ingezaaid (Figuur 8).

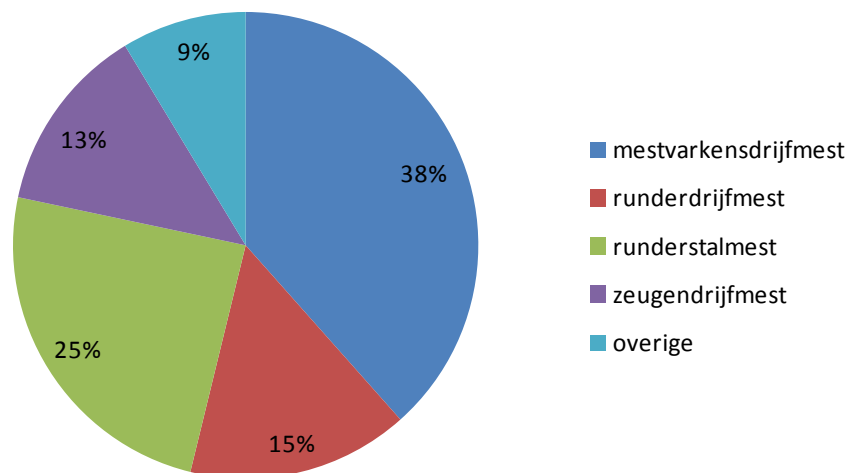


FIGUUR 8: NITRAAT-N-RESIDU ($\text{kg NO}_3\text{-N HA}^{-1}$; 0-90 CM) IN FUNCTIE VAN ZAAITIJDTIP, TYPE GRONDBEWERKING EN SOORT VANGGEWAS OP EEN DEMOPERCEEL GELEGEN TE TONGEREN OP EEN LEEMBODEM IN 2008 (HERMANS ET AL., 2010).

2.4.4 ORGANISCHE BEMESTING NA DE OOGST VAN DE HOOFDTEELT

Op basis van de inlichtingen verzameld voor de N-adviezen geformuleerd door Bodemkundige Dienst van België na de hoofdteelt van wintergranen in de periode van 2006 tot en met 2012, is getracht een zicht te krijgen op het gebruik van dierlijke mest en/of vanggewassen na de teelt van wintergranen.

Uit een dataset van 21884 landbouwpercelen werden er 14576 organisch bemest, waarvan 775 na de oogst. Op deze 775 percelen werd het vaakst mestvarkensmest toegepast (Figuur 9). Tevens blijkt dat een vanggewas werd ingezaaid op 86% van de percelen die na de oogst werden bemest met dierlijke mest.



FIGUUR 9: PROCENTUELE VERDELING ORGANISCHE MESTSOORTEN TOEGEDIEND NA DE OOGST VAN WINTERGRANEN VÓÓR DE WINTER (STATISTIEKEN BDB).

TABEL 11: OVERZICHT ORGANISCHE BEMESTING IN ZOMER EN NAJAAR EN GEBRUIK VANGGEWAS OP WINTERGRAANPERCELEN.

Percelen	totaal aantal	aantal met vanggewas	% met vanggewas
organisch bemest in zomer en najaar	775	666	86
organisch bemest in zomer en najaar met:			
mestvarkensmengmest	298	260	87
rundermengmest	119	101	85
runderstalmest	190	166	87
zeugenmengmest	101	82	81
overige	67	57	85

Wanneer op de stoppel een organische bemesting wordt uitgevoerd, wordt zowel een hoeveelheid minerale stikstof toegediend als een deel organisch gebonden stikstof. Deze laatste stikstof komt deels nog vrij in het najaar en moet bijgeteld worden bij de stikstof die vrijkomt door mineralisatie in de bodem.

Globaal kan de totale stikstof die aanwezig is in dierlijke mest opgedeeld worden in drie groepen, namelijk de minerale of snelwerkende fractie, de traagwerkende fractie en de reststikstof.

1. De minerale fractie is de stikstof die voorkomt onder de vorm van ammonium of nitraat. Het aandeel nitraat in mest is meestal verwaarloosbaar dus het gaat hier in de eerste plaats om stikstof die voorkomt in de vorm van ammonium, die in de bodem snel wordt omgezet tot nitraat. Dit is de snelwerkende N-fractie in de mest. In mengmest is het aandeel minerale stikstof heel wat hoger dan in vaste mesten. In varkensmengmest bijvoorbeeld is al 60 % van de stikstof als ammonium aanwezig.
2. De traagwerkende fractie is dat deel van de stikstof dat onder organische vorm aanwezig is, maar relatief gemakkelijk wordt gemineraliseerd en vrijkomt als nitraatstikstof. Het is de stikstof die ingebouwd is in de gemakkelijk afbreekbare organische stof, die wordt gemineraliseerd in de periode tot één jaar na aanwending of tijdens de bewaring.
3. De restfractie is de stikstof die is ingebouwd in de moeilijk afbreekbare of effectieve organische stof en waarvan de afbraak pas begint een jaar na aanwending van de mest. Het aandeel restfractie in vaste mesten is ongeveer 50 % en voor mengmest ongeveer 20 %.

De hoeveelheid stikstof die ter beschikking komt in het najaar hangt dus onder andere af van:

- het aandeel minerale stikstof
- het aandeel organisch gebonden stikstof
- de wijze van toediening
- de grondsoort
- de weersomstandigheden na toediening

In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de maandelijkse afbraak van organische stikstof in dierlijke mest per 10 m³ gedurende de maanden september, oktober, november en december.

TABEL 12: MINERALISATIE VAN GEMAKKELIJK AFBREEKBARE ORGANISCHE STIKSTOF IN DIERLIJKE MEST* (KG N/MAAND/10M³) I.F.V. HET TYPE MENGMEEST (HERELIXKA ET AL., 2002 NAAR LAMMERS, 1984, ZIE BIJLAGE 1).

Mestsoort	Toedienings-tijdstip	Maand			
		sept	okt	nov	dec
Rundermengmest	1 sept	2,2	1,2	0,7	0,5
Varkensmengmest	1 sept	4,6	2,4	1,3	0,9

*in de veronderstelling dat rundermengmest en varkensmengmest respectievelijk 12 en 20 kg gemakkelijk afbreekbare N per 10 m³ bevatten

De gemiddelde samenstelling van dierlijke mest varieert in belangrijke mate in functie van het type mest en de diersoort. De gemiddelde samenstelling van enkele vloeibare mesten zoals deze momenteel door Bodemkundige Dienst van België gehanteerd worden bij de beoordeling van individuele mestanalyses wordt weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13: GEMIDDELDE SAMENSTELLING (KG/1000 KG) VOOR ENKELE VEEL VOORKOMENDE VLOEIBARE MESTEN ZOALS DEZE MOMENTEEL DOOR BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIË WORDEN GEHANTEERD BIJ DE BEOORDELING VAN INDIVIDUELE MESTANALYSES (BEMORGEX, BDB).

Mestsoort	Droge stof	Organische stof	Totale N	Minerale N
Rundermengmest	82	61	4,7	2,6
Kalvermengmest	21	11	2,8	2,0
Varkensmengmest	79	53	7,8	5,0
Varkensmengmest (brijvoeding)	90	61	9,0	5,7
Mengmest biggenopfok	60	41	5,5	3,2
Zeugenmengmest	49	33	4,5	2,9
Kippenmengmest	118	77	10,2	6,7

Wanneer de gemiddelde N-samenstelling van veel voorkomende vloeibare mesten en de beperking van 60 kg totale N ha⁻¹ op de graanstoppel bij de teelt van een volggewas naast elkaar gelegd worden, blijkt dat slechts kleine hoeveelheden kunnen toegediend worden. De dosis varieert van 6 tot 21 ton ha⁻¹ in functie van de mestsoort. De keuze van de mestsoort wordt echter beperkt omwille van de minimaal haalbare dosis die toegediend kan worden met de gangbare machines.

TABEL 14: OVERZICHT TOEGELATEN DOSIS VEEL VOORKOMENDE VLOEIBARE MESTEN OP GRAANSTOPPEL VÓÓR INZAAI VANGGEWAS (BRON: BDB).

Mestsoort	Totale N (kg/1000 kg)	Toegelaten dosis*(1000 kg ha ⁻¹)
Rundermengmest	4,7	13
Kalvermengmest	2,8	21
Varkensmengmest	7,8	8
Varkensmengmest (brijvoeding)	9,0	7
Mengmest biggenopfok	5,5	11
Zeugenmengmest	4,5	13
Kippenmengmest	10,2	6

*Toegelaten dosis berekend op 60 kg totale N ha⁻¹ en gemiddelde totale N

2.4.5 STIKSTOFVRIJSTELLING UIT OOGSTRESTEN

Afhankelijk van de hoofdteelt kunnen bij de oogst aanzienlijke hoeveelheden oogstresten op het veld blijven. De N-mineralisatie van de oogstresten is afhankelijk van de aard of de C:N-verhouding van de oogstresten en de temperatuur (De Neve et al., 1996). Bij hoge C:N-verhoudingen (>25) zal de mineralisatie sterk geremd worden en zal de aanwezige N opgenomen worden in de microbiële biomassa (immobilisatie). Bij lage waarden (<15) zal de afbraak en mineralisatie snel doorgaan en kan na de oogst van het gewas nog heel wat minerale stikstof vrijkomen. Uiteraard bepaalt ook het oogsttijdstip de hoeveelheid stikstof die nog kan vrijgesteld worden.

Uit Tabel 15 blijkt dat granen tamelijk veel droge stof door oogstresten op het veld achterlaten maar dat de stikstofinhoud van de oogstresten beperkt blijft. De oogstresten van wintertarwe hebben een hoge C:N-verhouding en na de oogst wordt in eerste instantie minerale stikstof vastgelegd. Later in de herfst en in de winter komt een deel van deze vastgelegde stikstof vrij. De geschatte mineralisatie van gemakkelijk afbreekbare organische stikstof van enkele soorten oogstresten in functie van de oogstdatum wordt getoond in Tabel 16.

TABEL 15: GEMIDDELDE DROGESTOFGEHALTE EN STIKSTOFINHOUD VAN DE OOGSTRESTEN VAN ENKELE AKKERBOUWTEELTEN (BDB & UNIVERSITEIT GENT, 2006).

Hoofdteelt	Drogestof oogstresten kg ha ⁻¹	Stikstofinhoud oogstresten kg N ha ⁻¹
Aardappelen	1.000	20 – 85
Suikerbieten	4.000	120
Wintergerst	3.750	18 – 20
Wintertarwe	5.000	20 – 45
Snijmais	n.b.	5 – 25
Erwten	5.000	30 – 190
Bonen	3.000	30 – 95

n.b. = niet beschikbaar

TABEL 16: N-VRIJSTELLING NA TOEDIENING VAN OOGSTRESTEN TIJDENS EEN INCUBATIE-EXPERIMENT. DE GETALLEN TUSSEN HAAKES GEVEN HET PERCENTAGE N WEER DAT VRIJKOMT (FORMESYN, 1994; DE NEVE, 2000).

	N-inhoud kg N ha ⁻¹	N-vrijstelling kg N ha ⁻¹
Bloemkool ^a	141	84 (60)
Bloemkool ^b	155	107 (69)
Bonen ^a	83	39 (47)
Bonen ^b	83	37 (45)
Broccoli ^a	169	109 (64)
Broccoli ^b	213	133 (57)
Knolselder ^a	112	71 (64)
Knolselder ^b	91	60 (66)
Koolrabi ^a	52	31 (60)
Kruldijvie ^a	35	30 (86)
Andijvie	38	28 (74)
Rode kool ^b	14	9 (62)
Sla ^a	20	18 (91)
Sla ^b	41	32 (77)
Spinazie ^a	59	39 (66)
Venkel ^a	100	89 (89)
Venkel ^a	65	49 (76)
Witte kool ^a	175	68 (39)

^a naar Formesyn (1994)

^b naar De Neve (2000)

3 SOORTEN VANGGEWASSEN

3.1 INDELING VAN DE VANGGEWASSEN

Vanggewassen worden meestal ingedeeld op basis van de familie waartoe ze behoren. Op deze wijze wordt onderscheid gemaakt tussen o.a. kruisbloemigen, vlinderbloemigen en grassen (Thorup-Kristensen et al., 2003). De vele soorten vanggewassen kunnen echter ook op basis van de gewas- en groeikenmerken worden onderverdeeld in drie categorieën, namelijk de bladrijke, de grasachtige en de vlinderbloemige vanggewassen (Vandendriessche et al., 1996; Ver Elst et al., 1999; Hermans et al., 2010).

Vanggewassen worden niet enkel per soort gezaaid maar ook mengsels van de verschillende soorten vanggewassen worden uitgezaaid. Op deze manier kunnen de positieve eigenschappen van de verschillende soorten gecombineerd worden en is er een grotere kans op voldoende gewasontwikkeling. Bij slechte opkomst van één van de soorten kan een andere overnemen en een naakte bodem voorkomen.

Een overzicht van enkele eigenschappen van veel voorkomende vanggewassen wordt gegeven in Bijlage 2.

3.1.1 BLADRIJKE VANGGEWASSEN

De bladrijke vanggewassen worden getypeerd door een snelle en weelderige bovengrondse groei welke een aanzienlijke stikstofopname impliceert alsook de geschiktheid om als vanggewas ingezet te worden. De bladrijke vanggewassen kunnen ook stikstof uit de diepere bodemlagen opnemen omdat ze dieper wortelen. Bij ploegen voor de winter is meestal een voorbereiding zoals klepelen of maaien nodig. Omwille van de vorstgevoeligheid van deze vanggewassen is een voorbereiding vóór ploegen na de winter meestal niet meer nodig. De planten zijn dan reeds afgestorven door de vorst. De lagere C:N-verhouding van de bladrijke vanggewassen resulteert na onderwerken in een vrij snelle vertering van het gewas en een vroege stikstofvrijstelling. Bij vroege vorst en vroeg ploegen bestaat het risico dat een deel van de eerder vastgelegde stikstof al gemineraliseerd is en in de late winter of het vroege voorjaar alsnog uitspoelt.

Frequent gebruikte bladrijke vanggewassen in Vlaanderen zijn gele mosterd, bladrammenas, bladkool en facelia.

3.1.2 GRASACHTIGE VANGGEWASSEN

Grasachtige vanggewassen hebben een vlotte opkomst en realiseren een hoge stikstofopname, hoewel deze minder snel gebeurt. Typerend voor de grassen is het zeer dichte en uitgebreide wortelstelsel waardoor ze een aanzienlijke bijdrage aan organische stof leveren en uitermate geschikt zijn om de bodem te beschermen tegen verslemping. De grotere wortelmassa zorgt ook voor een hogere C:N-verhouding van de grassen waardoor de vertering langzamer verloopt. De opgenomen stikstof zal dus later worden vrijgesteld. Het wortelstelsel ontwikkelt zich echter niet erg diep en dus zullen grasachtige vanggewassen vooral stikstof opnemen uit de bovenste laag. In tegenstelling tot de bladrijke vanggewassen is een grasachtig vanggewas duidelijk minder of zelfs niet vorstgevoelig. Voorafgaand aan het onderwerken moet het grasachtig vanggewas dan ook vaak worden doodgespoten. Wanneer er toch voor gekozen wordt om geen snede gras af te voeren of het gewas niet dood te spuiten, moet erop toegezien worden dat het gewas zorgvuldig wordt ondergewerkt. Het onderwerken van een zware snede gras zonder de graszoden te breken of het gras dood te spuiten kan een anaerobe laag vormen ter hoogte van de ploegzool met een inkuileffect als gevolg. Dit gaat

gepaard met een verzuring, hetgeen de ontwikkeling van de volgteelt negatief kan beïnvloeden. Door zurrstofgebrek zal de organische stof namelijk in organische zuren worden omgezet en niet in humus.

In Vlaanderen gebruikte grasachtige vanggewassen zijn Italiaans, Engels of Westerwolds raaigras. Ook granen zoals snijrogge of Japanse haver kunnen als vanggewas worden gebruikt. Snijrogge en Japanse haver zorgen voor een snellere bodembedekking dan de raaigrassen. Snijrogge kan ook later gezaaid worden waardoor het mogelijkheden biedt als vanggewas na later geogste hoofdteelten zoals snijmaïs.

3.1.3 VLINDERBLOEMIGE VANGGEWASSEN

Vlinderbloemige vanggewassen tonen een snelle en tamelijk uitgesproken bovengrondse gewasontwikkeling. Ze worden veelal geteeld in de biologische landbouw door het verbod op het gebruik van kunstmest. Door hun stikstofbindend vermogen kunnen de vlinderbloemige vanggewassen als stikstofbron fungeren en vormen ze een grote toegevoegde waarde voor de vruchtwisseling. Sommige vlinderbloemige vanggewassen zijn vorstgevoelig en meestal hebben zij net als de bladrijke vanggewassen een lage C:N-verhouding waardoor de stikstof snel zal worden vrijgesteld na onderwerken.

Het wortelstelsel van de vlinderbloemigen kan sterk variëren zowel op vlak van doorwortelingsdiepte als omvang en bijdrage aan organische stofvoorziening. De meeste vlinderbloemige vanggewassen benutten echter alle minerale stikstof in het volledige profiel. Mogelijke vlinderbloemige vanggewassen zijn de verschillende soorten klavers (witte klaver, rode klaver, Alexandrijnse klaver, Incarnaat klaver, Perzische klaver), wikke en lupinen. De meest gebruikte vlinderbloemigen in Vlaanderen zijn rode en witte klaver.

3.2 FACTOREN DIE DE KEUZE VAN HET VANGGEWAS BEPALEN

Het voordeel of het nut van een vanggewas is veelvoudig. Welk vanggewas het best wordt ingezaaid hangt dan ook af van uiteenlopende aspecten. De keuze kan beïnvloed worden door praktische overwegingen zoals de haalbaarheid binnen de teeltrotatie, het zaaitijdstip, de kostprijs en de aanleg- en vernietigingswijze, maar wordt voornamelijk bepaald door de functie van het vanggewas die de landbouwer wil benutten.

3.2.1 GEWENSTE FUNCTIE VAN HET VANGGEWAS

Afhankelijk van de door de landbouwer gewenste voornaamste functie van een gewas als nateelt kan gesproken worden van een groenbemester, een groenbedekker of een vanggewas.

3.2.1.1 BEHEER VAN DE STIKSTOFCYCLUS

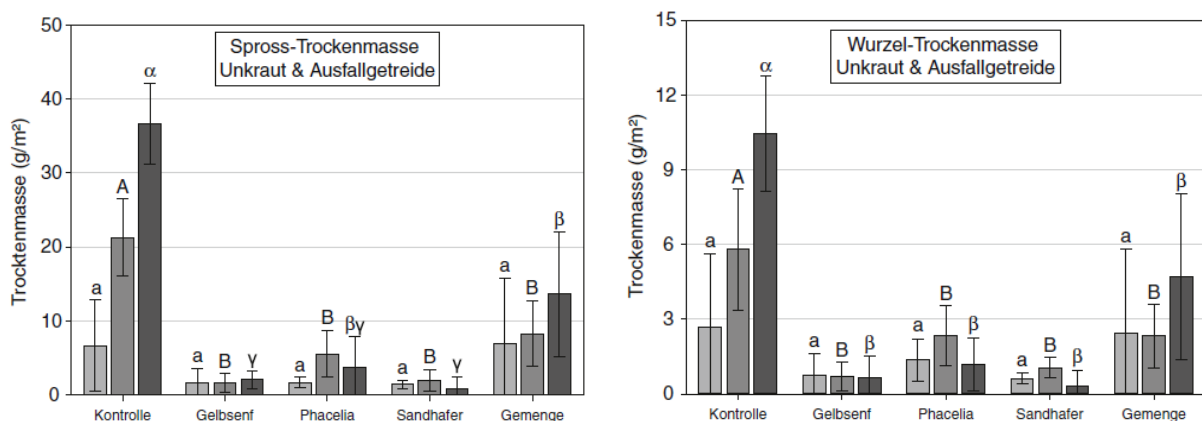
Deze studie focust in de eerste plaats op de rol van een nateelt in het beheersen van de stikstofcyclus. Na de oogst van de hoofdteelt kunnen ruime hoeveelheden nitraat in de bodem aanwezig zijn. In het kader van de milieuproblematiek wordt de dimensie van de nateelt als stikstofvanggewas dan ook steeds belangrijker. Het vanggewas of de groenbemester als stikstofleverancier staat vooral in de biologische teelt nog heel centraal. Het is echter steeds uitermate belangrijk om inzicht te hebben in de stikstofnalevering van het vanggewas om bij de bemesting van de volgteelt hiermee rekening te kunnen houden en het nitraat-N-residu van het volgende jaar te beperken. In de volgende hoofdstukken van deze studie worden alle aspecten van de stikstofcyclus uitvoerig behandeld.

3.2.1.2 BODEMBEDEKKING EN ONKRUIDBEHEERSING

Op erosie- of slempgevoelige percelen is een snelle bodembedekking gewenst na de oogst. Wanneer een nateelt ingezaaid wordt met deze bedoeling, wordt dus best gekozen voor een gewas dat zich zeer snel ontwikkelt. Dit gewas wordt dan een groenbedekker genoemd. De wortels verbeteren de

bodemstructuur door de vorming van aggregaten en het stimuleren van de biologische activiteit. Een snelle bodembedekking biedt niet enkel voordelen naar erosie en verslumping toe maar is ook interessant voor het onderdrukken van opkomende onkruiden. Onderzoek in Duitsland (Brust et al., 2011) toonde aan dat zowel onderzaai als nateelt van vanggewassen positieve effecten had op de onkruiddruk en de opslag uit het hoofdgewas. Bij onderzaai van Engels raigras (*Lolium perenne*) en witte klaver (*Trifolium repens*) werd een afname van de onkruidichtheid en onkruidbiomassa waargenomen in tarwe (*Triticum aestivum*) en spelt (*Triticum spelta*). Twee weken na de oogst werd reeds een dicht bladerdek ontwikkeld. Beide vanggewassen hadden geen negatieve effecten op de graanopbrengsten. Als nateelten ingezaaid ná de oogst werd gekozen voor gele mosterd (*Sinapis alba*), facelia (*Phacelia tanacetifolia*), Japanse haver (*Avena strigosa*) en een mengsel van Alexandrijnse klaver (*Trifolium alexandrinum*), wikke (*Vicia sativa*), Franse boekweit (*Fagopyrum tataricum*) en Gingellikruid (*Guizotia abyssinica*). Deze vanggewassen werden midden augustus ingezaaid, na afvoer van het stro en een ondiepe bodembewerking met een schijveneg. Na inzaai werd het zaai bed aangedrukt met een rol. Er werd eveneens een controlebehandeling zonder vanggewas aangelegd.

Zowel de vanggewassen als de onkruiden en de opslag uit het hoofdgewas werden op drie tijdstippen opgevolgd; hierbij werd het aantal planten, de bedekkingsgraad en de bovengrondse en ondergrondse drogestofopbrengst bepaald. Onder alle vanggewassen werd een significante afname waargenomen van zowel de ondergrondse als bovengrondse drogestofopbrengst aan onkruiden en opslag. Voor het mengsel was die afname initieel echter niet significant (zie Figuur 10).



FIGUUR 10: BOVENGRONDSE (LINKS) EN ONDERGRONDSE (RECHTS) DROGESTOFOPBRENGST VAN ONKRUIDEN EN OPSLAG UIT HET HOOFDGEWAS ONDER BRAAK, GELE MOSTERD, FACELIA, JAPANSE HAVER EN EEN KLAVER-WIKKE-BOEKWEIT-GINGELLIMENGSEL EN DIT OP 3 OPEENVOLGENDE TIJDSTIPPEN (LICHTGRIJS/DONKERGRIJS/ZWART) (BRUST ET AL., 2011).

3.2.1.3 AANVOER VAN ORGANISCHE STOF

Indien voor een nateelt gekozen wordt om het gehalte aan bodemorganische stof te verhogen, zijn de drogestofopbrengst en de samenstelling van het plantaardig materiaal van belang (Tabel 17). Er wordt in deze context gesproken over groenbemesters. De hoeveelheid organische stof die wordt aangebracht door een groenbemester hangt af van de drogestofopbrengst. Voor het op peil houden of het verhogen van de organische stofvoorraad van de bodem is de hoeveelheid effectieve organische stof geleverd door de groenbemester belangrijk. De effectieve organische stof is de fractie organische stof die na één jaar nog aanwezig is in de bouwvoor. Wortels zijn daarom effectiever dan de bovengrondse massa. Het aandeel effectieve organische stof van wortels bedraagt gemiddeld 35% terwijl de bovengrondse massa gemiddeld 20% effectieve organische stof aanbrengt (Timmer et al., 2004). Het hogere gehalte aan effectief organische stof en de uitgesproken wortelontwikkeling van grasachtige vanggewassen zorgen ervoor dat de grasachtige vanggewassen uitermate geschikt zijn voor het op peil houden van het organische stofgehalte van de bodem.

TABEL 17: CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN GELE MOSTERD, FACELIA, RAAIGRAS EN WIKKE (DESTAIN ET AL., 2010).

Vanggewas	N (%/DS)	C:N	Lignine (%/DS)	Cellulose (%/DS)
Gele mosterd	1,63 - 2,82	8 - 27	1,7 - 4,2	15,8 - 23,8
Facelia	1,44 - 1,85	21 - 23	5,4 - 6,3	19,5 - 26,5
Raaigras	1,65 - 1,76	20 - 25	1,2 - 2,6	17,2 - 21,3
Wikke	2,42 - 3,60	9 - 11	-	-

3.2.1.4 AALTJESBESTRIJDING

Plantparasitaire aaltjes of nematoden zorgen voor groei- en ontwikkelingsstoornissen. Bij een voldoende ruime teeltrotatie is de schade van de nematoden minimaal maar bij monoculturen echter kan de teelt onmogelijk worden. Wanneer geen waardplanten aanwezig zijn, neemt de aaltjespopulatie elk jaar op natuurlijke wijze af. Vandaar het belang van een voldoende ruime vruchtafwisseling van suikerbieten, aardappelen of andere waardplanten van aaltjes.

Aaltjesresistente vanggewassen zorgen ervoor dat de nematodenpopulatie niet verder vermeerderd en kunnen de teeltrotatie soms wat verkorten. Voor een degelijke aaltjesbestrijding is een voldoende lange groeiperiode van het vanggewas van belang. De werking tegen aaltjes is bovendien zeer specifiek en de verscheidenheid van plantparasitaire aaltjes is zo groot dat de combinatie van de aaltjessoort en soort en ras van het vanggewas bepalend zijn voor het effect op de aaltjespopulatie (Figuur 11).

	<i>Globodera rostochiensis</i> / <i>G. pallida</i> Aardappelsysteeltje	<i>Heterodera schachtii</i> Witte bietencysteeltje	<i>Heterodera betae</i> Gele bietencysteeltje	<i>Meloidogyne hapla</i> Noordelijk wortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne chitwoodi</i> Malswortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne falax</i> Bedrieglijk malswortelknobbelaaltje	<i>Pratylenchus penetrans</i> Wortelziezaaltje	<i>Ditylenchus dipsaci</i> Stengelaaltje	<i>Trichodorus primitivus</i> Trichodorus primitivus	<i>Trichodorus similis</i> Trichodorus similis	<i>Paratrichodorus pachydermus</i> Paratrichodorus pachydermus	<i>Paratrichodorus teres</i> Paratrichodorus teres	<i>Tabaksratelvirus</i> Tabaksratelvirus
Bladrammenas	▽	▽▽ R	?	●●	▽ R	● R	●●●	?	●●●	●●	●●	●	▽
Gele mosterd	▽	▽▽ R	?	●●	●●	●●	●●●	?	●●●	●●●	●●●	●●	●●●
Bladkool	▽	●●●	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Italiaans raaigras	▽	▽	▽	▽	●●	●●●	●●●	●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●● S
Engels raaigras	▽	▽	▽	▽	●	●●	●	●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●
Rogge	▽	▽	▽	▽	●●●	●●	●●	●●	●●	?	●●●	●●●	●●
Facelia	▽	▽	▽	●●	●	●	●●●	?	●	?	●●	?	●●●
Japane haver	?	?	?	?	?	?	▽	?	?	?	?	?	?
Voederwikke	▽	▽	●●	●●	?	●●	●●●	?	●●●	?	?	●	▽
Witte klaver	▽	▽	?	●● R	●● R	●● R	●●●	●●●	?	?	?	●●●	●●●
Raketblad	▽▽	?	?	?	●●	?	●	?	●●	●●	●●	●●	●●
Tagetes patula	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽▽	?	?	?	?	?	●●● S

Legenda Vermeerdering

?	volledig onbekend
▽▽	actieve afname
▽	natuurlijke afname
●	weinig
●●	matig
●●●	sterk
R	rasafhankelijk
S	serotype afhankelijk

Legenda Schade

?	onbekend
●	geen
●	weinig
●●	matig
●●●	sterk

FIGUUR 11: VERMEERDERING VAN AALTJES EN SCHADE DOOR AALTJES ONDER VERSCHILLENDE SOORTEN VANGGEWASSEN (HOEK, 2011).

Onder een bepaald vanggewas kan een bepaalde aaltjesaantasting nog erger worden terwijl andere aaltjes wel degelijk bestreden worden. Dit is vooral sterk uitgesproken voor het effect van grasachtige vanggewassen op de aaltjespopulaties. Er zijn zowel aaltjes waarvan de populatie vermindert maar er zijn ook aaltjes die zich onder grassen sterk kunnen vermeerderen. Ook tussen de soorten grassen zijn er nog verschillen inzake aaltjesvermeerdering. Onder Engels raaigras is de vermeerdering van het quarantaine wortelknobbelaaltje *Meloidogyne chitwoodi* en het wortellesieaaltje *Pratylenchus penetrans* beduidend minder dan onder bijvoorbeeld Italiaans raaigras. Wanneer een grasachtige als vanggewas wordt gekozen, is het zeer belangrijk om te weten welke aaltjes op de betrokken percelen voorkomen. Zo is het ook aangewezen om geen grasachtige vanggewassen te gebruiken wanneer in de teeltrotatie meer dan 50% granen zijn opgenomen. Voor een degelijke aaltjesbestrijding is ook een voldoende lange groeiperiode van het vanggewas van belang.

3.2.1.5 VEEVOER

Enkele vanggewassen kunnen ook geteeld worden om het bovengrondse deel als aanvullend veevoer aan te wenden en de wortel- en gewasresten als groenbemester te gebruiken. Hiervoor zijn snelgroeïende raaigrassen het meest geschikt. Wanneer het de bedoeling is om een snede voor het vee te oogsten, worden vaak meerdere soorten gecombineerd om enige zekerheid in te bouwen. Bladkool kan als vanggewas ingezaaid worden na de oogst van wintergerst eind juli, om tussen eind augustus en eind september aan het vee gevoerd te worden. Gele mosterd of bladrammenas kunnen niet worden gebruikt als voer omdat ze niet smakelijk zijn voor het vee.

3.2.2 PLAATS BINNEN DE TEELTROTATIE

Een zeer belangrijk criterium in de keuze van het vanggewas is de teeltrotatie en vooral de volgteelt. Sommige vanggewassen passen niet in het vruchtwisselingschema omdat ze waardplant zijn voor aaltjes (zie deel 3.2.1.4), ziekten of plagen waarvoor de volgende teelt ook gevoelig is. Bladkool, bladrammenas en gele mosterd zijn waardplanten voor het bietencystenaaltje. Aaltjesresistente rassen van gele mosterd en bladrammenas kunnen bij een voldoende vroeg zaaitijdstip een remmende werking hebben op de nematoden waardoor deze toch geschikt zijn in een rotatie met suikerbieten. Bladkool daarentegen heeft tot nog toe geen resistente rassen en wordt beter niet geteeld voor suikerbieten. In een rotatie met enkel zomer- en wintergranen is het beter om breedbladige gewassen (gele mosterd, facelia) in te zaaien in plaats van een extra graan (haver of snijrogge). Grasachtige vanggewassen kunnen in een dergelijk schema het optreden van voetziekten bevorderen, waardoor ook deze soms best gemeden worden in zo'n situatie. Wikke bijvoorbeeld houdt net als erwten het erwten-cystenaaltje en de bladrandkever in stand en wordt best niet als vanggewas voor erwten geteeld. Facelia daarentegen is niet verwant aan andere cultuurgewassen en vormt daarom geen gevaar op aanverwante ziekten en plagen in de volgteelt.

Niet enkel de ziektegevoeligheid van de volgteelt bepaalt welk vanggewas in de teeltrotatie kan worden opgenomen, maar ook het zaaitijdstip van de volgteelt. Is de volgteelt een late teelt zoals maïs dan kan het vanggewas zich ook nog ontwikkelen in het voorjaar. In een dergelijke situatie wordt dus best de voorkeur gegeven aan een vanggewas dat niet vorstgevoelig is.

Ook de eigenschappen van de hoofdteelt als waardplant zijn van belang, het vanggewas zelf kan namelijk aangetast worden door bepaalde plagen en ziekten van de voorvrucht. Een vlinderbloemig vanggewas ingezaaid in een erwtenstoppel kan bijvoorbeeld ernstig worden aangetast door de bladrandkever.

Tot slot dient er ook rekening gehouden te worden met de nawerking van bodemherbiciden gebruikt in de voorteelt; indien de bodembewerking onvoldoende is, kunnen deze herbicideresiduen de ontwikkeling van de vanggewassen remmen.

3.2.3 ZAAITIJDS TIP

Wanneer het vanggewas na de oogst van het hoofdgewas wordt ingezaaid, is het de oogst van de hoofdteelt die het tijdstip bepaalt waarop gezaaid kan worden. Dit zaaitijdstip bepaalt echter in grote mate welk vanggewas moet of kan gekozen worden (Tabel 18). Een vanggewas heeft namelijk een zekere periode nodig om voldoende te ontwikkelen en zijn rol te kunnen waarmaken. Een te late zaai kan resulteren in een mindere ontwikkeling, een minder goede bedekking en een verminderde stikstofopname.

TABEL 18: OVERZICHT ZAAITIJDS TIPPEN VAN ENKELE VEEL VOORKOMENDE VANGGEWASSEN (HERMANS ET AL., 2010).

	ZAAITIJDS TIP							
	maa	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt
Bladrijke groenbemesters								
Gele mosterd								
Bladrammenas								
Bladkool								
Facelia								
Grasachtige groenbemesters								
Westerwolds raaigras								
Engels raaigras								
Italiaans raaigras								
Snijrogge								
Japane haver								
Vlinderbloemige groenbemesters								
Wikke								
Klaver								
Lupinen								

zaaien onder dekvruucht
 zaaien op braakland
 zaaien in vroege stoppel
 zaaien in late stoppel
 N-vanggewas

Na een later geogoste hoofdteelt zal logischerwijze gekozen worden voor een zich snel ontwikkelend vanggewas. Na een vroeg geogoste voorvrucht daarentegen is er ook ruimte voor vanggewassen die minder snel ontwikkelen of die warmte nodig hebben voor een optimale ontwikkeling. Voor mosterd is de zaaidatum soms een afweging tussen een maximale stikstofopname en het voorkomen van zaadontwikkeling. Hoe vroeger de zaaidatum van gele mosterd hoe belangrijker de beslissing om voor een ras met late bloei te kiezen.

3.2.4 KOSTPRIJS

Een andere overweging bij de keuze van het vanggewas is de kostprijs van de tussenteelt en met name de kostprijs van het zaaizaad. In Tabel 19 wordt een overzicht gegeven van richtinggevende, gemiddelde prijzen per kilogram zaaizaad van diverse vanggewassen. In functie van de zaaidichtheid is de kostprijs van het zaad per hectare berekend.

TABEL 19: RICHTINGGEVENDE GEMIDDELDE KOSTPRIJS ZAAIZAAD ZOMER 2011 (ANONIEM, 2011).

Soort	Prijs (€ kg ⁻¹)	Zaaidichtheid (kg ha ⁻¹)	Prijs (€ ha ⁻¹)	Relatieve kostprijs per ha (Italiaans raaigras = 100%)
Facelia	€ 7,50	8	€ 60	83%
		12	€ 90	125%
Gele mosterd	€ 2,00	10	€ 20	28%
		20	€ 40	56%
Bladrammenas	€ 4,00	12	€ 48	66%
		20	€ 80	110%
Wikke	€ 1,50	80	€ 120	166%

Soort	Prijs (€ kg ⁻¹)	Zaadichtheid (kg ha ⁻¹)	Prijs (€ ha ⁻¹)	Relatieve kostprijs per ha (Italiaans raaigras = 100%)
		100	€ 150	207%
Alexandrijnse klaver	€ 3,45	25	€ 86	119%
		30	€ 103	142%
Veldboon	€ 0,90	120	€ 108	149%
		160	€ 144	199%
Italiaans raaigras	€ 1,80	25	€ 50	69%
		40	€ 72	100%
Snijrogge	€ 0,60	75	€ 45	62%
		100	€ 60	83%
Japane haver	€ 1,60	50	€ 80	110%
		80	€ 128	177%
Zomerhaver	€ 0,65	50	€ 32	44%
		80	€ 52	72%
Tagetes	€ 30,00	3	€ 90	124%
		10	€ 300	414%

3.2.5 AANLEGWIJZE

Een aspect dat mogelijk minder zal doorwegen in de keuze van het soort vanggewas is het gemak van aanleggen. Een gemakkelijke aanleg van het vanggewas kan de werklust verminderen tijdens een periode waarin de werkdruk al hoog is. Kruisbloemigen kunnen breedwerpig gezaaid worden en moeten niet bedekt worden omdat het zaad al wat reserves bevat. Dit betekent dat de aanleg van deze vanggewassen snel kan en weinig hoeft te kosten. Lichtere zaden zoals die van facelia of raaigras kunnen niet breedwerpig gezaaid worden. Het inzaaien moet nauwkeuriger gebeuren en er moet voldoende contact zijn met de bodem. Facelia bijvoorbeeld moet goed bedekt zijn omdat het zaad slecht kiemt onder invloed van licht, maar mag niet te diep gezaaid worden (1-2 cm).

3.2.6 Vernietigingswijze

Niet enkel het gemak van aanleggen maar ook het gemak van vernietiging bepaalt mee de kost van de tussenteelt en de werkdruk die deze met zich meebrengt. Bovendien voorkomt een efficiënte vernietiging zaadopslag en de vorming van een anaerobe laag ter hoogte van de ploegzool. Deze anaerobe laag kan voor de volgteelt resulteren in een kwantitatief en kwalitatief mindere productie.

Het gemak van vernietiging gaat niet enkel gepaard met het type en de vorstgevoeligheid van het vanggewas maar hangt eveneens af van het moment waarop de landbouwer het vanggewas wenst onder te werken. Op de zwaardere leem- en kleibodems wordt doorgaans voor de winter geploegd terwijl de lichtere bodems na de winter en in het voorjaar worden geploegd.

Vorstgevoelige vanggewassen zoals de breedbladige vanggewassen zijn na de winter meestal voldoende afgestorven (Figuur 12) en kunnen zonder verdere voorbereiding worden ingeploegd. Op de zwaardere bodems waar reeds in het najaar wordt geploegd voordat de vanggewassen zijn afgevroren, moeten deze doorgaans eerst geklepeld of gemaaid worden vooraleer ze ondergewerkt kunnen worden. Best gebeurt de voorbereiding enkele dagen voor het inwerken zodat een eerste afbraak nog kan gebeuren onder aerobe omstandigheden.



23/10/2009



16/12/2009



28/01/2009

FIGUUR 12: OVERZICHT GEWASTOESTAND GELE MOSTERD IN GITS OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN (DEBUSSCHE, 2010).

De vanggewassen die niet of beduidend minder vorstgevoelig zijn zoals de grasachtige (Figuur 13) dienen vaak chemisch gedood te worden vooraleer ze ondergewerkt kunnen worden.



23/10/2009



16/12/2009



28/01/2009

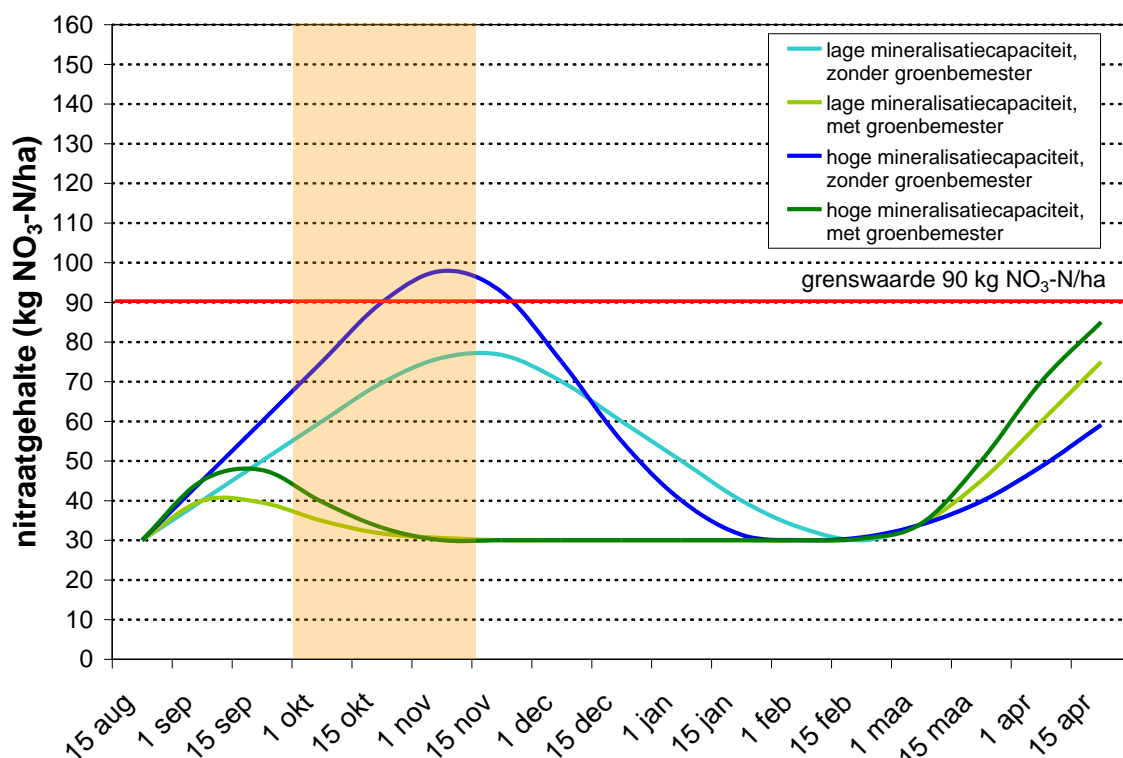
FIGUUR 13: OVERZICHT GEWASTOESTAND ITALIAANS RAAIGRAS IN GITS OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN (DEBUSSCHE, 2010).

4 STIKSTOFOPNAME DOOR VANGGEWASSEN

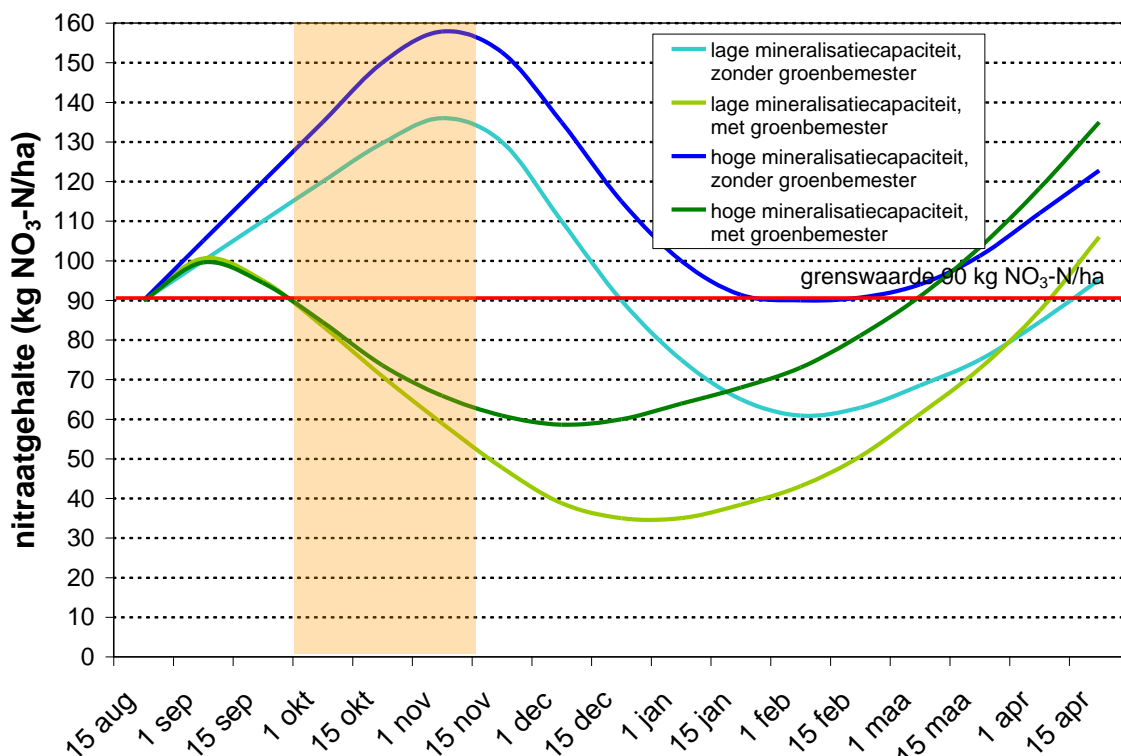
4.1 INLEIDING

N_{\min} wordt door de vanggewassen opgenomen onder vorm van nitraten (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+). Deze kunnen nog aanwezig zijn in de bodem na de oogst van het laatste hoofdgewas, kunnen vrijgesteld worden door mineralisatie uit de oogstresten, uit organische stof in de bodem of uit toegediende organische mest, of kunnen afkomstig zijn van atmosferische depositie. In de bodem komt N_{\min} hoofdzakelijk voor onder de vorm van nitraten.

Een vanggewas heeft een merkbare invloed op de evolutie van het nitraatstikstofgehalte in de bodem en dit vrijwel vanaf de inzaai. Bij inzaai van een vanggewas neemt aanvankelijk het nitraatstikstofgehalte even toe tot het wortelstelsel ontwikkeld is en nitraat kan opnemen uit de bodem. De bijkomende minerale N is afkomstig van de mineralisatie van de organische stof, begunstigd door de bodembewerkingen om het zaaibed klaar te maken. Door opname van deze N door de vanggewassen daalt het nitraat-N-gehalte echter vlug en blijft het laag gedurende de wintermaanden. In het voorjaar zal deze opgenomen N terug mineraliseren en vrijkomen in de bodem, na onderwerken of afsterven van het vanggewas (zie deel 5.2). In Figuur 14 en Figuur 15 wordt de evolutie van het nitraat-N-gehalte in de bodem weergegeven in functie van verschillende uitgangssituaties in augustus. Dit zijn geïdealiseerde curven, opgesteld op basis van cijfers bekomen uit verschillende proefveld- en praktijkresultaten.

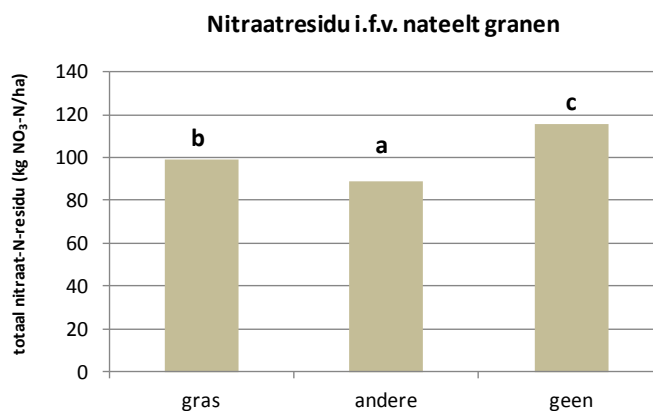


FIGUUR 14: EVOLUTIE VAN HET NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM VERTREKKEND VAN EEN ZEER LAAG NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM IN AUGUSTUS (HERMANS ET AL., 2010).



FIGUUR 15: EVOLUTIE VAN HET NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM VERTREKKEND VAN EEN HOGER NITRAATSTIKSTOFGEHALTE IN DE BODEM IN AUGUSTUS (HERMANS ET AL., 2010).

Het positieve effect van een nateelt na granen op het N_{\min} -gehalte werd in de praktijk aangetoond door Tits et al. (2010). Indien geen beheerovereenkomst werd afgesloten, was het nitraat-N-residu (nitraat-N-gehalte in de bodem tussen 1 oktober en 15 november) het grootst onder braakliggende percelen, respectievelijk gevolgd door percelen begroeid met grasachtige vanggewassen en andere vanggewassen (Figuur 16).



FIGUUR 16: TOTAAL NITRAAT-N-RESIDU (KG NO₃⁻-N HA⁻¹ IN 0-90 CM) NA GRANEN IN TUSSEN 1 OKTOBER EN 15 NOVEMBER IN FUNCTIE VAN DE NATEELT (OP BASIS VAN CONTROLESTALEN IN OPDRACHT VAN DE MESTBANK) (NAAR TITS ET AL., 2010).

Er zijn verschillende soorten vanggewassen (zie deel 3.1). Zoals eerder beschreven (zie deel 1.2) kan een plant doeltreffend als vanggewas gebruikt worden indien ze een grote opnamecapaciteit heeft, voldoende winterhard is en de mineralisatie in het voorjaar samenvalt met de stikstofvraag van het hoofdgewas.

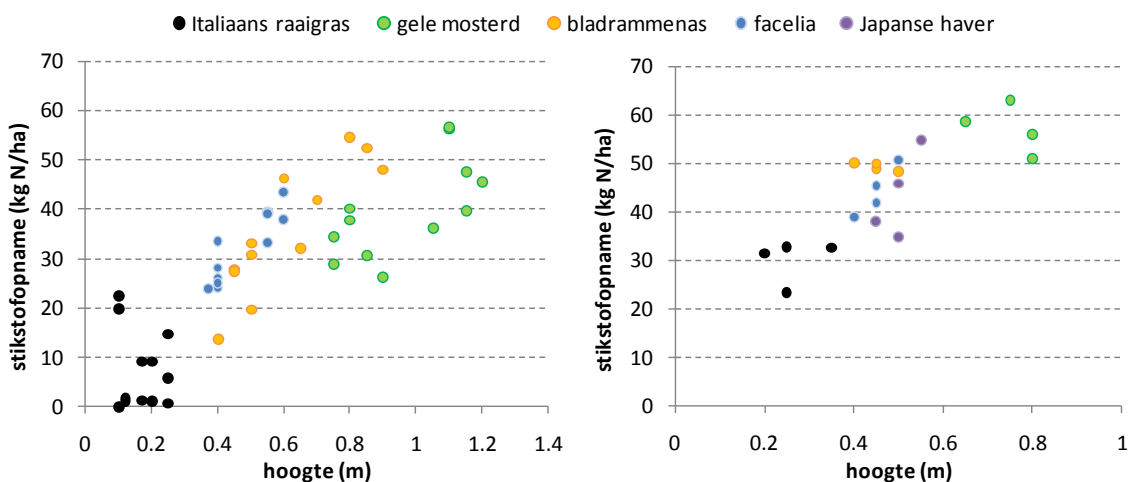
De stikstofopnamecapaciteit van een plant wordt bevorderd door volgende eigenschappen:

- hoge bladgroeisnelheid (*leaf expansion rate*)
- grote stralingsomzetting (*radiation use efficiency*)
- snelle en voldoende diepe wortelontwikkeling

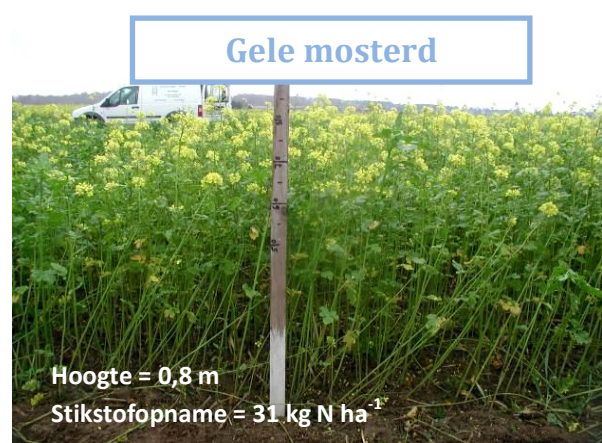
De mate waarin deze eigenschappen zich manifesteren wordt bepaald door de weersomstandigheden en de bodemeigenschappen (textuur, structuur en nutriëntenbeschikbaarheid). Ook de voorgeschiedenis van het perceel, het type grondbewerking bij aanleg, de bemesting en de lengte van het groeiseizoen (zaaitijdstip) hebben een belangrijke impact op de wortelontwikkeling en daarmee op de efficiëntie van het vanggewas. In weinig vruchtbare bodems kunnen ook associaties tussen vanggewassen en mycorrhiza voorkomen die de opname van NO_3^- en NH_4^+ verhogen (Marschner en Dell, 1994).

4.2 ONTWIKKELING VAN HET VANGGEWAS EN ZIJN STIKSTOFOPNAME

De hoeveelheid stikstof die effectief opgenomen wordt door een vanggewas wordt bepaald door de biomassaproductie en het N-gehalte van het plantenweefsel. Loofrijke gewassen zoals gele mosterd of bladrammenas zullen meer stikstof opnemen dan minder bladrijke gewassen. Voor gele mosterd wordt vaak de vuistregel gehanteerd dat dit gewas per 10 cm hoogte ongeveer 10 kg stikstof per hectare bevat. Voor grassen of granen wordt dit geschat op 25 kg stikstof per hectare per 10 cm hoogte. De absolute cijfers buiten beschouwing gelaten, geeft ook dit al een zeker verband aan tussen de stikstofopname en de gewashoogte. Hermans et al. (2010) bevestigden dit met proefveldgegevens van verschillende locaties (Figuur 17 en Figuur 18).



FIGUUR 17: VERBAND TUSSEN DE HOOGTE VAN HET VANGGEWAS EN DE BOVENGRONDSE STIKSTOFOPNAME. LINKS: DEMOVELD TE LEEFDAAL OP EEN LEEBODEM (2008); RECHTS: DEMOVELD TE LINTER OP EEN LEEBODEM (2009) (HERMANS ET AL., 2010).



FIGUUR 18: VERGELIJKING TUSSEN DE BOVENGRONDSE ONTWIKKELING VAN ITALIAANS RAAIGRAS (LINKS) EN GELE MOSTERD (RECHTS) IN 2008 (BOVEN) IN LEEFDAAL EN IN 2009 (ONDER) IN LINTER (HERMANS ET AL., 2010).

Ver Elst et al. (1999) gaven eveneens richtcijfers voor de stikstofopname in functie van het type vanggewas en de kwalitatieve gewasontwikkeling (Tabel 20).

TABEL 20: STIKSTOFOPNAME (KG N HA⁻¹) DOOR VANGGEWASSEN UITGEZAAD IN HET NAJAAR* (VER ELST ET AL., 1999).

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	60 – 100

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

De meeste onderzoeken (Geypens & Honnay, 1995; Vandendriessche et al., 1996; Ver Elst, 2001; BDB, 2003; Ver Elst, 2007) legden de mogelijkheid van vanggewassen op vlak van N-opname vast tussen 20 en net meer dan 100 kg N ha⁻¹ (Tabel 20 en Tabel 21). Ninane et al. (1995) toonden uiterste resultaten tot 178 kg N ha⁻¹. Van Dam (2006) simuleerde met een gemodificeerd SUCROS-model voor Nederland maximale N-opnames tot 200 kg N ha⁻¹. In een review over het gebruik van vanggewassen in gematigde klimaten vermeldde Thorup-Kristensen et al. (2003) N-opnames voor niet-vlinderbloemige vanggewassen van 10 tot 200 kg N ha⁻¹ en in een zeldzame gevallen zelfs tot 300 kg N ha⁻¹. Ze schreven de variatie hoofdzakelijk toe aan de weersomstandigheden en de N-beschikbaarheid.

TABEL 21: VERSGEWICHT, DROGESTOFOPBRENGST EN STIKSTOFOPNAME VOOR VERSCHILLENDE VANGGEWASSEN BIJ VERSCHILLENDE N-BEMESTINGEN IN KESSEL-LO (VER ELST, 2001).

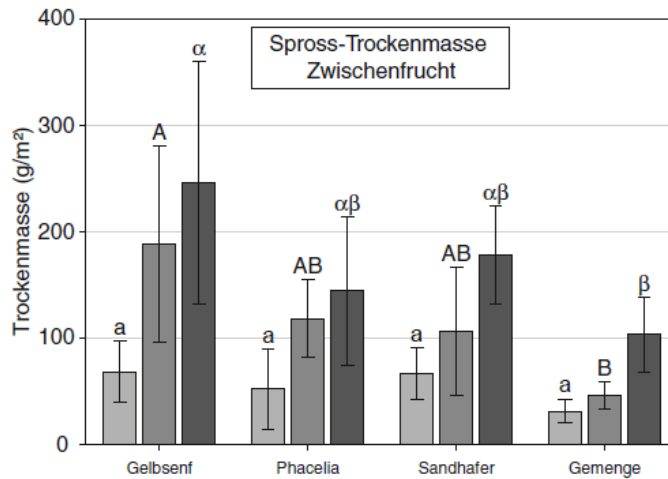
Vanggewas	Bemesting	Versgewicht (kg ha ⁻¹)	Droge stof (kg ha ⁻¹)	N-opname (kg N ha ⁻¹)
Raaigras	25 ton ha ⁻¹ ZDM*	23642	3247	96
Wikke	25 ton ha ⁻¹ ZDM	18399	2293	88
Gele mosterd	25 ton ha ⁻¹ ZDM	27597	4718	118
Raaigras	0 kg N	10293	1693	42
Wikke	0 kg N	15932	1972	76
Gele mosterd	0 kg N	14583	3079	55
Raaigras	50 kg N ha ⁻¹	14500	2298	54
Wikke	50 kg N ha ⁻¹	16079	1819	82
Gele mosterd	50 kg N ha ⁻¹	18416	3771	74

*ZDM = zeugenmengmest

Ook in het buitenland werd onderzoek gevoerd naar de ontwikkeling van vanggewassen. Vos & van der Putten (1997) toonden een dagelijkse opname aan van 3 tot 4 kg N ha⁻¹ aan. De variabiliteit in de drogestofopbrengst van vanggewassen (bovengronds en ondergronds) kon voor 76% verklaard worden door het dagelijks gemiddelde van de stralingsintensiteit. Ze toonden wel aan dat de drogestofopbrengst geen goede indicator is voor het stikstofgehalte in de plant.

Sapkota et al. (2012) legden in Denemarken veldproeven aan op een lichte en een zware bodem. De vanggewassen cichorei (*Cichorium intybus L.*) en Engels raaigras (*Lolium perenne L.*) werden ondergezaaid in de zomergerst in het voorjaar, terwijl bladrammenas (*Raphanus sativus L.*) werd ingezaaid onmiddellijk na de oogst van de zomergerst begin augustus. Als controle was er een braakbehandeling zonder vanggewas. In november was over het gehele profiel (0-200 cm) het N_{min}-gehalte op de veldjes met vanggewassen 33 tot 48% lager dan op de braak. In de bovenste 50 cm werden echter geen significante verschillen waargenomen, wellicht door toedoen van reeds opgetreden uitspoeling. In de bodemlaag van 50 tot 100 cm werd voor de drie vanggewassen immers wél een significante afname van het N_{min}-gehalte gevonden t.o.v. de braak. Voor de bodemlaag van 100 tot 150 cm was de afname enkel significant onder bladrammenas. Voor de laag van 150 tot 200 cm werden geen significante verschillen tussen de behandelingen gevonden. Er werd besloten dat de drie vanggewassen de N_{min} in de verschillende bodemlagen op een andere manier uitputten; bovendien had bladrammenas een significant hogere drogestofopbrengst en N-opbrengst dan cichorei en Engels raaigras. De bovengrondse verschillen in drogestof- en N-opbrengst zijn dus het gevolg van de verschillen in wortelactiviteit (zie ook deel 0).

Bij veldproeven in Duitsland (Brust et al., 2011) met gele mosterd, facelia, Japanse haver en een klaver-wikke-boekweit-Gingellikruidmengsel werd op 3 oogsttijdstippen telkens de hoogste bovengrondse drogestofopbrengst gemeten bij gele mosterd (Figuur 19).



FIGUUR 19: BOVENGRONDSE DROGESTOFOPBRENGST GELE MOSTERD, FACELIA, JAPANESE HAVER EN EEN KLAVER-WIKKE-BOEKWEIT-GINGELLIKRUIDMENGSEL OP 3 TIJDSTIPPEN (LICHTGRIJS/DONKERGRIJS/ZWART) (BRUST ET AL., 2011).

Nett et al. (2011) onderzochten het effect van 4 vanggewassen - snijrogge (*Secale cereale*), bladrammenas (*Raphanus sativus L. var. oleiformis Pers.*), ui (*Allium cepa L.*) en soedangras (*Sorghum sudanense Stapf*) - op de N-overschotten die ontstaan bij intensieve groententeelt in Duitsland. Zij definieerden vervolgens N_{input} en N_{output} als volgt:

N_{input} = de som van:

- de N_{min} in de bodem (0-90 cm) bij oogst van het hoofdgewas
- de N in de bovengrondse oogstresten die achterblijven op het veld
- de N toegediend als kunstmest tussen deze oogst en de oogst van het volgende hoofdgewas

N_{output} = de som van:

- de N afgevoerd bij eventuele oogst van het vanggewas
- de N in de bovengrondse biomassa bij oogst van het volgende hoofdgewas
- de N_{min} in de bodem (0-90 cm) bij oogst van het volgende hoofdgewas

Het verschil tussen beiden werd het schijnbaar N-verlies genoemd:

$$N_{verlies} = N_{input} - N_{output}$$

Het effect van het vanggewas werd beoordeeld op basis van de verschillen in $N_{verlies}$ tussen de overeenkomstige behandelingen met en zonder vanggewas. Hoe groter $N_{verlies}$, hoe meer N verloren ging door uitspoeling en denitrificatie. Voor de behandelingen zonder vanggewas bedroeg $N_{verlies}$ gemiddeld $217 \pm 17 \text{ kg N ha}^{-1}$, voor de behandelingen met vanggewas was dit gemiddeld $13 \pm 6 \text{ kg N ha}^{-1}$ minder. Het effect van het vanggewas werd echter sterk beïnvloed door het soort vanggewas: voor de 4 gebruikte vanggewassen was het verschil tussen de behandelingen met of zonder vanggewas enkel significant voor ui en bladrammenas (tot 30 kg N ha^{-1}).

Nett et al. (2011) bekeken ook het verband tussen de afname van $N_{verlies}$ en de bovengrondse N-opbrengst van de vanggewassen maar konden geen sterke correlatie aantonen; dit ondanks significante verschillen tussen de gemiddelde bovengrondse N-opbrengst van de 4 vanggewassen. Dit is een indicatie dat de verschillen in ondergrondse N-opbrengst van belang kunnen zijn.

Uit analyse van jaarlijks uitgevoerde metingen op praktijkpercelen in het kader van het formuleren van bemestingsadviezen, stelden Destain et al. (2010) in het voorjaar een afname van het N_{min} -gehalte vast

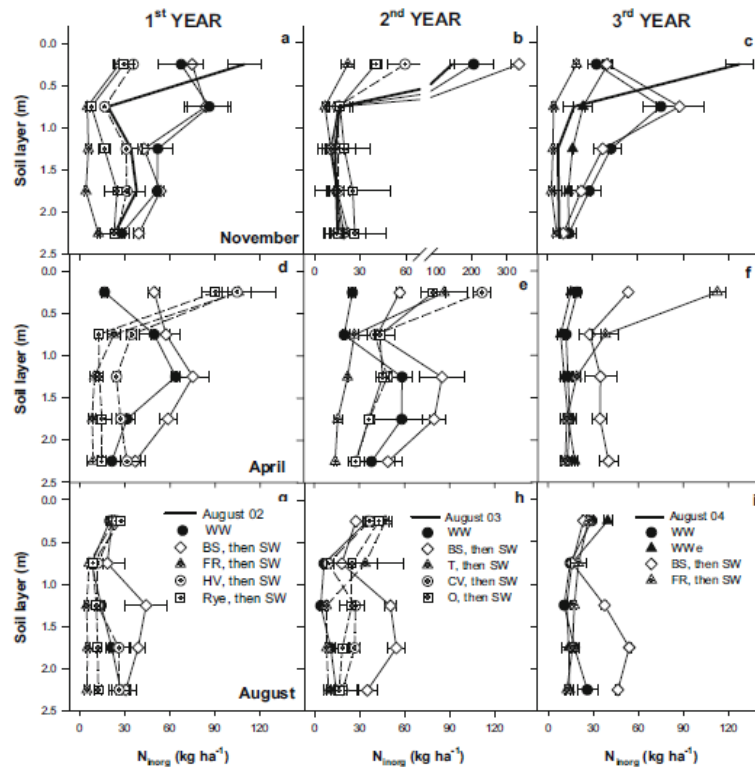
onder vanggewassen (Tabel 22). Deze afname was vooral uitgesproken in de onderste laag. Uit de in de herfst ingewerkte pluimveemest werd immers N_{\min} vrijgesteld, die zonder opname door het vanggewas neerwaarts kon migreren. De kleinere verschillen in de middelste en vooral de bovenste laag zijn waarschijnlijk te wijten aan het heropstarten van de mineralisatie voorafgaand aan de monsternamen in de lente.

TABEL 22: MINERAAL N-GEHALTE IN DE LENTE (KG N HA^{-1}) MET EN ZONDER VANGGEWAS, NA TOEDIENING VAN PLUIMVEEMEST ($4 \text{ TOT } 6 \text{ TON HA}^{-1}$) IN DE HERFST (DESTAIN ET AL., 2010).

Diepte	Met vanggewas	Zonder vanggewas
0-30 cm	27	29
30-60 cm	37	45
60-90 cm	30	99
0-90 cm	94	173

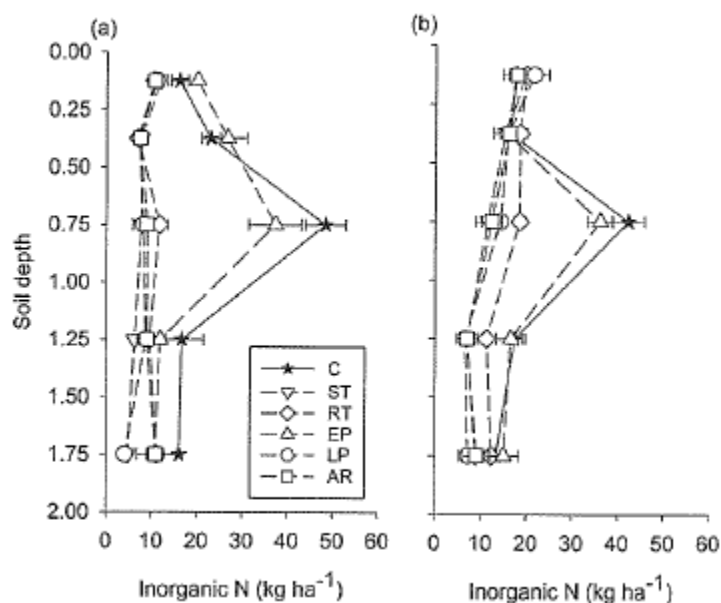
Een driejarig Deens onderzoek op zandleem (Thorup-Kristensen et al., 2009) vergeleek de evolutie van het gehalte aan N_{\min} in de bodem, enerzijds onder wintertarwe en anderzijds onder braak en onder diverse vanggewassen gevolgd door zomertarwe. De proeven werden telkens aangelegd na erwt (*Pisum sativum*) waarvan de oogstresten in de maand juli gefreesd en ondergeploegd werden. In het eerste jaar (2002) werden de vanggewassen snijrogge (*Secale cereale*), bladrammenas (*Raphanus sativus*) en wikke (*Vicia sativa*) ingezaaid, in het tweede jaar (2003) haver (*Avena sativa*), raap (*Brassica rapa subs., rapa*) en harige wikke (*Vicia villosa Roth.*) en in het derde jaar (2004) enkel bladrammenas. Het inzaaien van het vanggewas gebeurde steeds in de eerste 10 dagen van augustus. Het vanggewas werd ondergeploegd in maart, gevolgd door inzaai van de zomertarwe binnen de 3 tot 6 weken. De wintertarwe werd tijdens het eerste jaar half oktober ingezaaid, daarna tweemaal in de eerste helft van september. Er werd zowel op de vanggewassen als op de tarwe geen bemesting toegediend.

De hoeveelheid N_{\min} in de bodem was in augustus voor de drie proefjaren vergelijkbaar en bevond zich voornamelijk in de bovenste laag (zie Figuur 20). In november werd onder braak een neerwaartse beweging waargenomen die per jaar afhing van het neerslagoverschot in het najaar. Onder de vanggewassen werd in november 156 tot 318 kg ha^{-1} minder N_{\min} aangetroffen dan in de bodem onder braak. De grootste afnames werden teruggevonden onder de kruisbloemigen bladrammenas en raap. In het voorjaar werd na het inwerken van de vanggewassen een herverdeling van de N_{\min} vastgesteld: terwijl bij braak een groot deel van de N_{\min} gemigreerd is naar diepere bodemlagen, werd onder vanggewassen op grotere diepte minder N_{\min} aangetroffen. In de toplaag is door mineralisatie uit de vanggewasresten dan weer het omgekeerde het geval. Na de oogst in augustus zijn die verschillen in de toplaag verdwenen door opname door de zomertarwe, maar dieper, tot waar de wortels van de zomertarwe niet reiken, blijven ze duidelijk bestaan.



FIGUUR 20: N_{MIN} -GEHALTE IN DE BODEM IN NOVEMBER, IN APRIL EN IN AUGUSTUS NA DE OOGST, VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN (WW = WINTERTARWE, WW_E = VROEG GEZAAIDE WINTERTARWE, SW = ZOMERTARWE, FR = BLADRAMMENAS, HV = HARIGE WIKKE, T = RAAP, CV = WIKKE, O = HAVER, BS = BRAAK). HET INITIEEL N_{MIN} -GEHALTE IN AUGUSTUS, VOORAFGAAND AAN DE ZAAI VAN DE VANGGEWASSEN, IS WEERGEGEVEN TUSSEN DE RESULTATEN VAN NOVEMBER. DE FOUTENBALKEN KOMEN OVEREEN MET DE STANDAARD AFWIJKING (THORUP-KRISTENSEN ET AL., 2009).

Gelijkaardige resultaten werden gevonden in een andere Deense proef (Stavridou et al., 2012), waarbij het gecombineerd effect van gele mosterd (*Sinapis alba*) en verschillende soorten bodembewerkingen op de verdeling van N_{min} in de bodem werd nagegaan (Figuur 21). Het hoofdgewas volgde op het vanggewas was suikerbiet. Dit resulteerde in verschillende behandelingen: het vanggewas werd ondergeploegd ofwel in september, ofwel in november, het vanggewas werd ingewerkt in september maar enkel in stroken waar de bieten later gezaaid zouden worden, het vanggewas werd ingezaaid tussen ruggen waarin de bieten gezaaid konden worden, of de bieten werden direct ingezaaid in het vanggewas. Er werd ook een controlebehandeling zonder vanggewas aangelegd, die werd geploegd in september. Het mineraal stikstofgehalte in de bodem lag zowel in december als in maart duidelijk hoger in de controlebehandeling en in het in september ondergeploegde vanggewas (Figuur 21). Een gedeeltelijke bedekking of het laat inploegen van het vanggewas blijkt dus ook in de maanden na inwerken zijn effect te behouden.



FIGUUR 21: MINERAAL N-GEHALTE IN EEN ZANDLEEMBODEM IN DECEMBER 2008 (A) EN MAART 2009 (B) VOOR VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN: EEN CONTROLE (C), EEN GESTROOKTE BODEMBEWERKING (ST), DIRECTE INZAAI (RT), VROEG PLOEGEN (EP), LAAT PLOEGEN (LP) EN EEN RUGGENBEWERKING (AR). DE STANDAARD AFWIJINGEN (N=4) ZIJN WEERGEGEVEN DOOR HORIZONTALE LIJNSTUKJES (STAVRIDOU ET AL., 2012).

Constantin et al. (2010, 2011) volgden op drie Noord-Franse locaties met verschillende bodemtypes en klimatologische omstandigheden gele mosterd (*Sinapis alba*), bladrammenas (*Raphanus sativus*) en Italiaans raaigras (*Lolium perenne*) op over een periode van 13 tot 17 jaar. Er was telkens één soort vanggewas en één controle per locatie. Mosterd en bladrammenas werden jaarlijks ingezaaid eind augustus of begin september; raaigras elke 2 jaar. De gewassen in de rotaties waren afhankelijk van de locatie; overal werd wintertarwe (*Triticum aestivum* L.) ingezaaid, afgewisseld met één of twee andere gewassen uit de volgende reeks: gerst (*Hordeum vulgare* L.), suikerbiet (*Beta vulgaris* L.), erwten (*Pisum sativum* L.) of snijmaïs (*Zea mays* L.).

Enkele gegevens betreffende de opbrengsten en samenstelling van de vanggewassen zijn weergegeven in Tabel 23. De wortel:stengelverhouding van de drogestofopbrengst bedroeg 0,20 voor gele mosterd, 0,72 voor Italiaans raaigras en 0,15 voor bladrammenas. Voor de N-opbrengst was dat respectievelijk 0,06, 0,37 en 0,05. Bij het bepalen van de N-opname was het voor de grasachtige vanggewassen dus zeker noodzakelijk de ondergrondse biomassa mee in rekening te brengen.

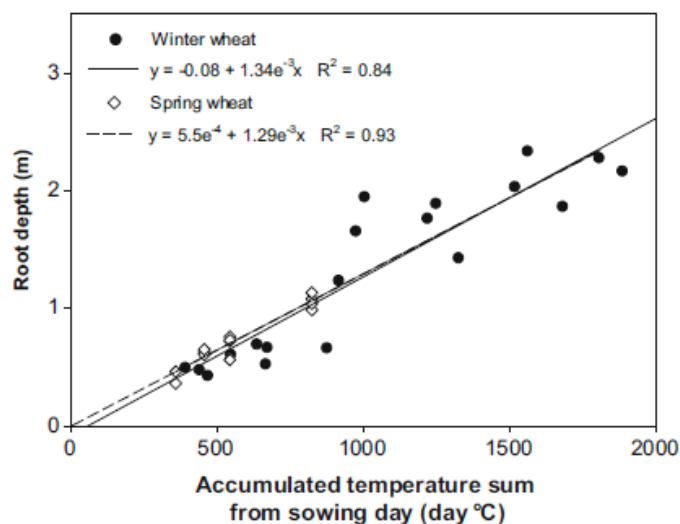
TABEL 23: GEMIDDELDE JAARLIJKSE DROGESTOFOPBRENGST, STIKSTOFOPBRENGST EN C:N-VERHOUDING VOOR GELE MOSTERD, ITALIAANS RAAIGRAS EN BLADRAMMENAS (BOVENGRONDS + ONDERGRONDS); DE BEHANDELINGEN MET GELE MOSTERD WAREN ONDERHEVIG AAN EEN CONVENTIONELE (CT) OF GEEN BODEMBEWERKING (NT), BIJ BLADRAMMENAS WERD EEN NORMALE (N) OF VERMINDERDE BEMESTING (N-) UITGEVOERD OP HET HOOFDGEWAS (CONSTANTIN ET AL., 2010).

Behandeling	Vanggewas	Opbrengst (ton DS ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	N-opbrengst (kg N ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	C:N-verhouding
Boigneville CT	Gele mosterd	1,22	37	13,0
Boigneville NT	Gele mosterd	0,92	29	12,5
Kerlavic	Italiaans raaigras	2,32	35	28,2
Thibie N	Bladrammenas	1,56	37	16,8
Thibie N-	Bladrammenas	1,47	34	17,2

4.3 EFFECT VAN DE WORTELONTWIKKELING OP DE STIKSTOFOPNAME

Hoewel meerdere soorten vanggewassen in staat zijn de minerale bodemstikstof in hun wortelzone volledig op te nemen, zullen zij meer of minder stikstof opnemen uit het profiel omwille van de verschillen in bewortelingsdiepte. Die verschillen zijn het gevolg van enerzijds de lengte van de initiële lagfase en anderzijds de snelheid van de verticale wortelgroei. Er werden ook indicaties gevonden dat vroege wortelgroei gerelateerd is aan zaadgrootte; hoe groter het zaad, hoe korter de lagfase of hoe sneller de wortelgroei van start gaat (Thorup-Kristensen, 2001). De wortelgroeisnelheden bleken tevens vergelijkbaar voor soorten behorend tot eenzelfde botanische groep. Zo werden voor de monocotylen rogge, haver en Italiaans raaigras snelheden gevonden van 1,0 tot 1,2 mm dag⁻¹ °C⁻¹. Voor de kruisbloemigen koolzaad en bladrammenas was dit 2,0 tot 2,3 mm dag⁻¹ °C⁻¹. Voor bonte wikke werd een wortelgroeisnelheid gevonden van 0,9 mm dag⁻¹ °C⁻¹, wat overeenstemt met wat eerder gevonden werd voor erwt, ook een vlinderbloemige (Thorup-Kristensen, 1998). Ook resultaten uit de eerder vermelde veldproeven in Denemarken (zie deel 4.2) staven dit: de kruisbloemige bladrammenas ontwikkelde het diepste wortelstelsel, wat overeenkomt met de vaststelling dat bladrammenas de stikstof uit diepere bodemlagen in grotere mate weghaalt dan Engels raaigras en cichorei (Sapkota et al., 2012). De wortels van het Engels raaigras, een monocotyl, reikten in september het minst diep en hun lengte nam nadien, in tegenstelling tot die van cichorei en bladrammenas, niet meer significant toe (volgens de metingen in oktober).

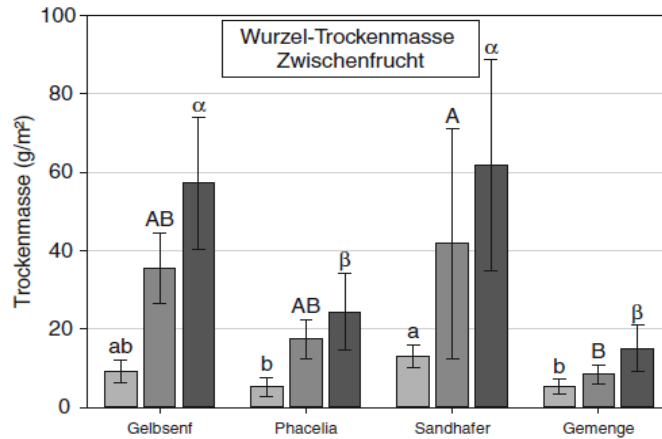
De wortelgroei zelf wordt voor elke soort afzonderlijk gedreven door de temperatuursom. Zo bereiken de wortels van wintertarwe door de extra groeiperiode in de herfst een diepte van 2,5 m terwijl in de lente gezaaide zomertarwe maar 1,5 m diep reikt (Figuur 22). Thorup-Kristensen et al. (2009) vonden kort na de oogst onder wintertarwe minder N_{\min} terug in het bodemprofiel dan onder zomertarwe na braak. Wintertarwe beschouwen als een echt vanggewas is echter niet aangewezen omwille van de relatief beperkte gewasontwikkeling en N-opname in de herfst. Op zandige bodems kan de uitspoeling in het najaar immers dusdanig intens zijn dat N_{\min} ook voor de wortels van wintertarwe in het daaropvolgende voorjaar niet meer bereikbaar is en uitspoeling onherroepelijk is. Bij intensief bemeste bodems is het bovendien mogelijk dat de wortels zich in het voorjaar minder diep ontwikkelen of minder actief N opnemen uit diepere bodemlagen (o.a. Kuhlmann et al., 1989).



FIGUUR 22: BEWORTELINGSDIEPTE BIJ WINTERTARWE EN ZOMERTARWE IN RELATIE TOT DE TEMPERATUURSOM (THORUP-KRISTENSEN ET AL., 2009).

Naast de N-opnamefunctie van de wortels, maakt de wortelbiomassa ook deel uit van de totale N-opslagcapaciteit van het vanggewas. In veel studies wordt de ondergrondse bijdrage aan droge stof en

dit ook aan stikstof niet in rekening gebracht. De absolute opbrengsten aan ondergrondse droge stof zijn afhankelijk van het soort vanggewas. Bij veldproeven in Duitsland (Brust et al., 2011) werden op 3 oogsttijdstippen voor gele mosterd, facelia, Japanse haver en een klover-wikke-boekweit-Gingellikruidmengsel verschillende ondergrondse drogestofopbrengsten opgemeten (Figuur 23).



FIGUUR 23: ONDERGRONDSE DROGESTOFOPBRENGST GELE MOSTERD, FACELIA, JAPANESE HAVER EN EEN KLAVER-WIKKE-BOEKWEIT-GINGELLIKRUIDMENGSEL EN DIT OP 3 TIJDSTIPPEN (LICHTGRIJS/DONKERGRIJS/ZWART) (BRUST ET AL., 2011).

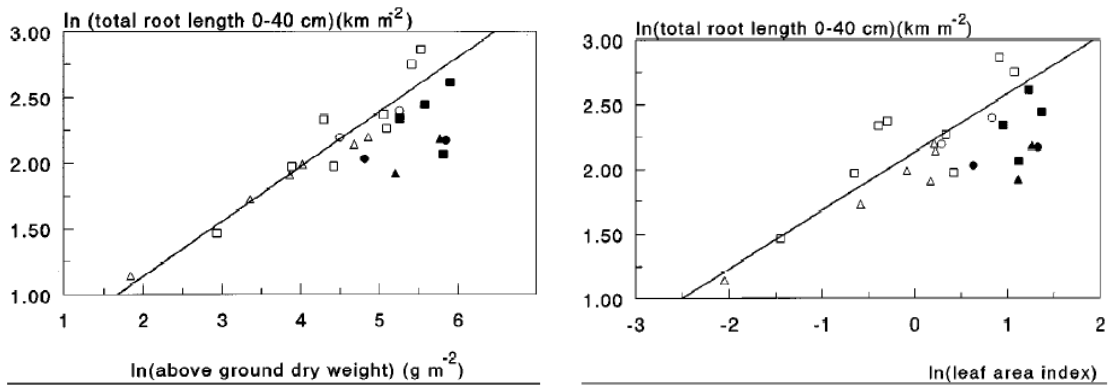
Vos et al. (1998) deden uitgebreid onderzoek naar de wortelontwikkeling van vanggewassen en testten aan de hand van hun proefopzet (zie ook deel 4.4) de volgende hypothesen:

1. De totale wortellengte staat in positieve relatie tot ofwel de bovengrondse drogestofopbrengst, ofwel de LAI (bladoppervlakte-index).
2. De wortellengtedichtheid neemt exponentieel af met de diepte.
3. Wortellengte en stikstofbeschikbaarheid in de bodem zijn negatief gerelateerd.
4. Eénzaadlobbige planten gedragen zich anders dan tweezaadlobbigen omwille van de verschillen in wortelontwikkeling.

De eerste hypothese werd bevestigd, maar enkel voor onbemeste vanggewassen. Voor de bemeste vanggewassen werden zeer lage r^2 -waarden bekomen (Figuur 24). Er wordt vooral een sterke positieve relatie ($r^2 = 0,90$) gevonden tussen de totale wortellengte (0-40 cm) en de bovengrondse drogestofopbrengst. Voor de LAI is dit minder uitgesproken ($r^2 = 0,75$). De gevonden relaties zijn vergelijkbaar voor snijrogge, koolzaad en bladrammenas, wat onmiddellijk de vierde hypothese ontkracht. De totale wortellengte voor snijrogge was weliswaar beduidend groter dan voor koolzaad en bladrammenas.

Ook de derde hypothese wordt door de resultaten uit Figuur 24 eerder bevestigd, hoewel de spreiding in de gegevens te beperkt was om duidelijke uitspraken te kunnen doen. Voor eenzelfde bovengrondse drogestofopbrengst of LAI werden over een diepte van 0 tot 40 cm steeds lagere wortellengten gevonden voor de bemeste vanggewassen. Voor de bovenste bodemlaag (0-10 cm) werd echter het omgekeerde vastgesteld, wat erop wijst dat de wortelontwikkeling zich bij regelmatige bemesting meer concentreert aan de oppervlakte, waar N_{\min} overvloedig aanwezig is.

Tot slot werd ook de tweede hypothese aangetoond.



FIGUUR 24: RELATIE TUSSEN DE TOTALE WORTELENGTE TOT OP EEN DIEPTE VAN 40 CM ENERZIJD EN DE BOVENGRONDSE DROGESTOFOPBRENGST (LINKS) EN DE BLADOPPERVLAKTE-INDEX (RECHTS) ANDERZIJD. OPEN SYMBOLEN STELLEN DE ONBEMESTE BEHANDELINGEN VOOR, GEVULDE SYMBOLEN DE BEMESTE BEHANDELINGEN. VIERKANTJES, CIRKELTJES EN DRIEHOEKJES STAAN RESPECTIEVELIJK VOOR ROGGE, KOOLZAAD EN BLADRAMMENAS. DE REGRESSIERECHTEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE ONBEMESTE BEHANDELINGEN (VOS & VAN DER PUTTEN, 1998).

4.4 EFFECT VAN HET ZAAITIJDS TIP OP DE STIKSTOFOPNAME

Het zaaitijdstip is een cruciale parameter voor de grootte van de stikstofopname van het vanggewas. Niet alleen wordt het totale groeiseizoen korter naarmate later wordt ingezaaid, maar ook de daglengte, de lichtintensiteit, de temperatuur en de grootte van het neerslagoverschot nemen toe. Herelixka et al. (2002) stellen dat de vanggewassen voor 1 september ingezaaid moeten worden om een voldoende hoge N-opname te realiseren en het stikstofresidu gevoelig te verlagen. Daarna wordt de ontwikkeling van een vanggewas vooral bepaald door de temperatuur en de straling. Dit zorgt voor een exponentieel verloop: de verschillen in drogestofopbrengst tussen midden en eind augustus zijn kleiner dan tussen eind augustus en midden september (Tabel 24).

De afname in N-opbrengsten blijkt echter niet evenredig te verlopen met de afname in drogestof. Het is duidelijk dat het N-gehalte van het vanggewas groter wordt naarmate het later ingezaaid wordt. Voor de niet-bemeste gele mosterd werd enkel een lagere N-opbrengst waargenomen voor de zaai van midden september. Dit wijst erop dat de N-opname minder sterk afhankelijk is van het zaaitijdstip dan de biomassaopbouw; wellicht omdat de opname grotendeels gestuurd wordt door een vochtgradiënt, terwijl bij de opbouw van biomassa (C-assimilatie) de hoeveelheid opgevangen zonne-energie doorslaggevend is.

TABEL 24: BIOMASSAPRODUCTIE EN N-OPNAME DOOR GELE MOSTERD VOOR VERSCHILLENDE ZAAITIJDS TIPpen EN BIJ VERSCHILLENDE N-BEMESTINGSNIVEAUS (NINANE ET AL., 1995; GOFFART ET AL., 1997).

Groenbemester	Zaaidatum	N-bemesting (kg N/ha)	Biomassaproductie (ton DS/ha)	N-opname (kg/ha)
Mosterd	17/08/1993	0	3,2	50
		80	5,5	115
	30/08/1993	0	2,4	53
		80	2,9	72
	13/09/1993	0	0,7	30
		80	1,3	51

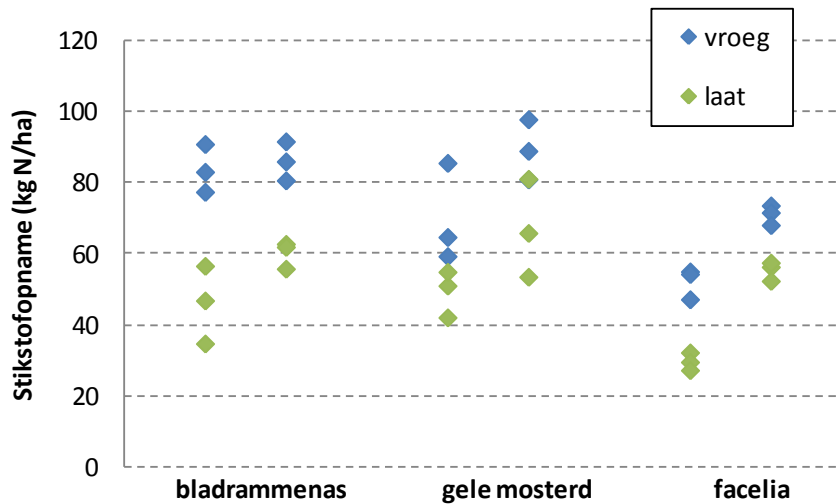
Vos (1992) bracht gegevens samen van meerdere empirische studies aangaande stikstofopname door vanggewassen. In die studies werden de verschillende vanggewassen ingezaaid op diverse tijdstippen; Vos vergeleek deze zaaitijdstippen en de respectievelijke bovengrondse stikstofopbrengsten. Indien

initieel minstens 100 kg ha⁻¹ minerale N aanwezig was, kon de bovengrondse stikstofopbrengst eind november tot begin december benaderd worden aan de hand van volgende vergelijking:

$$N_{opbrengst} = 522 - 1,8 * zaaidatum$$

met $N_{opbrengst}$ de bovengrondse stikstofopbrengst in kg N ha⁻¹ en de zaaidatum uitgedrukt als dag van het kalenderjaar.

Voor bladrammenas, gele mosterd en facelia toonden Hermans et al. (2010) verschillen aan in de N-opname uit de bodem tussen een vroege en een late zaai (Figuur 25).



FIGUUR 25: STIKSTOFOPNAME (KG N HA⁻¹) IN FUNCTIE VAN ZAAITIJDTIP EN TYPE VANGGEWAS (HERMANS ET AL., 2010).

Bij opsplitsing in vroeg en laat ingezaaide vanggewassen (bladrammenas, snijrogge, ui en Soedangras) in Duitsland vonden Nett et al. (2011) dat de gemiddelde afname van N_{min} in de bodem onder vroeg ingezaaide vanggewassen significant verschillend was van 0 (20 ± 7 kg N ha⁻¹, $p = 0,010$), terwijl dat niet het geval was voor de afname onder laat ingezaaide vanggewassen (6 ± 9 kg N ha⁻¹, $p = 0,492$).

Vos & van der Putten (1997) toonden het belang aan van het zaaitijdstip door in Wageningen op zand op 3 verschillende tijdstippen vanggewassen in te zaaien; de eerste maal eind augustus, de tweede en derde maal respectievelijk 3 en 6 weken later. De proef werd 4 keer herhaald over een periode van 5 jaar (1991-1996), telkens met 2 vanggewassen. Snijrogge (*Secale cereale*) werd gecombineerd met ofwel koolzaad (*Brassica napus ssp. oleifera*), ofwel bladrammenas (*Raphanus sativus ssp. oleiferus*). Er werden 2 bemestingstrappen voorzien: zonder extra bemesting en met regelmatige toediening van kunstmest opdat geen stikstoftekort zou optreden. De drogestofopbrengst, de stikstofopbrengst en het stikstofgehalte in het vanggewas zijn weergegeven in Tabel 25.

Er is een grote spreiding die toe te schrijven is aan de jaarlijkse meteorologische verschillen en aan de verschillen tussen de 3 soorten vanggewassen. Desalniettemin tonen de resultaten in Tabel 25 aan dat er een sterke invloed is van het zaaitijdstip en de aan- of afwezigheid van de extra bemesting. Hoe later het zaaitijdstip, hoe kleiner de drogestof- en de stikstofopbrengst. De onevenredige afname tussen deze twee zorgt er echter voor dat het stikstofgehalte in de plant stijgt. De respons op de extra bemesting is positief voor alle parameters en voor elk zaaitijdstip, maar neemt zowel relatief als absoluut af naarmate het vanggewas later ingezaaid wordt. Een ander effect van de extra bemesting was dat op de bemeste percelen de spreiding over de jaren kleiner was dan op de niet-bemeste percelen. Dit omdat de extra bemesting de variatie in de natuurlijke beschikbaarheid van N_{min} tenietdoet.

TABEL 25: GEMIDDELDE EN UITERSTE DROGESTOF- EN STIKSTOFOPBRENGSTEN EN GEMIDDELD STIKSTOFGEHALTE OPGEMETEN TUSSEN 4 EN 15 DECEMBER GEDURENDE 4 PROEFJAREN. DE BETROKKEN VANGGEWASSEN WAREN ROGGE, KOOLZAAD EN BLADRAMMENAS, INGEZAAID OP DRIE ZAAITIJDSIPPEN (S1, S2 EN S3) EN MET (N1) EN ZONDER (N0) TOEDIENING VAN KUNSTMEST (VOS & VAN DER PUTTEN, 1997).

N-bemesting	Zaaidatum	Drogestofopbrengst (kg DS ha ⁻¹)			Stikstofopbrengst (kg N ha ⁻¹)			Gem. N-conc. (%)
		gem.	min.	max.	gem.	min.	max.	
N0	S1	2580	520	4170	57,4	15,4	104,5	2,2
N0	S2	1310	150	2480	42,0	6,7	94,6	3,2
N0	S3	280	50	780	10,7	2,9	35,4	3,8
N1	S1	4000	2810	4940	141,3	113,7	183,2	3,5
N1	S2	2280	530	3500	89,6	28,9	133,6	3,9
N1	S3	380	120	900	15,8	5,7	44,5	4,2

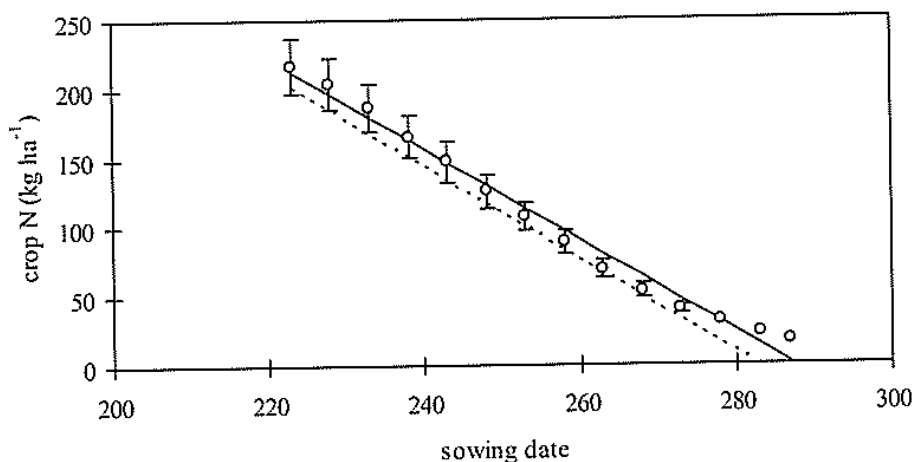
Om het effect van het zaaitijdstip op de groei en stikstofopname te verklaren werd door Vos & van der Putten (1997) onderzoek gevoerd naar morfologische parameters gerelateerd aan de fotosynthese. Zo bleek de bladoppervlakte-index LAI (*leaf area index*) zowel voor zaaitijdstip 1 als 2 snel toe te nemen; voor het 1^e zaaitijdstip bereikte de LAI maxima tussen 4 en 6 om in oktober en november sterk af te nemen door bladsenescentie. Voor het 2^e zaaitijdstip lag de maximale LAI tussen 2,5 en 4, maar bleef deze min of meer stabiel tot december. Voor het 3^e zaaitijdstip bleef de LAI zachtjes stijgen tot in december, waarbij waarden bereikt werden net boven de 1.

Naar analogie met Vos (1992) toonden Vos & van der Putten (1997) een lineair verband aan tussen de maximale bovengrondse stikstofopbrengst en de zaaidatum voor de bemeste vanggewassen uit hun onderzoek (1991-1996):

$$N_{opbrengst} = 960 - 3,4 * zaaidatum$$

met $N_{opbrengst}$ de bovengrondse stikstofopbrengst in kg N ha⁻¹ en de zaaidatum uitgedrukt als dag van het kalenderjaar.

Van Dam (2006) toonde via simulaties een vergelijkbare relatie aan tussen het zaaitijdstip en de gemiddelde N-opbrengst van snijrogge over 30 jaar (Figuur 26).



FIGUUR 26: GESIMULEERDE TOTALE N-OPBRENGST VOOR SNIJROGGE OP 19 NOVEMBER IN FUNCTIE VAN HET ZAAITIJDS TIP BIJ EEN NIET-LIMITERENDE N-BESCHIKBAARHEID. GEMIDDELDEN EN STANDAARDAFWIJKINGEN VOOR DE PERIODE 1970-1999 ZIJN WEERGEGEVEN. DE LINEAIRE REGRESSIERECHE (VOLLE LIJN) IS WEERGEGEVEN NAAST DE RELATIE VAN VOS & VAN DER PUTTEN (STIPPELLIJN) (1997).

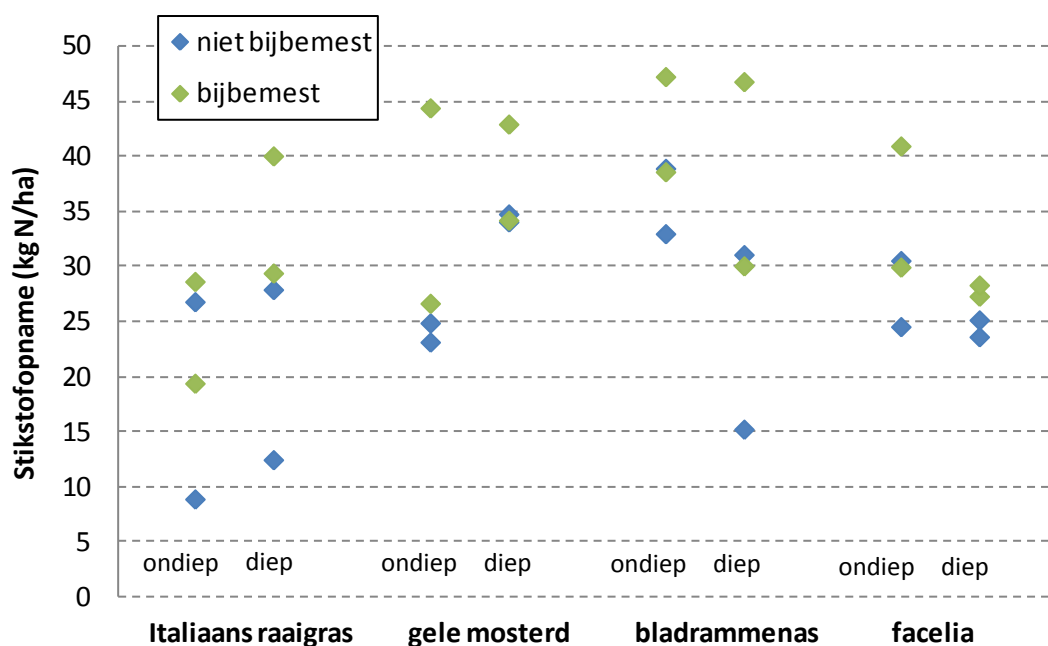
4.5 EFFECT VAN BEMESTING OP DE STIKSTOFOPNAME

De stikstofopname is uiteraard ook functie van de hoeveelheid stikstof die wordt aangeboden. Het bemesten van vanggewassen heeft vooral een primair effect op de wortelontwikkeling (zie deel 0) en daardoor eveneens op de gewasgroei en stikstofopname.

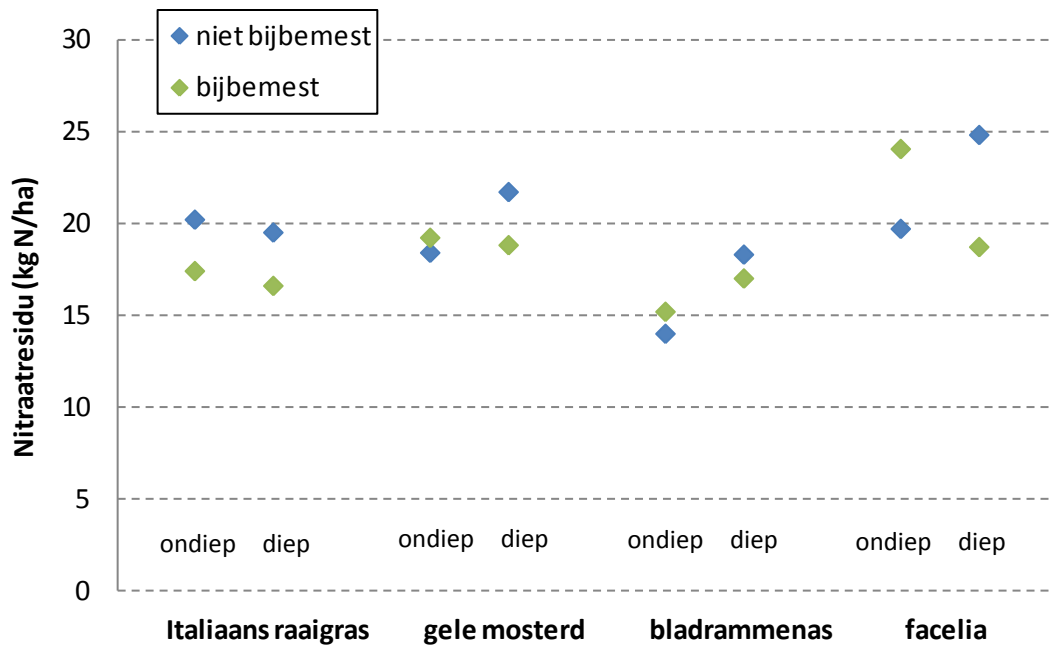
Voor de teelt van een vanggewas in een stikstofarme stoppel, zoals een graanstoppel of een stoppel van een graszaadoogst, kan een startgift bijzonder nuttig zijn. Hermans et al. (2010) toonden aan dat vanggewassen die een aanvullende bemesting genoten stelselmatig meer stikstof opnamen dan diegene die geen extra nutriënten toegediend kregen (Figuur 27).

In de context van de N-dynamiek is het bemesten van vanggewassen echter enkel efficiënt indien dit leidt tot een extra opname aan minerale stikstof die reeds aanwezig is in de bodem of vrijgesteld wordt uit oogstresten of uit de bodemorganische stof. De extra opname door het bemeste vanggewas moet dus groter zijn dan de toegediende hoeveelheid snel vrijkomende minerale stikstof. Het is dan ook aannemelijk dat de hoeveelheid toegediende mest een doorslaggevende factor zal zijn in het bepalen van de efficiëntie van de bemesting.

Hermans et al. (2010) volgden het N_{\min} -gehalte in de bodem op in het najaar (Figuur 28): er werden slechts kleine negatieve of positieve verschillen waargenomen tussen wel en niet bemeste vanggewassen. Er werd wel een beperkte invloed vastgesteld van de bodembewerking: de efficiëntie van de bemesting op gele mosterd, bladrammenas en facelia was iets groter bij een diepe dan bij een ondiepe bodembewerking, vermoedelijk door een betere wortelgroei.



FIGUUR 27: STIKSTOFOPNAME (KG N HA^{-1}) IN FUNCTIE VAN AANVULLENDE BEMESTING, GRONDBEWERKING EN GEWASTYPE (HERMANS ET AL., 2010).



FIGUUR 28: NITRAAT-N-RESIDU (KG N HA⁻¹) IN DE BODEM (0-90 CM) IN FUNCTIE VAN EEN AL DAN NIET AANVULLENDE BEMESTING, HET TYPE GRONDBEWERKING EN HET SOORT VANGGEWAS (HERMANS ET AL., 2010).

Ninane et al. (1995) stelden dat een stikstofbemesting noodzakelijk is om een goede ontwikkeling van niet-vlinderbloemige vanggewassen te verzekeren. Met proefveldresultaten toonden Ninane et al. (1995) aan dat vanggewassen met een stikstofbemesting meer bodemstikstof opnemen dan zonder stikstofbemesting (Tabel 26). De resultaten wijzen erop dat de efficiëntie van de bemesting sterk afhankelijk is van jaar tot jaar: een bemesting van 80 kg minerale N ha⁻¹ bleek enkel efficiënt voor mosterd en raaigras in 1992. Uit onderzoek naar de herkomst van de stikstof opgenomen door vanggewassen bleek dat bij bemesting wel steeds meer N werd opgenomen uit de bodem, maar dat de bemestingsdosis zelf niet altijd voldoende werd opgenomen om van een efficiënte bemesting te kunnen spreken (Tabel 27).

TABEL 26: BIOMASSAPRODUCTIE EN N-OPNAME VOOR VERSCHILLENDE VANGGEWASSEN VOOR VERSCHILLENDE ZAAITIJDSSTIPPEN EN BIJ VERSCHILLENDE N-BEMESTINGSNIVEAUS (NINANE ET AL., 1995).

Groenbemester	Zaaidatum	N-bemesting (kg N/ha)	Biomassaproductie (ton DS/ha)	N-opname (kg/ha)
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	125
Raaigras	6/08/1991	0	6	50
		80	6,8	108
Facelia	6/08/1991	0	3,5	49
		80	5,8	122
Gele 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
Wikke	29/07/1992	0	4,6	176
Mosterd	17/08/1993	0	3,2	50
		80	5,5	115
	30/08/1993	0	2,4	53
		80	2,9	72
		0	0,7	30
13/09/1993	80	1,3	51	

TABEL 27: HERKOMST VAN DE STIKSTOF OPGENOMEN DOOR DE VANGGEWASSEN (NAAR NINANE ET AL., 1995).

Vanggewas	Zaaidatum	Bemesting (kg N ha ⁻¹)	N-opname (kg N ha ⁻¹)	N opgenomen uit bodem (kg N ha ⁻¹)	N opgenomen via bemesting (kg N ha ⁻¹)
Gele mosterd	27/08/1992	0	73	73	0
		80	178	117	61
Facelia	29/07/1992	0	86	86	0
		80	155	107	48
Mosterd	17/08/1993	0	50	50	0
		80	115	76	39

In het in deel 4.4 aangehaalde experiment van Vos & van der Putten (1997) werd voor alle zaaitijdstippen een toename van de stikstofopbrengst vastgesteld bij een overvloedige bemesting (N1 t.o.v. N0, Tabel 25). Toch is deze bemesting in geen enkel geval efficiënt te noemen: voor de drie zaaitijdstippen (S1, S2 en S3, Tabel 25) werden respectievelijk 140, 119 en 93 kg N ha⁻¹ toegediend onder minerale vorm, terwijl dit slechts een extra N-opname opleverde van respectievelijk 84, 48 en 5 kg N ha⁻¹ ofwel 60, 40 en 5% van de toegediende hoeveelheid. Hoe vroeger het zaaitijdstip, hoe groter dus de efficiëntie, maar nergens wordt de toegediende hoeveelheid volledig opgenomen. Een dergelijke hoge bemestingsdosis is dus zeker niet interessant. Er dient wel opgemerkt te worden dat van de ondergrondse plantendelen enkel de eerste 10 cm bemonsterd werd, waardoor een deel van

de N-opbrengst niet in rekening gebracht werd. Bij vroege zaai ontwikkelt het wortelgestel zich immers tot op grotere diepte.

In Wallonië werd dan weer aangetoond dat het bemesten van vanggewassen wél efficiënt kan zijn. Destain et al. (2010) bundelden de resultaten van onderzoek uitgevoerd sinds 1990 aan het CRA-W (Centre Wallon de Recherches Agronomiques). Er werd een significante toename gevonden in de drogestofopbrengst van het vanggewas eind november bij het toedienen van 80 kg N ha⁻¹ minerale meststof (Tabel 28). Ninane et al. (1995) vonden bovendien dat in de biomassa van bemeste vanggewassen hogere N-gehalten teruggevonden werden (Tabel 29). Als de gemiddelde drogestofopbrengsten uit Tabel 28 hiermee worden vermenigvuldigd, ligt de N-opbrengst voor gele mosterd bij bemesting tot 100 kg ha⁻¹ hoger en compenseert daarmee ruimschoots de extra toegediende stikstof. Er wordt dus 20 kg N ha⁻¹ extra opgenomen uit de bodem indien gele mosterd met 80 kg N ha⁻¹ bemest wordt. Tabel 29 toont tevens aan dat de niet-bemeste gele mosterdplanten een veel hogere C:N-verhouding en hogere lignine- en cellulosegehalten hebben. Dit zal zeker een impact hebben op de afbraak van de gewasresten in de winter en op de mineralisatie na onderwerken in het voorjaar (zie deel 5).

TABEL 28: DROGESTOF- EN STIKSTOFOPBRENGST (BOVENGRONDS + ONDERGRONDS) VAN WIKKE, GELE MOSTERD, FACELIA, RAAIGRAS, ROGGE EN WINTERTARWE EN N_{MIN}-AFNAME IN DE BODEM (0-150 CM). RESULTATEN VAN BEMESTE BEHANDELINGEN (80 KG N_{MIN} HA⁻¹) ZIJN APART WEERGEGEVEN (80N). RESULTATEN VAN DE 2^E HELFT VAN NOVEMBER UIT VERSCHILLENDE VELDPROEVEN UITGEVOERD TUSSEN 1990 EN 2007 (DESTAIN ET AL., 2010).

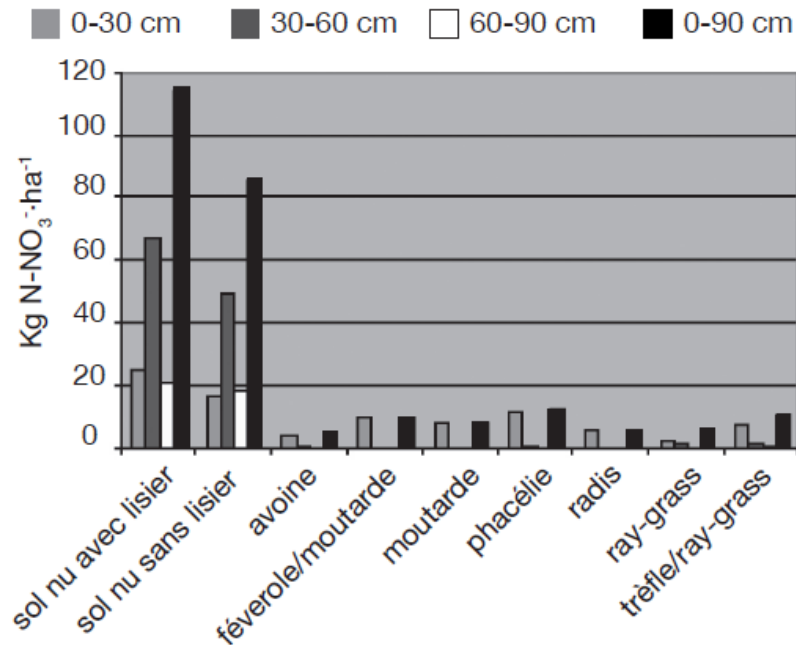
Behandeling	Opbrengst (t DS ha ⁻¹)	N-opbrengst (kg N ha ⁻¹)	Afname N _{min} -gehalte in profiel (kg N ha ⁻¹)
wikke	4,5 ± 0,4	125	60
gele mosterd	3,2 ± 0,4	50 - 170	88 - 114
gele mosterd 80N	6,9 ± 0,5	-	-
facelia	3,5 ± 0,5	50 - 150	78 - 106
facelia 80N	8,3 ± 0,5	-	-
raaigras	4,5 ± 0,4	70 - 170	56 - 73
raaigras 80N	8,8 ± 0,3	-	-
rogge	-	-	94
wintertarwe	-	-	35 - 40

TABEL 29: CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN GELE MOSTERD MET EN ZONDER BEMESTING. RESULTATEN VAN DE 2^E HELFT VAN NOVEMBER (NINANE ET AL., 1995).

Behandeling	N-gehalte (%/DS)	C:N-verhouding	Lignine (%/DS)	Cellulose (%/DS)
0 kg N ha ⁻¹	2,03	18,9	3,0	23,8
80 kg N ha ⁻¹	2,39	7,8	1,7	7,1

Een ander Waals experiment (De Toffoli, 2010) werd uitgevoerd in 2003 na de oogst van wintergerst. Op 21 augustus, bijna 6 weken na de oogst, werd per hectare 40 m³ mengmest uitgevoerd op de stoppel. Op dat moment was het N_{min}-gehalte van de bodem (0-90 cm) 48 kg NO₃-N ha⁻¹. De daaropvolgende dag werden haver, een mengsel van gele mosterd en tuinboon, gele mosterd, facelia, bladrammenas, raaigras en een grasklavermengsel ingezaaid. Figuur 29 geeft aan dat er duidelijk sprake is van opname door alle vanggewassen. Hoewel de efficiëntie van de bemesting hier niet bepaald kan worden (er is maar één bemestingstrap op de vanggewassen), ligt die wellicht hoog; zelfs in vergelijking met de niet-bemeste braakbehandeling (*sol nu sans lisier*) worden onder vanggewassen zeer beperkte hoeveelheden minerale bodemstikstof teruggevonden. De minerale N bevindt zich onder vanggewassen voornamelijk in de bovenste laag (0-30 cm) maar bij de braakbehandeling in de

middelste laag (30-60 cm), wellicht door neerwaartse migratie na mineralisatie uit de organische stof en - althans voor de bemeste braakbehandeling - uit de mest. De verschillen in het N_{\min} -gehalte tussen de braakbehandeling met en zonder toediening van mengmest zijn echter opvallend klein; dit kan toe te schrijven zijn aan een laag N-gehalte van de mest (niet gekend) maar ook aan immobilisatie door de stoppel (zie deel 8).



FIGUUR 29: MINERAAL N-GEHALTE IN BODEMS EIND NOVEMBER, MET EN ZONDER INZAAI VAN VANGGEWASSEN NA TOEDIENING VAN ORGANISCHE MEST OP DE STOPPEL VAN WINTERGERST (DE TOFFOLI ET AL., 2010).

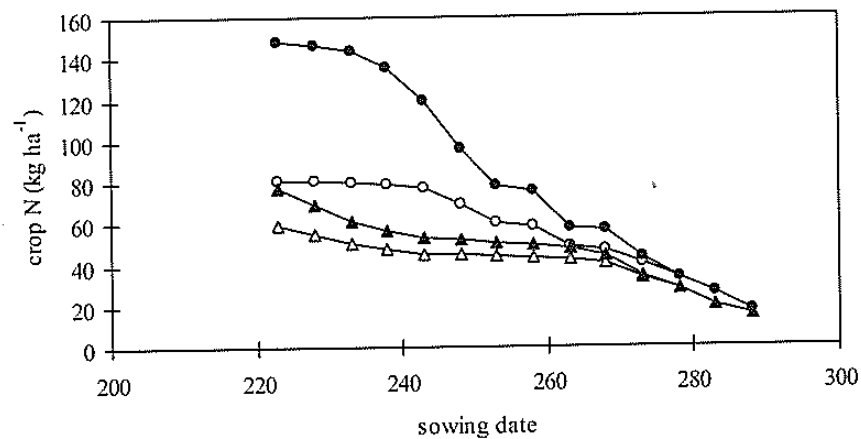
Andere proeven hebben aangetoond dat het uitvoeren van een bemesting op vanggewassen een nuloperatie kan zijn voor het N_{\min} -gehalte in de bodem. Vos & van der Putten (2001) zaaiden snijrogge (*Secale cereale*) en koolzaad (*Brassica napus ssp. oleifera*) in op 19 augustus en 9 september. Er werd ook een braakperceel voorzien. Telkens werden 2 bemestingstrappen toegepast: 20 kg N ha⁻¹ en 70 kg N ha⁻¹ onder minerale vorm. Na de winter (16 maart) werden geen significante verschillen gevonden tussen de concentraties aan N_{\min} in de bodem (0-90 cm) onder de verschillende behandelingen. De gemiddelde concentratie bedroeg 43 kg N ha⁻¹. Dit wijst erop dat de hoeveelheid stikstof die verloren ging uit de braakpercelen minstens zo groot was als de hoeveelheid opgenomen door de vanggewassen. De maximale hoeveelheid N die teruggevonden werd in de vanggewassen tussen november en maart, varieerde van 40 tot 138 kg N ha⁻¹. Dit omvat de volledige bovengrondse delen en de ondergrondse delen tot 10 cm diep. Met deze cijfers kan bepaald worden dat de netto-opname van N uit de bodemorganische stof en oogstresten voor alle behandelingen kleiner is bij een bemesting van 70 kg N ha⁻¹ dan bij een bemesting van 20 kg N ha⁻¹ (Tabel 30). Een lagere bemesting is hier dus efficiënter. Opnieuw komt hier de invloed van het zaaitijdstip duidelijk naar voren.

TABEL 30: N-OPBRENGST EN NETTO-OPNAME VAN N UIT DE BODEM VOOR ROGGE EN KOOLZAAD, INGEZAAID OP TWEE ZAAITIJDSSTIPPEN EN BEMEST MET TWEE VERSCHILLENDE BEMESTINGSDOSISSEN (VOS & VAN DER PUTTEN, 2001).

Vanggewas	Zaaitijdstip	N-bemesting (kg N ha ⁻¹)	N-opbrengst (kg N ha ⁻¹)	Netto-opname van N uit de bodem (kg N ha ⁻¹)
rogge	19 augustus	20	81	61
rogge	19 augustus	70	123	53
rogge	9 september	20	60	40
rogge	9 september	70	85	15
koolzaad	19 augustus	20	95	75

Vanggewas	Zaaitijdstip	N-bemesting (kg N ha ⁻¹)	N-opbrengst (kg N ha ⁻¹)	Netto-opname van N uit de bodem (kg N ha ⁻¹)
koolzaad	19 augustus	70	138	68
koolzaad	9 september	20	42	22
koolzaad	9 september	70	52	-18

Ook van Dam (2006) toonde a.d.h.v. simulaties aan dat het effect van de bemesting sterk afhangt van het zaaitijdstip en de weersomstandigheden. De gesimuleerde opname bij een initieel N_{\min} -gehalte van 150 kg N ha⁻¹ was enkel voldoende groot om uitspoeling te voorkomen bij vroege zaai in het jaar 1991 (Figuur 30). Bij latere zaai of bij natte weersomstandigheden (jaar 1992) daalde de opname aanzienlijk. Bij een initieel N_{\min} -gehalte van 50 kg N ha⁻¹ was de invloed van zaaitijdstip en weersomstandigheden minder groot.



FIGUUR 30: GESIMULEERDE TOTALE N-OPNAME OP 19 NOVEMBER NA INZAAI OP VERSCHILLENDE INZAAIDATA IN 1991 (BOLLETJES) EN 1992 (DRIEHOEKJES), BIJ EEN INITIEEL N_{\min} -GEHALTE VAN 50 (OPEN SYMBOLEN) OF 150 (GESLOTEN SYMBOLEN) KG N HA⁻¹ (VAN DAM, 2006).

Op basis van verschillende onderzoeken werden dus erg verschillende resultaten bekomen. Zowel de niet-efficiënte als efficiënte benutting van een N-bemesting door vanggewassen werd aangetoond. De efficiëntie van kleinere dosissen lijkt groter dan voor grotere dosissen. Het is eveneens duidelijk dat een combinatie van factoren (met name het zaaitijdstip en de weersomstandigheden) mee bepaalt of een bemesting van het vanggewas al dan niet efficiënt kan zijn.

5 MINERALISATIE VAN VANGGEWASSEN NA INWERKEN IN DE BODEM

5.1 AFBRAAK VAN VANGGEWASSEN

Na het afvriezen en/of onderwerken van de vanggewassen komt de afbraak op gang. Bij de afbraak of de mineralisatie van dit organisch materiaal worden de in het najaar vastgelegde minerale elementen, waaronder stikstof, terug vrijgesteld. Het deel van het organisch materiaal dat niet onmiddellijk afgebroken wordt, draagt bij tot de opbouw van de bodemorganische stof.

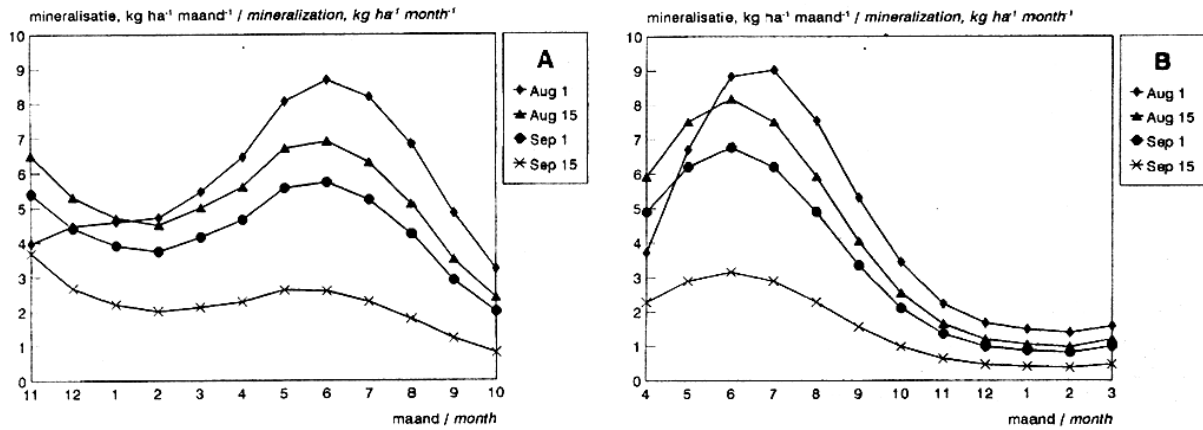
5.2 STIKSTOFMINERALISATIE

Bij de stikstofvrijstelling zijn zowel de hoeveelheid stikstof die wordt vrijgesteld als het tijdstip van vrijstelling van belang. Beide variëren in functie van:

- het tijdstip van onderwerken en/of afvriezen van het vanggewas
- de temperatuur en het vochtgehalte van de bodem
- het type en de samenstelling van het vanggewas

Het tijdstip van onderwerken, eventueel nadat het vanggewas door negatieve temperaturen is afgevroren, is afhankelijk van de volgteelt en de grondsoort. Op zwaardere gronden wordt een vanggewas doorgaans reeds in het najaar ondergeploegd omwille van structuurvoordelen. Op de lichtere gronden wordt pas in het voorjaar geploegd en blijven de vanggewassen gedurende de hele winter op het veld staan. Sommige landbouwers kiezen ervoor de bovengrondse biomassa te oogsten kort voor of na de winter en gebruiken deze als veevoeder, andere werken het vanggewas volledig in. Het moment van inwerken van het vanggewas is cruciaal voor de situatie in het voorjaar. Idealiter wordt door mineralisatie van het ingewerkte vanggewas een hoeveelheid N_{\min} vrijgesteld die in grote mate wordt opgenomen door het ontwikkelende volggewas. Indien het vanggewas te vroeg wordt ingewerkt, kan door mineralisatie een te grote hoeveelheid stikstof vrijgesteld worden, waardoor het risico op uitspoeling ontstaat. Indien het vanggewas te laat wordt ingewerkt, wordt de stikstof uit het vanggewas niet tijdig vrijgesteld om door het volggewas te worden opgenomen. Bovendien kan zelfs competitie ontstaan rond de opname van water en nutriënten, hetgeen zeker het geval is bij doorzaai van de volgteelt in het vanggewas. Weliswaar spelen de weersomstandigheden een doorslaggevende rol bij het bepalen van het ideale tijdstip van inwerken. Indien het voorjaar warm en vochtig is, zal de mineralisatie intens zijn en het gevaar op uitspoeling bovendien groot. In zulke omstandigheden wordt het vanggewas dus beter wat later ingewerkt. In een koud en droog voorjaar is het omgekeerde het geval.

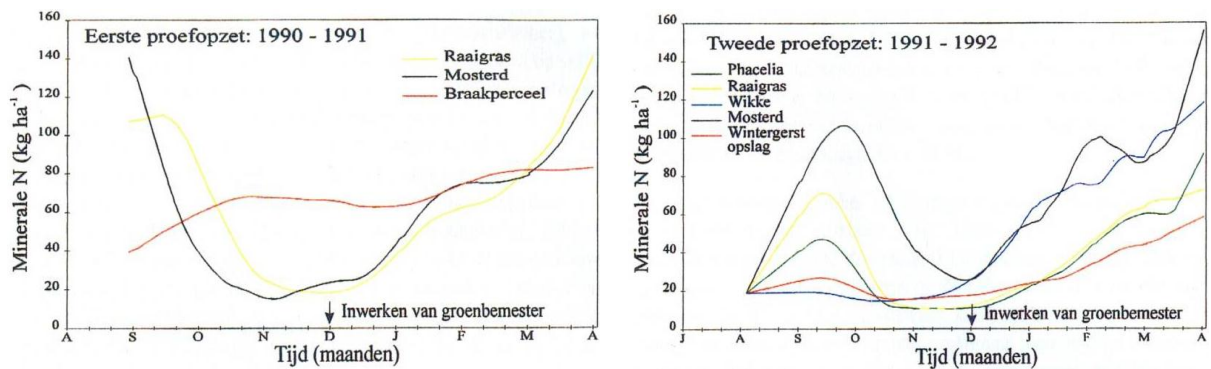
Velthof et al. (1998) simuleerden met het model MINIP de maandelijkse stikstofmineralisatie in functie van het tijdstip van onderwerken van raaigras (Figuur 31). Deze figuur duidt op het verschil in tijdstip van stikstofvrijstelling in functie van de weersomstandigheden, namelijk de temperatuur en het vochtgehalte van de bodem. Bij het onderwerken in het najaar wordt uiteraard vroeger N vrijgesteld. Echter tijdens de koude wintermaanden (december-maart) neemt de mineralisatie van het vanggewas af. Onder de steeds gunstiger wordende omstandigheden tijdens het voorjaar neemt de mineralisatie toe. In de periode mei-juli wordt het meeste stikstof gemineraliseerd. De mineralisatie van het raaigras ondergewerkt in het voorjaar komt veel vlugger op gang en bereikt de piek in vrijgave veel sneller na het onderwerken maar op hetzelfde moment als het raaigras ondergewerkt in het najaar.

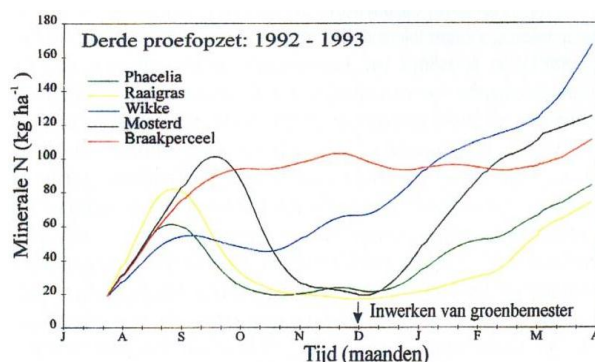


FIGUUR 31: STIKSTOFMINERALISATIE PER MAAND NA ONDERWERKEN VAN RAAIGRAS OP 31 OKTOBER (A) EN 31 MAART (B). HET RAAIGRAS WERD GEZAAD OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN: 1 AUGUSTUS, 15 AUGUSTUS, 1 SEPTEMBER EN 15 SEPTEMBER. (VELTHOF ET AL., 1998).

Het tijdstip van de N-vrijstelling uit ingewerkte vanggewassen bepaalt mee de N-balans. In een proefopzet van Nett et al. (2011) had Soedangras (*Sorghum sudanense Stapf*) van 4 verschillende vanggewassen de grootste bovengrondse N-opbrengst, maar toch bleek dit geen significant effect te hebben op de N-balans. Het Soedangras werd echter, in tegenstelling tot de andere vanggewassen, niet in het voorjaar maar in het najaar ingewerkt. Een deel van de stikstof in het Soedangras werd dus gemineraliseerd in de winter en spoelde uit vooraleer het volggewas het kon opnemen. Langdurige immobilisatie was niet aannemelijk gezien de betrekkelijk lage C:N-verhouding (19 tot 26). Verscheidene studies hebben aangetoond dat de mineralisatie uit ondergewerkte plantenresten kan blijven doorgaan bij lage temperaturen, zelfs tot onder het vriespunt door de relatief hoge zoutconcentraties in het bodemvocht. Van Schöll et al. (1997) vonden in een incubatieproef met roggescheuten dat na 10 weken bij 1°C 20% van de organische stikstof was gemineraliseerd en bij 15°C 39%.

Eenmaal het vanggewas ingewerkt is, is het tijdstip waarop de minerale stikstof ter beschikking komt zeker niet alleen afhankelijk van de weersomstandigheden, maar ook van de samenstelling van het vanggewas zelf. Dit toonden Ninane et al. (1995) aan door de evolutie van de minerale stikstof in een leembodem onder diverse vanggewassen op te volgen. Tijdens de drie proefjaren nam het minerale stikstofgehalte in de bodem na het onderwerken van de gele mosterd onmiddellijk toe. Bij raaigras en facelia kwam deze toename langzamer op gang. In het eerste proefjaar (1990-1991) steeg ook na het onderwerken van raaigras het minerale stikstofgehalte van de bodem snel (Figuur 32).





FIGUUR 32: EVOLUTIE VAN DE MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM (NINANE ET AL., 1995).

Vanggewassen met een lage C:N-verhouding zoals mosterd en wikke toonden een snellere stikstofvrijgave dan het raaigras en de facelia welke een hogere C:N-verhouding vertoonden (Figuur 32 en Tabel 31). De C:N-verhouding is echter niet alleen soortafhankelijk, maar kan ook beïnvloed worden door het zaaitijdstip, de groeiomstandigheden en de blootstelling aan vorst (Justes et al., 2009).

TABEL 31: CHEMISCHE KARAKTERISTIEKEN EN MINERALISATIEGRAAD VAN VANGGEWASSEN BIJ DE OOGST VAN DE VOLGTEELT SUIKERBIETEN (NAAR GEYPENS & HONNAY, 1995).

Vanggewas	Teeltjaar	Stikstof (% D.S.)	C/N	Lignine (% D.S.)	Cellulose (% D.S.)	Mineralisatiegraad* (% van de ingewerkte N-biomassa)
Mosterd	91	2,24	13,1	3,4	15,8	56
Raaigras	91	1,70	23,0	2,3	17,2	24
Facelia	91	1,44	23,2	5,4	19,5	28
Mosterd	92	2,82	13,3	-	-	57
Raaigras	92	1,76	25,0	2,6	21,3	22
Facelia	92	1,85	21,0	6,3	26,5	18
Mosterd 1**	93	2,03	18,9	3,0	23,8	45
Mosterd 3***	93	2,39	7,8	1,7	7,1	57

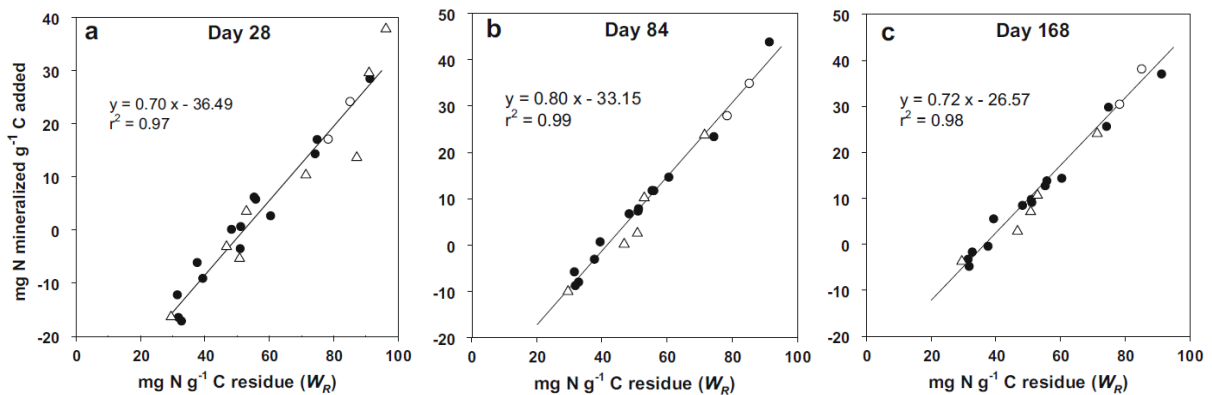
*Mineralisatiegraad = percentage van de ingewerkte organische stikstof uit vanggewassen die reeds gemineraliseerd is bij de oogst van de suikerbieten als volgteelt

**Mosterd 1 werd gezaaid op 17/08/93

***Mosterd 3 werd gezaaid op 13/09/93

De afbreekbaarheid van het plantenmateriaal bepaalt dus in grote mate de mineralisatiesnelheid. De beter afbreekbare componenten worden eerst afgebroken, waardoor de mineralisatiesnelheid hoog ligt; daarna daalt deze naarmate de afbreekbaarheid van het resterend materiaal afneemt. Vigil en Kissel (1991) vonden dat 75% van de variabiliteit in de hoeveelheid N gemineraliseerd uit 8 verschillende materialen verklaard kon worden door de C:N-verhouding alleen. De C:N-verhouding en het ligninegehalte samen verklaarden 80% van de variabiliteit. Thorup-Kristensen (1994) vond een significante correlatie tussen de gemineraliseerde hoeveelheid N en de hoeveelheid NO₃-N, organische N en C in het plantenmateriaal, maar niet voor het ligninegehalte en het gehalte aan polyfenolen. Bladrijke vanggewassen zullen dus sneller verteren. Wanneer deze reeds in het najaar worden ondergewerkt of vroegtijdig afvriezen, zal de stikstof vroeg vrij komen en mogelijk deels verloren gaan door uitspoeling of denitrificatie en minder kunnen benut worden door de volgteelt. Teelten die langzamer verteren omwille van een hoger droge stofgehalte en wat meer verhout zijn (hogere C:N-verhouding) kunnen mogelijk meer stikstof leveren aan het volggewas. Een gedeelte van de stikstof uit vanggewassen kan echter ook zo laat vrijkomen dat het negatieve effecten heeft op de kwaliteit van het volggewas (bijvoorbeeld suikerbieten) of dat het niet meer kan opgenomen worden door het volggewas.

In Frans onderzoek (Justes et al., 2009) werd vastgesteld dat de variabiliteit in stikstofmineralisatie tussen verschillende vanggewassen veel groter is dan de variabiliteit in koolstofmineralisatie. Er werden sterke correlaties gevonden met het totale stikstof- en totale organische stikstofgehalte en - opnieuw - met de C:N- en organische C:N-verhouding van het vanggewas (Figuur 33).



FIGUUR 33: HOEVEELHEID GEMINERALISEERDE STIKSTOF (N) PER TOEGEVOEGDE HOEVEELHEID KOOLSTOF (C) VERSUS DE ORGANISCHE N:C-VERHOUDING; RESULTATEN UIT EEN INCUBATIEPROEF: STAALNEMINGEN 28 (A), 84 (B) EN 168 DAGEN (C) NA OPSTART (JUSTES ET AL., 2009).

De hoeveelheid stikstof die wordt vrijgesteld is in hoofdzaak functie van het type gewas en de ontwikkeling van het gewas. Het effect van type vanggewas en tijdstip van inwerken werd opgenomen in de vuistregel voor stikstofnawerking van vanggewassen vermeld door van Leeuwen-Haagsma en Schröder (2002). Nett et al. (2011) onderzochten de mineralisatie van de bovengrondse en ondergrondse delen van snijrogge, dat tot de grasachtige vanggewassen behoort. In hun labo-incubatieproef bij 15°C was respectievelijk 39% en 35% van de N gemineraliseerd na 10 weken, in een vergelijkbare incubatieproef uitgevoerd in het veld werd respectievelijk 36% en 29% omgezet tot minerale N.

TABEL 32: VUISTREGEL VOOR N-AWERKING VAN VANGGEWASSEN (VAN LEEUWEN-HAAGSMA EN SCHRÖDER, 2002).

Type vanggewas	% werkzame N bij inwerken	
	voor de winter	na de winter
Kruisbloemigen	25	50
Grassen	40	50
Vlinderbloemigen	25	50

Ninane et al. (1995) vermeldden een hogere minerale stikstofvoorraad van 50 tot 70 kg N ha⁻¹ op de perceeltjes waar voorafgaand vanggewassen werden ingewerkt. Ze stelden echter wel dat de vanggewassen slechts een gedeelte van deze stikstof leverden. Gele mosterd leverde algemeen meer stikstof (25 tot 30 kg N ha⁻¹) dan raaigras (10 kg N ha⁻¹) en facelia (minder dan 10 kg N ha⁻¹). De overige stikstof, niet afkomstig van de vanggewassen, werd geacht voort te komen uit de mineralisatie van de bodemorganische stof, die wellicht gunstig beïnvloed werd door het inwerken van de vanggewassen.

Met behulp van het N-mineralisatiemodel MINIP werden door Velthof et al. (1998) de effecten van het onderwerken van vanggewassen op de N-levering berekend (Tabel 33). Voor een goede benutting van de stikstof uit het vanggewas is het aan te bevelen het vanggewas niet langer dan 4 tot 6 weken voor het planten of inzaaien in te werken. Zo houdt het vanggewas het beste de stikstof in het systeem. Als het vanggewas vroeg in de winter is afgevroren en pas in het voorjaar ingewerkt, is de N-levering gelijk aan deze van een vanggewas dat ondergewerkt werd in de herfst. In beide gevallen gaat een deel van

de stikstof verloren door uitspoeling en denitrificatie in de winter. De stikstof die tijdens het groeiseizoen mineraliseert, kan wel direct opgenomen worden door het volggewas.

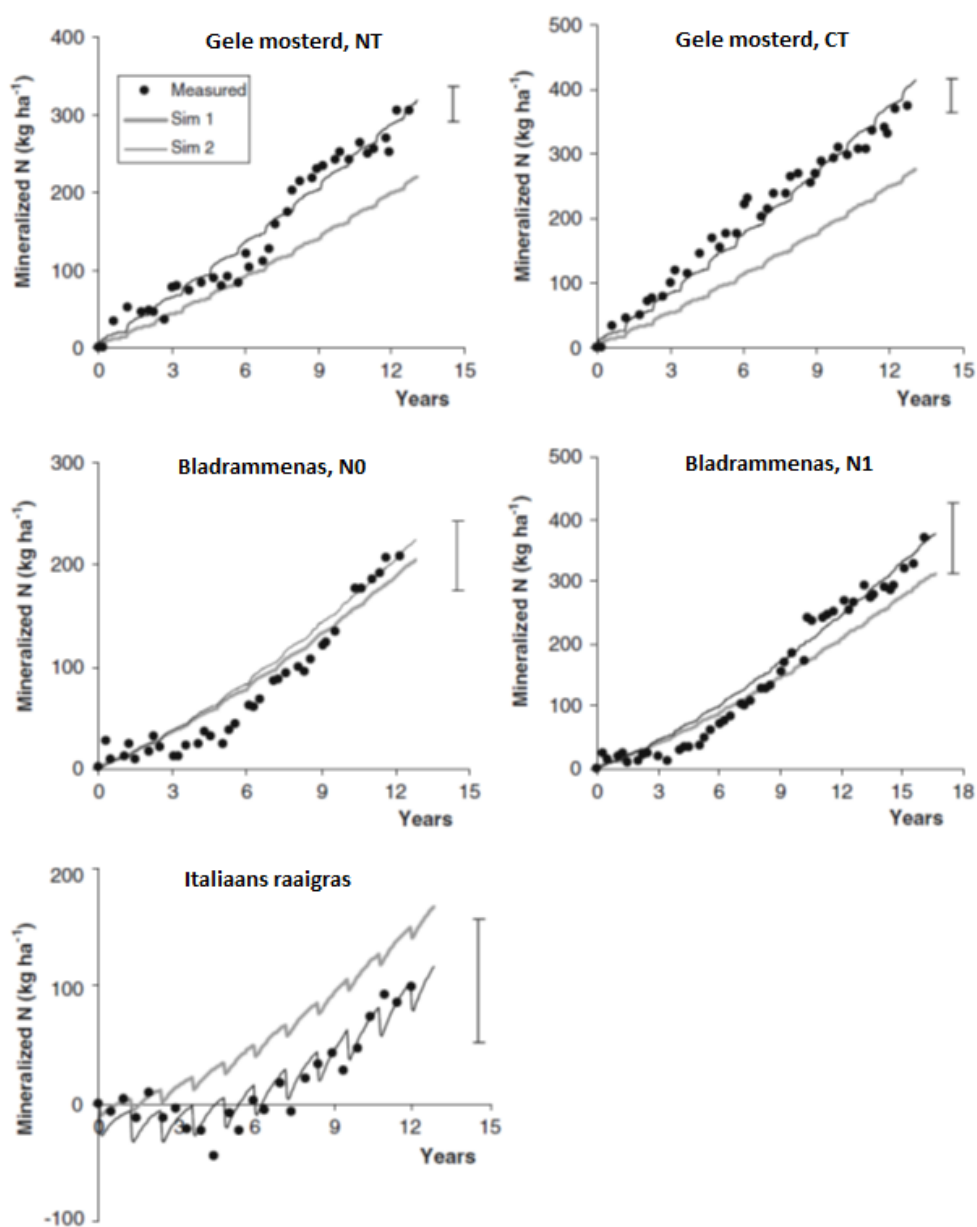
TABEL 33: STIKSTOFLEVERING VAN VANGGEWASSEN IN RELATIE TOT DE LENGTE VAN HET GROEISEIZOEN EN DE GEWASONTWIKKELING (NAAR: VELTHOF ET AL., 1998).

Gewas	Ontwikkeling	Onderwerk- tijdstip	N-levering (kg N ha ⁻¹)		
			maart-juni	maart-juli	maart-augustus
Raaigras	goed	najaar*	17	24	31
	matig	najaar	9	12	16
	goed	voorjaar**	21	33	42
	matig	voorjaar	10	16	21
Snijrogge	goed	najaar	15	21	26
	matig	najaar	8	11	13
	goed	voorjaar	24	33	42
	matig	voorjaar	12	16	21
Gele mosterd	goed	najaar	18	25	30
	matig	najaar	9	13	15
	goed	voorjaar	22	31	41
	matig	voorjaar	11	15	20

*najaar= eind oktober

** voorjaar= eind maart

Constantin et al. (2011) stelden vast dat bij jaarlijkse toepassing van gele mosterd en bladrammenas en tweejaarlijkse toepassing van Italiaans raaigras, op 3 verschillende Franse proefvelden over een periode van 13 tot 17 jaar, de gemiddelde jaarlijkse N-mineralisatie verhoogde met respectievelijk 26, 18 en 9 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ (Figuur 34). Deze resultaten kwamen overeen met wat gevonden werd in een 25-jarig experiment in Denemarken (Berntsen et al., 2006) en zijn omgekeerd evenredig met de C:N-verhouding van de vanggewassen. De vanggewassen werden telkens ingezaaid eind augustus tot begin september; gele mosterd en bladrammenas werden doodgespoten en ondergewerkt in november, Italiaans raaigras in februari. Het verloop van de toename in mineralisatie over de hele periode was wel verschillend voor de verschillende vanggewassen. Voor gele mosterd (C:N = 12,8) was de extra mineralisatie van bij de start jaarlijks ongeveer constant en trad die voornamelijk op in de herfst en in de winter. Voor bladrammenas (C:N = 17,0) en Italiaans raaigras (C:N = 28,3) werden in de eerste jaren respectievelijk geen en een licht negatief effect op de mineralisatie waargenomen; jaarlijks werd echter een gestage stijging van de mineralisatie waargenomen met 3,4 en 2,1 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ respectievelijk. Dit wordt toegeschreven aan een opeenvolgend patroon van immobilisatie- en (her)mineralisatie. Hoewel de extra gemineraliseerde stikstof niet steeds resulteerde in een significant ($p < 0,05$) grotere N-opname door de hoofdteelt, werd wél een significant positieve correlatie gevonden tussen de extra N-mineralisatie en de extra N-opname; 54% van de extra gemineraliseerde stikstof zou opgenomen worden door de volgende hoofdteelt. Op het einde van het experiment bedroeg de som van de extra gemineraliseerde stikstof 72, 60 en 23% van de gewasresten van respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Dit geeft aan dat het stopzetten na langdurige toepassing van vanggewassen met hogere C:N-verhouding aanleiding kan geven tot grotere risico's op uitspoeling.



FIGUUR 34: WAARGENOMEN EN GESIMULEERD VERLOOP VAN DE EXTRA N-MINERALISATIE DOOR TOEDOEN VAN VANGGEWASSEN, CUMULATIEF WEERGEGEVEN OVER DE TIJD. SIMULATIES MET ZOWEL GEMETEN ALS GEOPTIMALISEERDE PARAMETERWAARDEN ZIJN WEERGEGEVEN. DE VERSCHILLENDE VANGGEWASSEN, BODEMBEWERKINGEN EN BEMESTINGEN (NT = GEREDUCEERDE BODEMBEWERKING, CT = CONVENTIONELE BODEMBEWERKING, N0 = GEREDUCEERDE BEMESTING, N1 = CONVENTIONELE BEMESTING) ZIJN AANGEDUID IN DE FIGUUR. HET BETROUWBAARHEIDS-INTERVAL ($P < 0,05$) IS TELKENS RECHTS VAN DE FIGUUR WEERGEGEVEN (CONSTANTIN ET AL., 2011).

5.3 OPBOUW VAN ORGANISCHE KOOLSTOF

Vanggewassen leveren niet enkel stikstof maar produceren ook biomassa of organische stof. De hoeveelheid organische stof die door een vanggewas wordt aangebracht, is afhankelijk van zijn drogestofopbrengst. Deze opbrengst varieert in functie van het type groenbemester, de zaaidatum, de weersomstandigheden en de beschikbare voedingsstoffen. Niet alle aangeleverde organische stof is echter stabiel; afhankelijk van de samenstelling van de organische stof wordt de aanwezige koolstof trager of sneller omgezet tot CO_2 . De effectieve organische stof wordt gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die na één jaar nog niet afgebroken is; de humificatiecoëfficiënt drukt het percentage effectieve organische stof uit t.o.v. de totale hoeveelheid organisch materiaal (= drogestofopbrengst) aangeleverd door het vanggewas. De gemiddelde drogestofopbrengst en de aangeleverde effectieve

organische stof van de in Vlaanderen meest voorkomende vanggewassen wordt weergegeven in Tabel 34.

TABEL 34: GEMIDDELDE DROGE STOFOPBRENGST VAN EEN NORMAAL ONTWIKKELD VANGGEWAS UITGEZAAID IN HET NAJAAR EN DE HIERMEE AANGEVOERDE EFFECTIEVE ORGANISCHE STOF (TIREZ, 2007; BONTHUIS ET AL., 2007).

	Droge stofopbrengst (kg ha ⁻¹)			Ondergronds/ bovengronds	Effectieve organische stof (kg ha ⁻¹)
	bovengronds	ondergronds	totaal		
Gele mosterd	3100	800	3900	0,26	750 - 850
Bladrammenas	3100	800	3900	0,26	750 - 850
Bladkool	3000	1000	4000	0,33	750 - 850
Facelia	2300	700	3000	0,30	700 - 800
Engels raaigras	2200	2.000	4200	0,91	900 - 1100
Italiaans raaigras	2500	2.000	4500	0,80	900 - 1100
Westerwolds raaigras	2400	1700	4100	0,71	900 - 1100
Snijrogge	2800	600	3400	0,21	600 - 700
Wikke	2500	500	3000	0,20	600 - 700
Klaver	2500	1100	3600	0,44	850 - 1150
Lupinen	2500	600	3100	0,24	-

Vanggewassen worden internationaal beschouwd als een van de beste beheerstechnieken voor het verhogen van de organische koolstofvoorraad in de bodem (Lal, 2004); ze kunnen tenminste gedeeltelijk een compensatie vormen voor de hoeveelheid koolstof die verloren gaat bij de afvoer van de oogstresten van het hoofdgewas (Blanco-Canqui & Lal, 2009). Ook voor het stro van zomergerst werd dit aangetoond (Mutegi et al., 2011). Vanggewassen met een grote wortelbiomassa zijn extra voordelig ter bevordering van de C-sequestratie aangezien studies aantonen dat de koolstofverbindingen uit wortels minder snel omgezet worden tot CO₂ (Rasse et al., 2005). Dit kan niet altijd toegeschreven worden aan de C:N-verhouding aangezien voor bladrammenas bij inwerken een C:N-verhouding van 13,9 gevonden werd voor zowel de boven- als ondergrondse biomassa (Mutegi et al., 2011). Er is ook waargenomen dat de worteldiameters van bladrammenas toenemen bij verhoogde bodemdichtheden (Chen & Weil, 2010), om meer axiale druk te kunnen uitoefenen (Misra, 1997). Dit effect compenseert echter niet voor het verlies in wortellengte: Mutegi et al. (2011) vonden dat de wortellengtedichtheid en de ondergrondse drogestofopbrengst van bladrammenas beduidend kleiner waren onder directe inzaai (met een significant hogere bodemdichtheid) dan onder een conventionele bodembewerking. Zij toonden aan de hand van gelabelde ¹⁴C-opvolging ook aan dat door rhizodepositie nog tijdens het groeiseizoen een translocatie optreedt van koolstof vanuit de grote wortels naar de bodemorganische stof. Dit houdt in dat vanggewassen ook tijdens hun groei al bijdragen aan de opbouw van bodemorganische stof.

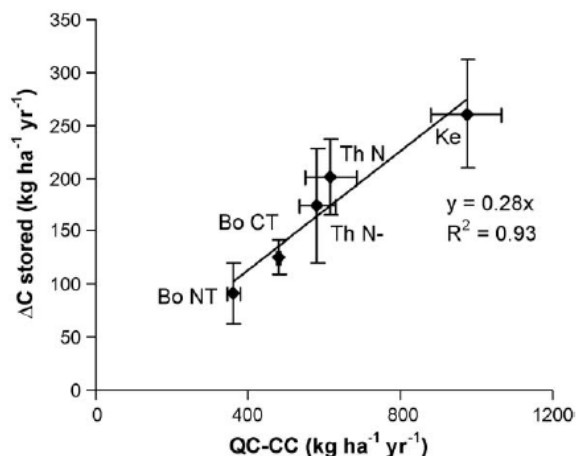
Ninane et al. (1995) wezen op de eigenschappen van de organische stof in de bodem 11 maanden na het inwerken van vanggewassen. Ze stelden vast dat vanggewassen organisch materiaal met een snellere omzetting dan die van de bodemorganische stof leverden, hetgeen eerder bijdraagt tot onderhoud van de vruchtbaarheidstoestand dan tot een toename van het humusgehalte. In het onderzoek kwamen ook verschillen tussen de verschillende vanggewassen naar voor. Zij stelden vast dat raaigras en in mindere mate facelia veel biomassa produceerden, trager mineraliseerden en het niveau van het organische stofgehalte van de bodem beter onderhielden dan wikke en gele mosterd, hetgeen grotendeels strookt met de gegevens in Tabel 34.

Grassen dragen het best bij aan de organische stofvoorziening van de bodem. De uitgesproken wortelontwikkeling van dit type vanggewassen en het feit dat wortelresten bijna dubbel zoveel

bijbrengen aan effectieve organische stof als de bovengrondse plantendelen, zorgt ervoor dat de grasachtige vanggewassen uitermate geschikt zijn voor het op peil houden van het organische stofgehalte van de bodem.

Bij inwerken van het vanggewas in het voorjaar kan het toch aangewezen zijn te kijken naar de C-opbrengst in het najaar om het effect op de opbouw van bodemorganische stof in te schatten. Bij niet-winterharde vanggewassen sterft de biomassa volledig af tijdens de winter, maar ook voor niet-winterharde vanggewassen kan een groot deel verloren gaan. Korsæth et al. (2002) stelden vast dat de hoeveelheid koolstof in de bovengrondse biomassa van witte klaver tijdens de winter afnam van $1020 \text{ kg C ha}^{-1}$ tot 650 kg C ha^{-1} . Het is echter mogelijk dat dit verlies niet volledig in de bodem terecht komt aangezien een belangrijk deel van het biomassaverlies als organisch strooisel bovenop de bodem blijft liggen en reeds daar gedeeltelijk afgebroken wordt (Mørkved et al., 2006).

Constantin et al. (2010) konden een significante positieve lineaire relatie aantonen tussen de toename van het C-gehalte in de bodem en de C-aanvoer van de vanggewassen (zie Figuur 35). De schijnbare humificatiecoëfficiënt was 28%. Dit is erg hoog, gezien de humificatiecoëfficiënt van stro afkomstig van graangewassen slechts tussen de 11 en 14% ligt (Thomsen & Christensen, 2004; Saffih-Hdadi & Mary, 2008). Desalniettemin komt dit cijfer overeen met resultaten van incubatieproeven in het laboratorium (Justes et al., 2009) en met de door Zanatta et al. (2007) gevonden coëfficiënt van 26% voor een mengsel van de oogstresten van maïs en vanggewassen. De coëfficiënt van Zanatta is een gemiddelde berekend over 18 jaar en voor een subtropisch klimaat: jaarlijks nam het organisch koolstofgehalte van de bodem toe met 26% van de toegevoegde koolstof.



FIGUUR 35: RELATIE TUSSEN DE JAARLIJKSE TOENAME VAN KOOLSTOF IN DE BODEM (ΔC) EN DE KOOLSTOFOPBRENGST VAN HET VANGGEWAS (QC-CC). ΔC WERD BEREKEND OP BASIS VAN DE C:N-VERHOUDING EN DE JAARLIJKSE TOENAME AAN ORGANISCHE STIKSTOF IN DE BODEM (CONSTANTIN ET AL., 2010).

Justes et al. (2009) zetten een incubatieproef op met de vanggewassen gele mosterd en Italiaans raaigras uit veldproeven met verschillend zaaitijdstip, irrigatie- en bemestingsniveau. Zo werden 25 verschillende stalen bekomen, waarvan de organische C:N-verhouding varieerde tussen 9,5 en 34. De bovengrondse delen van de vanggewassen werden gedroogd bij 80°C en vervolgens vermalen tot deeltjes van 1 mm. Dit materiaal werd ondergewerkt in de Ap-horizont van een kalkrijke bodem (*carbonitic Lithic Rendoll*), gezeefd op een zeef van 4 mm en vers bewaard bij 4°C . Er werd telkens 8 g plantaardig materiaal ondergewerkt per kg droge bodem.

De incubatie werd uitgevoerd bij $15,6^\circ\text{C}$ gedurende 168 dagen. De totale hoeveelheid gemineraliseerde koolstof na 168 dagen vertegenwoordigde 59 tot 68% van de koolstof in de toegediende vanggewassen. Na 7 dagen was reeds 19 tot 29% van de toegediende koolstof

gemineraliseerd; het percentage hing af van de biochemische samenstelling van het plantenmateriaal. Er was een positieve correlatie met het gehalte aan wateroplosbare koolstof en een negatieve met het lignine- en het cellulosegehalte. Voor de gemineraliseerde koolstof na 168 dagen werden dergelijke relaties niet gevonden. De samenstelling van het plantaardig materiaal beïnvloedt dus enkel de C-mineralisatie op korte termijn.

6 UITSPOELING EN UITLOGING

6.1 UITSPOELING UIT DE BODEM

Uitspoeling is het proces waarbij N_{\min} - bijna uitsluitend onder de vorm van nitraten - door neerslagoverschotten migreert naar diepere bodemlagen en daardoor onbereikbaar wordt voor de plantenwortels. De nitraten komen in het grondwater terecht en kunnen uiteindelijk via transport het oppervlaktewater verontreinigen.

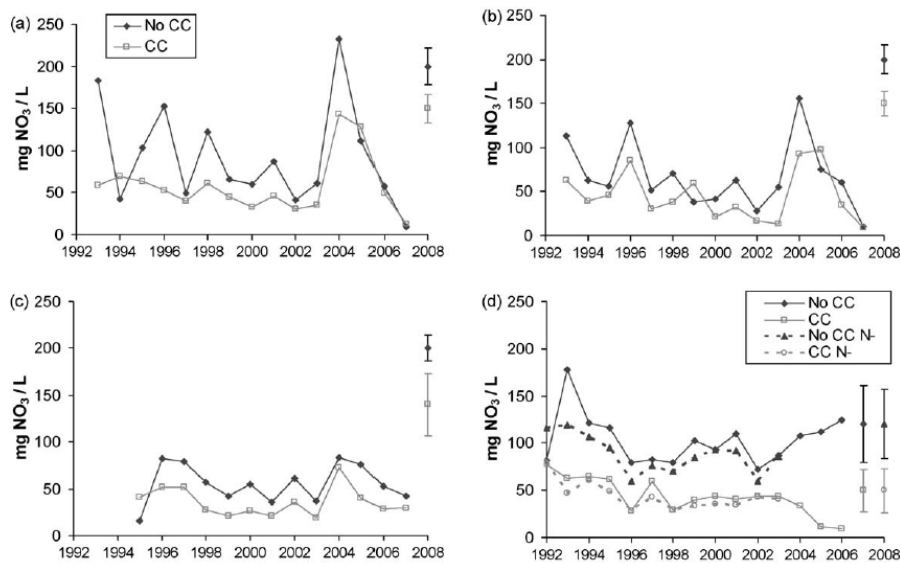
In het najaar zijn de temperaturen vaak nog gunstig voor mineralisatie van N uit oogstresten, dierlijke mest of bodemorganische stof. Bovendien kunnen grote hoeveelheden nitraten in de bodem achterblijven na de oogst. In gematigde vochtige klimaten zoals in Vlaanderen kunnen in het najaar grote neerslagoverschotten optreden. Hoe groter het neerslagoverschot, hoe meer en hoe dieper nitraten kunnen migreren en hoe moeilijker het wordt voor het volggewas om in het volgende seizoen deze nitraten nog op te nemen. Specifiek in deze omstandigheden is het interessant een vanggewas in te zetten om deze migratie tegen te gaan. De vanggewassen kunnen in het najaar nog een groot deel van de aanwezige en vrijgestelde N_{\min} opnemen en omzetten in organische N in het plantenweefsel, waardoor uitspoeling tegengegaan wordt.

Tonitto et al. (2006) vergeleken rotaties met en zonder inzaai van een niet-bemest vanggewas uit Amerikaanse en Europese veldproeven. Ze toonden aan dat met een niet-stikstoffixerend vanggewas de nitraatuitspoeling met gemiddeld 70% verminderde. Voor stikstoffixerende vanggewassen was dit 40%. Er was geen opbrengstverlies van de hoofdteelt.

Ondanks de toename in jaarlijkse mineralisatie onder vanggewassen (zie ook 5.2) toonden Constantin et al. (2010, 2011) in hun Noord-Franse lange termijn veldproeven aan dat de nitraatuitspoeling onder niet-bemeste vanggewassen afnam. De uitspoeling werd opgemeten met behulp van lysimeters en was sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, de locatie en het gewas. De jaarlijkse hoeveelheid uitgespoelde stikstof varieerde van 0 tot $138 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Het inzaaien van vanggewassen resulteerde in bijna alle gevallen in een nitraatconcentratie in het uitgespoelde water onder de 50 mg L^{-1} (zie Figuur 36).

Er werd ook een beperkte afname van de drainage vastgesteld, die toegeschreven wordt aan de extra evapotranspiratie in de herfst, door toedoen van het vanggewas. Voor gele mosterd was dit slechts 3 mm jaar^{-1} , voor bladrammenas 26 mm jaar^{-1} en voor Italiaans raaigras 30 mm jaar^{-1} . De verschillen zijn wellicht grotendeels te verklaren a.d.h.v. de minimumtemperatuur voor sapstroom voor de 3 gewassen. De gemiddelde afname van de uitgespoelde hoeveelheid N_{\min} bedroeg 9, 19 en $32 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ voor respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Voor de 3 vanggewassen was de reductie het grootst na wintertarwe, wellicht door het vroege oogsttijdstip van dit gewas.

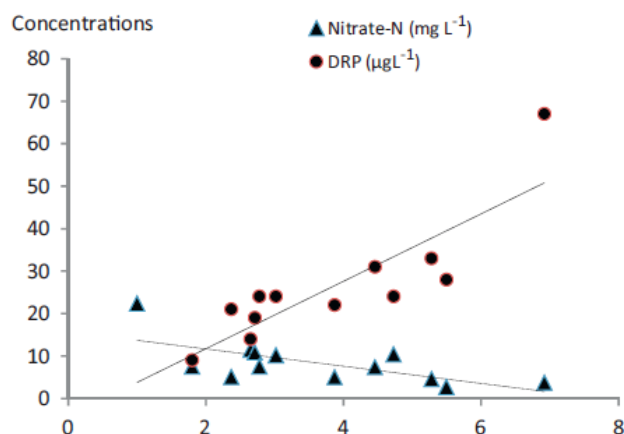
De drogestofopbrengst van de hoofdgewassen was enkel voor wintertarwe en suikerbieten significant hoger bij een jaarlijkse nateelt van bladrammenas. Er werden kleine positieve verschillen opgemeten met de controle, zij het uitsluitend voor het gemiddelde van de jaren volgend op het 7^e jaar van de proefopzet. Voor wintertarwe was dit bovendien enkel het geval in het deel van de proefopzet met een lagere stikstofbemesting ($147 \text{ i.p.v. } 180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$). Het gebruik van een vanggewas levert dus zowel op korte als op lange termijn geen oogstderving op (Constantin et al., 2010).



FIGUUR 36: EVOLUTIE VAN DE NITRAATCONCENTRATIE IN HET UITGESPOELDE WATER (GEWOGEN GEMIDDELDE JAARLIJKE CONCENTRATIES) ONDER VANGGEWASSEN (CC) EN ONDER BRAAK (NO CC) OP 3 VERSCHILLENDE LOCATIES. DE INGEZAAIDE VANGGEWASSEN ZIJN GELE MOSTERD BIJ CONVENTIONEEL PLOEGEN (A) EN ZONDER BODEMBEWERKING (B), ITALIAANS RAAIGRAS (C) EN BLADRAMMENAS (D). DE VANGGEWASSEN WERDEN NIET BEMEST; BIJ BLADRAMMENAS WERD EEN EXTRA BEHANDELING MET VERMINDERDE STIKSTOFBEMESTING OP DE HOOFDTEELT MEEGENOMEN. DE GEMIDDELDE STANDAARD AFWIJKINGEN ZIJN TELKENS RECHTS WEERGEGEVEN (CONSTANTIN ET AL., 2010).

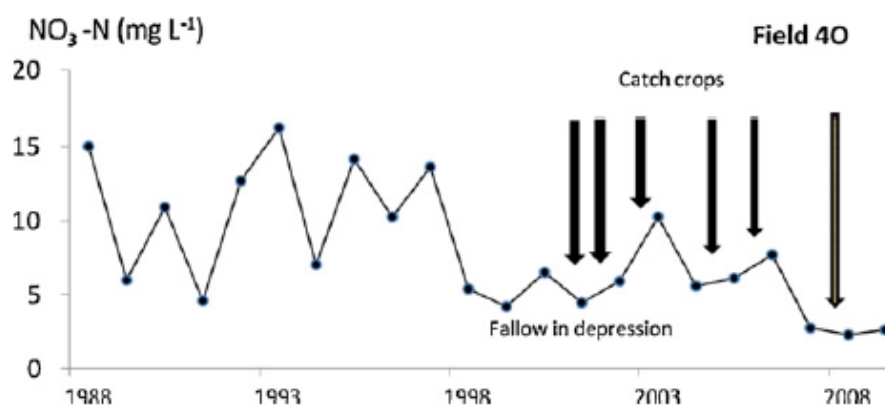
De minerale N in de bodem werd opgemeten in de late herfst, in het midden van de winter en na de oogst van het volggewas. In de late herfst, meestal het begin van de periode met netto uitspoeling, bleek het effect van vanggewassen het grootst te zijn; de N_{\min} in de bodem lag gemiddeld 30, 35 en 19 kg N ha^{-1} lager onder respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Ook in het midden van de winter was het effect nog significant: er werd respectievelijk 5, 26 en 11 kg N ha^{-1} minder teruggevonden dan in de controle. Na de oogst van het daaropvolgende hoofdgewas werden echter geen eenduidige resultaten bekomen: voor bladrammenas werd een afname vastgesteld, voor Italiaans raaigras een toename (na de oogst van snijmais) en voor gele mosterd was de afname enkel significant bij een conventionele bodembewerking. Dit wordt toegeschreven aan het niet synchroon optreden van de mineralisatie uit het vanggewas en de opname door het hoofdgewas (Constantin et al., 2010). Dat geen afname wordt vastgesteld bij Italiaans raaigras en bij gele mosterd onder een conserverende bodembewerking, doet vermoeden dat de mineralisatie van het vanggewas in beide gevallen te traag verloopt. Bij Italiaans raaigras door immobilisatie omwille van de hogere C:N-verhouding (wellicht van de wortels) en bij een conserverende bodembewerking misschien door een tekort aan zuurstof in de bodem. Hierdoor ontstond telkens in het jaar zonder raaigras een toename van de N-uitspoeling met 16% t.o.v. de controlebehandeling.

Ulén et al. (2012) bestudeerden nitraat- en fosfaatconcentraties in het drainagewater van 13 verschillende Zweedse percelen, verzameld uit tweewekelijkse metingen over een periode van 20 jaar (1988-2008). De $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie bleek negatief gerelateerd met de textuur, geklasseerd volgens de bodemspecifieke oppervlakte (Figuur 37). In gelijkaardige omstandigheden is de nitraatuitspoeling op een zandbodem dus groter dan op een kleibodem.

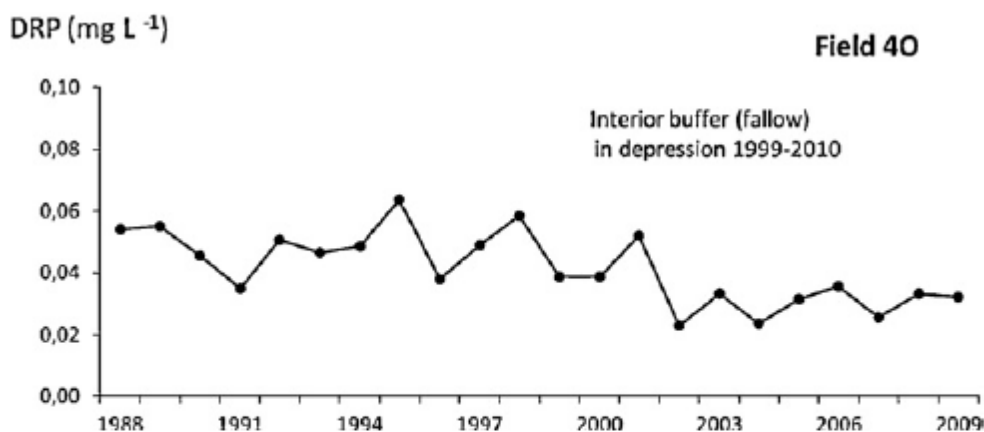


FIGUUR 37: GEMIDDELTE CONCENTRATIES VAN OPGELOSTE REACTIEVE FOSFOR (DRP) ($\mu\text{g/L}$) EN NITRAATSTIKSTOF (mg/L) T.O.V. DE SPECIFIEKE OPPERVLAKTE ($10^6 \text{ m}^2/\text{m}^2$) VAN DE TOPLAAG VAN 13 ZWEEDSE PERCELEN. DE SPEARMAN-CORRELATIECOEFFICIËNT BEDRAAGT $-0,85$ VOOR NITRAAT ($P < 0,001$) EN $0,67$ VOOR FOSFOR ($P < 0,01$) (ULÉN ET AL., 2012).

Op 2 van de 13 proefpercelen werd de laatste 10 jaar op regelmatige basis Engels raai gras (*Lolium perenne L.*) ingezaaid als vanggewas. Het is niet duidelijk of de vanggewassen al dan niet bemest werden, maar voor beide percelen werd een afname van de nitraatconcentratie in het drainagewater waargenomen in de tijd, hoewel de significantie ervan sterk verschilde; voor het eerste perceel op lemige klei was $p < 0,001$, voor het tweede perceel op zandleem bedroeg die $0,341$. Hoewel niet gepreciseerd wordt hoe vaak het vanggewas werd ingezaaid, lag de mogelijkheid om dat te doen wel hoger op het eerste perceel: daar werd 79% van de rotatie ingenomen door granen (wintertarwe, gerst, haver en zomertarwe), voor het tweede perceel was dit slechts 52%. Bovendien werd op het eerste perceel vanaf 1999 ook een bufferstrook aangelegd onderaan het veld. De evolutie van de gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in de tijd is weergegeven in Figuur 38. Ook voor het opgeloste reactieve fosforgehalte werd op hetzelfde perceel een afname waargenomen (zie Figuur 39).



FIGUUR 38: GEMIDDELTE JAARLIJKSE CONCENTRATIES VAN NITRAATSTIKSTOF IN HET DRAINAGEWATER VAN EEN PERCEEL OP LEMIGE KLEI MET REGELMATIG INZAAIEN VAN VANGGEWASSEN EN DE AANLEG VAN EEN BUFFERZONE (ULÉN ET AL., 2012).

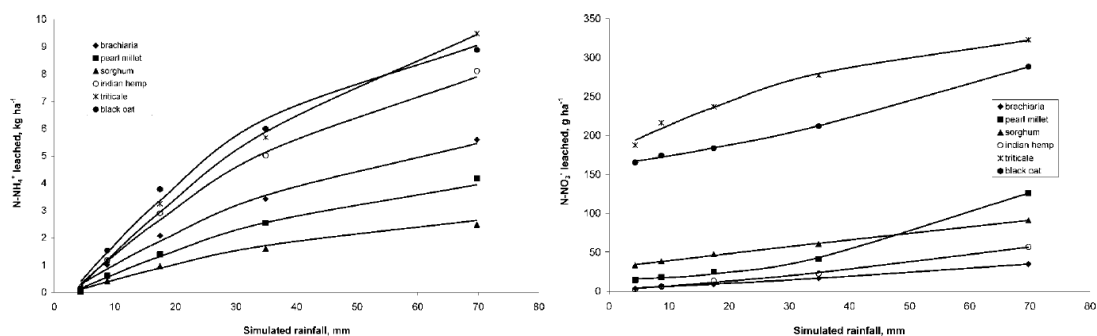


FIGUUR 39: GEMIDDELTE JAARLIJKSE CONCENTRATIES AAN OPELOSTE REACTIEVE FOSFOR IN HET DRAINAGEWATER VAN EEN PERCEEL OP LEMIGE KLEI MET REGELMATIG INZAAIEN VAN VANGGEWASSEN EN DE AANLEG VAN EEN BUFFERZONE (ULÉN ET AL., 2012).

6.2 UITLOGING UIT HET STROOISEL VAN VANGGEWASSEN

Minerale stikstof kan ook rechtstreeks vanuit plantenweefsel in de bodem terecht komen. Vooral in de winterperiode, wanneer vele vanggewassen afsterven, is uitloging van de in het najaar opgenomen stikstof mogelijk. Rosolem et al (2005) onderwierpen het strooisel van C₃- en C₄-soorten aan 70 mm neerslag, bij een toediening van 8 ton droge stof ha⁻¹. Van de 6 vanggewassen waren er drie C₃-planten: Japanse haver (*Avena strigosa*), triticale (*Triticum secale*) en Bengaalse hennep (*Crotalaria juncea*), en drie C₄-planten: parelgierst (*Pennisetum glaucum*), kafferkoren (*Sorghum vulgare*) en schapengras (*Brachiaria decumbens*). Het strooisel werd verzameld 45 dagen na opkomst, werd verkleind tot stukjes van 3 tot 5 cm en gedroogd bij 35°C. De neerslag werd toegediend bij hoge regenvalintensiteiten maar met regelmatige neerslagvrije tussenpozen.

Het percolatiewater werd opgevangen en de concentraties aan NH₄-N en NO₃-N werden bepaald en omgerekend naar hoeveelheden N per ha (zie Figuur 40).



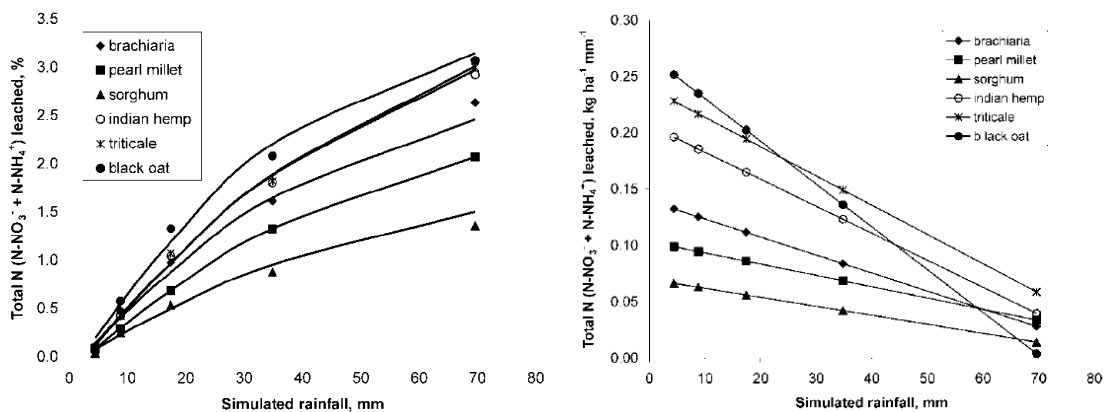
FIGUUR 40: CUMULATIEVE HOEVEELHEDEN NH₄-N (LINKS, IN KG HA⁻¹) EN NO₃-N (RECHTS, IN G HA⁻¹) UITGELOOGD UIT STROOISEL VAN SCHAPENGRAS (◆), PARELGIEST (■), KAFFERKOREN (▲), BENGALSE HENNENP (○), TRITICALE (*) EN JAPANSE HAVER (●), IN FUNCTIE VAN DE TOEGEDIENDE CUMULATIEVE REGENVAL (ROSOLEM ET AL., 2005).

Er werden duidelijk grote verschillen vastgesteld tussen de uitgeloopte hoeveelheden NH₄-N en NO₃-N. Hoewel planten bij voorkeur nitraten opnemen (Marschner, 1995), blijft de uitloging ervan beperkt tot enkele honderden grammen per ha. Planten slaan slechts een beperkte hoeveelheid nitraten op in de vacuoles van de bladcellen en die hoeveelheid is evenredig met de opname. Bij C₃-planten ligt die hoeveelheid hoger dan bij C₄-planten, omdat C₄-planten een hogere metabolische efficiëntie vertonen in de omzetting van lichtenergie voor de assimilatie van stikstof en dus sneller nitraten omzetten in proteïnes die gebruikt worden voor de opbouw van plantenweefsel (Taiz & Zeiger, 1991). Dergelijke concentratieverschillen in de vacuoles hadden duidelijk een effect op de uitgeloopte hoeveelheden

NO₃-N: voor triticale en Japanse haver lagen deze hoger dan voor de andere soorten. Voor Bengaalse hennep, nochtans ook een C₃-plant, was de uitgeloopte hoeveelheid NO₃-N echter vergelijkbaar met die van de C₄-planten. Salisbury & Ross (1992) toonden immers aan dat voor symbiotische N-fixerende C₃-planten - zoals Bengaalse hennep - de concentratie aan nitraten in de vacuoles vergelijkbaar is aan die van de C₄-planten, aangezien de N aangeleverd door de N-fixerende bacteriën reeds in de wortels wordt geassimileerd in een koolstofketen alvorens naar de bovengrondse delen van de plant getransporteerd te worden.

De uitgeloopte hoeveelheid NH₄-N lag veel hoger en bereikte na 70 mm beregening waarden tussen 2 en 9 kg ha⁻¹ (zie Figuur 40). Dit keer lagen de concentraties voor alle C₃-planten hoger dan voor de C₄-planten. C₃-planten hebben in hun bladeren 20 tot 30% van de totale N-inhoud onder de vorm van het enzym rubisco, dat als N-reserve dient en 50% uitmaakt van de totale hoeveelheid opgeloste proteïnen. Bij C₄-planten daarentegen ligt dit twee tot drie keer lager (Marschner, 1995), aangezien deze een groter deel van de N gebruiken voor opbouw van nieuw plantenweefsel.

Het percentage uitgespoelde N_{min} was echter beperkt: na 70 mm beregening werd voor elk van de 6 gewassen minder dan 4% van de totale N-inhoud van het strooisel uitgeloopt (zie Figuur 41). De C₃-planten vertoonden initieel een hogere concentratie in het uitgespoelde water, maar dat daalde snel en werd uiteindelijk min of meer gelijk aan dat van de C₄-planten. Dit stemt overeen met de veronderstelling dat het C₃-strooisel meer makkelijk uitlogbare N heeft en die dus eerst verliest. Er werd tevens een sterke positieve correlatie gevonden tussen de totale N-inhoud van het strooisel en de uitgeloopte hoeveelheid.



FIGUUR 41: CUMULATIEF PERCENTAGE (LINKS) EN CONCENTRATIE AAN MINERALE STIKSTOF (RECHTS) UITGELOOPD UIT STROOISEL VAN SCHAPENGRAS (◆), PARELGIERST (■), KAFFERKOREN (▲), BENGALSE HENNEP (○), TRITICALE (×) EN JAPANESE HAVER (●), IN FUNCTIE VAN DE TOEGEDIENDE CUMULATIEVE REGENVAL (ROSOLEM ET AL., 2005).

De uitloging van N_{min} uit afgestorven vanggewassen blijft, althans op basis van de resultaten van dit onderzoek (Rosolem et al., 2005), beperkt tot enkele procenten van de totale N-inhoud van het vanggewas. De uitloging verloopt voornamelijk onder de vorm van NH₄-N. In Vlaanderen zullen de verliezen door uitloging echter hoger oplopen: vorstgevoelige vanggewassen kunnen in een doorsnee jaar immers reeds afsterven eind november en op die manier blootgesteld zijn aan een periode van afwisselend vorst, dooi en een cumulatieve regenval die makkelijk 200 tot 300 mm kan bedragen.

7 EFFECT OP HET VOLGGEWAS

Het effect van vanggewassen op de minerale N die beschikbaar is voor opname door een volgend gewas hangt af van een hele reeks factoren, waaronder, naast klimaat en bodemtype, de bewortelingsdiepte en de biomassaproductie van het vanggewas, het mineraal stikstofgehalte van de bodem, de inzaaidatum en bewortelingsdiepte van het volggewas en de mineralisatiesnelheid van de N uit het vanggewas. Het effect op de beschikbare N in het voorjaar wordt door Thorup-Kristensen en Nielsen (1998) als volgt gedefinieerd:

$$N_{eff} = (m - r) * N_{opname}$$

Met:

N_{eff} het verschil in de hoeveelheid N_{min} beschikbaar voor opname door het volggewas tussen een behandeling mét en zonder vanggewas,

m een coëfficiënt die de N-mineralisatie van de eerder opgenomen N uit het vanggewas uitdrukt,

r de retentiefactor of de relatieve hoeveelheid N_{min} die beschikbaar blijft voor het volggewas zonder een vanggewas in te zaaien,

N_{opname} de hoeveelheid N_{min} opgenomen door het vanggewas.

Metingen en simulaties met het DAISY-model (Hansen et al., 1991) tonen een positieve correlatie van N_{eff} met de neerslag voor de bodemlaag van 50 tot 100 cm. Voor de laag van 0 tot 50 cm werd een zeer lage correlatie geconstateerd. Hiermee overeenstemmend werd voor droge en natte winters respectievelijk een negatieve en positieve N_{eff} bekomen. Deze correlatie is toe te schrijven aan de neerslagafhankelijkheid van de retentiefactor: hoe meer neerslag, hoe meer N zal uitspoelen en hoe lager de retentiefactor.

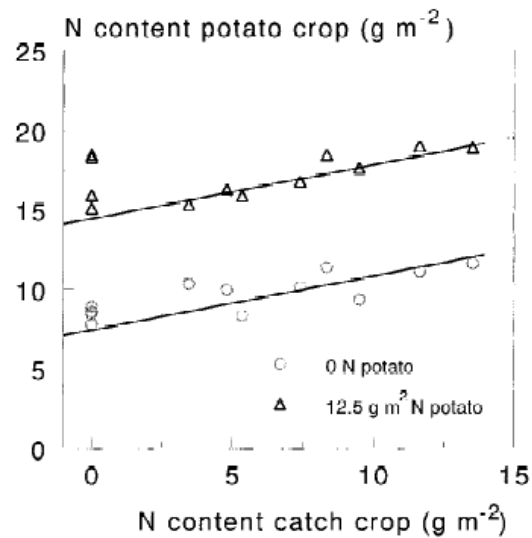
De retentiefactor r wordt daarnaast ook nog beïnvloed door:

- het type bodem: zwaardere bodems vertonen meestal een hogere retentie;
- de bewortelingsdiepte van het volggewas: hoe dieper de wortels reiken, hoe meer N beschikbaar blijft in het profiel en hoe hoger de retentiefactor;
- de diepte en de datum van de N-opname: hoe dieper of vroeger N wordt opgenomen door het vanggewas, hoe lager de retentiefactor. De kans op uitspoeling is immers groter naarmate N zich dieper in de bodem bevindt. De kans op uitspoeling van N aanwezig in de bodem in het najaar is ook groter dan de kans op uitspoeling van N aanwezig in de bodem in het voorjaar. Het is dan ook minder aangewezen N in het voorjaar te laten opnemen door het vanggewas en het is beter het vanggewas in te werken vooraleer het groeiseizoen herbegint.

De mineralisatiecoëfficiënt m wordt beïnvloed door de C:N-verhouding van het vanggewas: hoe lager deze verhouding, hoe hoger de mineralisatiecoëfficiënt m en hoe groter N_{eff} . De factor N_{opname} kan ook nog verhoogd worden door te kiezen voor een vanggewas met een snelle en diepe wortelontwikkeling (zie ook deel 0).

Vos & van der Putten (2001) trachtten te bepalen hoeveel van de in het najaar door een vanggewas opgenomen stikstof na inwerken werd opgenomen door in het daaropvolgende voorjaar gepote aardappelen. De vanggewassen (snijrogge en koolzaad) kregen een anorganische bemesting bij zaai van 20 of 70 kg N ha⁻¹. De aardappelen kregen telkens ofwel geen extra bemesting ofwel een extra bemesting van 125 kg N ha⁻¹. Er werden in dit experiment 2 significante variabelen gevonden: de extra

bemesting van de aardappelen en de aanwezigheid van een vanggewas. De aanwezigheid van een vanggewas was echter enkel significant voor de stikstofopname van het aardappelgewas zónder extra bemesting.



FIGUUR 42: STIKSTOFGEHALTE VAN EEN VOLGROEID AARDAPPELGEWAS VERSUS DE MAXIMALE N-OPBRENGST VAN HET VANGGEWAS TUSSEN NOVEMBER EN HET INWERKTIJDSTIP IN MAART. DE AARDAPPELEN KREGEN AL DAN NIET EEN VOORJAARSBEMESTING MET 125 KG N HA⁻¹ (VOS & VAN DER PUTTEN, 2001).

De opnamecoëfficiënt drukt uit hoeveel eenheden extra stikstof wordt opgenomen door het aardappelgewas voor een extra toegediende eenheid stikstof. In dit onderzoek (Figuur 42) was er voor een bemesting met 125 kg N ha⁻¹ een toename van de N-opname van 70 kg N ha⁻¹, dus de opnamecoëfficiënt voor minerale stikstof bedroeg 0,56. De opnamecoëfficiënt voor de stikstof uit het vanggewas komt overeen met de richtingscoëfficiënt van de responscurve en bedroeg 0,34. Tot slot drukt de vervangingsfactor uit welke hoeveelheid minerale stikstof nodig is om eenzelfde extra N-opname te realiseren als met één eenheid stikstof uit het ingewerkte vanggewas. Het is m.a.w. de verhouding van beide opnamecoëfficiënten. Hier werd een vervangingsfactor gevonden van 0,61.

Tonitto et al. (2006) besloten uit verschillende Amerikaanse en Europese studies dat de opbrengst van de hoofdteelt zonder bemesting en bij gebruik van N-fixerende vanggewassen gemiddeld slechts 10% lager lag dan conventioneel (zonder vanggewassen en met de aanbevolen bemesting onder anorganische vorm). Deze opbrengstderiving hing echter samen met gemiddeld een 28% kleinere jaarlijkse N-input. Dit houdt in dat de omzetting van jaarlijkse N-input naar gewasopbrengst 25% efficiënter verloopt in het niet-conventionele systeem.

In een Deens onderzoek met verschillende vanggewassen vonden Thorup-Kristensen et al. (2009) positieve effecten op de opbrengst van zomertarwe voor alle vanggewassen met uitzondering van rogge. Noch de vanggewassen, noch de zomertarwe werden bemest. Het positief of negatief effect op de graanopbrengst ging samen met een toename respectievelijk afname van de bovengrondse N-opbrengst van de tarwe en de N_{eff} berekend voor de bodem tot een diepte overeenkomstige met de bewortelingsdiepte van zomertarwe.

8 IMMOBILISATIE

Immobilisatie is het proces waarbij minerale stikstof tijdelijk wordt vastgelegd in de microbiële biomassa. Dit verschijnsel treedt op wanneer er een overvloed is aan beschikbare koolstof. De microbiële populatie groeit aan en neemt daarbij stikstof op die ze nodig heeft om haar eiwitten op te bouwen. Indien de voedselbron een hoge C:N-verhouding heeft en dus niet voldoende N aanlevert voor de bacteriën, zal het N_{\min} -gehalte in de bodem afnemen. Dit gaat door zolang er een netto-groei is van de microbiële populatie. Van zodra de koolstofbron opgebruikt is, zal de microbiële populatie zichzelf in stand trachten te houden. Hierdoor zou een status quo van het N_{\min} -gehalte in de bodem verwacht worden. Als gevolg van predatie zullen de bacteriënaantallen echter dalen ten voordele van hogere organismen (voornamelijk protozoa en nematoden). Door de hogere C:N-verhouding van deze hogere organismen wordt bij het consumeren van bacteriën N_{\min} uitgescheiden onder de vorm van NH_4^+ . Dit zorgt opnieuw voor een stijging van het N_{\min} -gehalte in de bodem. Deze stijging zet zich met de tijd verder door aangezien ook de nematoden en protozoa op hun beurt geconsumeerd worden door organismen met een nog hogere C:N-verhouding; dit is het geval bij elke trofische overgang in het ecosysteem.

Bij het toepassen van vanggewassen voorafgegaan door bemesting op de graanstoppel kan immobilisatie van N_{\min} optreden op 2 momenten: in het najaar na toedienen van de mest en in het voorjaar na inwerken van het vanggewas.

Immobilisatie van N_{\min} uit de mest kan na wintergranen een belangrijk proces vormen aangezien na de oogst een aanzienlijke koolstofbron achterblijft op het veld: de graanstoppel. De stoppel heeft bovendien een hoge C:N-verhouding, waardoor de vraag naar N_{\min} uit de bodem hoog is. Dit is interessant, aangezien deze tijdelijke vastlegging een neerwaartse migratie van N_{\min} voorkomt in de periode dat het jonge vanggewas zich nog aan het ontwikkelen is. Van zodra de vastgelegde N_{\min} terug wordt vrijgesteld, kan het worden opgenomen door het ontwikkelde wortelstelsel van de vanggewassen. De aanwezigheid van vanggewassen op het veld kan tevens een rol spelen in het immobilisatieproces. Zo blijken heterotrofe bacteriën proportioneel meer C om te zetten in biomassa in bodems met een grotere diversiteit aan plantensoorten (Aoyama et al., 2000; Fliessbach et al., 2000). De immobilisatie in het najaar is dus intensiever onder vanggewassen.

Immobilisatie treedt ook op na mineralisatie van de vanggewassen in het voorjaar, althans indien deze vanggewassen een voldoende hoge C:N-verhouding hebben. De toename van bodemorganische stof die daaruit resulteert, kan op langere termijn een aanzienlijk deel van de N_{\min} vrijstellen die de volggewassen nodig hebben om zich te ontwikkelen. Kramer et al. (2002) voerden onderzoek op zandleem en leem in het Amerikaanse Californië (weliswaar in een mediterraan klimaat) om na te gaan of het mogelijk is op basis van observaties op korte termijn de opbouw van organische stikstof in de bodem op lange termijn te voorspellen. Ze vergeleken een conventioneel systeem (kunstmest, geen vanggewas) met een geïntegreerd systeem (wikke aangevuld met kunstmest) en een biologisch systeem (wikke aangevuld met gecomposteerde kippenmest). Er werd telkens een 4-jarige rotatie gevolgd (maïs, tarwe of bonen, tomaat en saffloer), waarbij in het tweede rotatiejaar in het conventionele systeem tarwe werd gekweekt en in het geïntegreerde en biologische systeem bonen. In de 3 systemen werden respectievelijk normale en beperkte hoeveelheden meststoffen en geen pesticiden gebruikt en over de hele rotatie was de totale N-input in de 3 systemen gelijkaardig. In het 11^e jaar van de proefopzet werd in april onder de vorm van ureum en ondergewerkte wikke ^{15}N toegediend, voorafgaand aan inzaai van maïs. In het najaar werd nagegaan hoeveel van deze ^{15}N terug te vinden was, enerzijds in het gewas en anderzijds in de bodem. Het totale percentage retraceerbare ^{15}N bleek niet significant beïnvloed door het type systeem en de toedieningsvorm, maar de verdeling ervan over het gewas en de bodem vertoonde wel significante verschillen (Tabel 35). Bij toediening onder de vorm van wikke in het geïntegreerde en biologische systeem bleek het percentage

retraceerbare ^{15}N significant kleiner in het gewas en significant groter in de bodem dan bij toediening onder de vorm van ureum in het conventionele systeem. Voor het geïntegreerde systeem werden geen significante verschillen gevonden met de andere systemen als de ^{15}N werd toegediend via de kunstmest. De immobilisatie van de stikstof aangeleverd door het vanggewas is dus significant groter dan de immobilisatie van stikstof aangeleverd uit kunstmest. Dit werd ook bevestigd uit de lange termijn resultaten: na 10 jaar was de toename in bodemorganische stikstof significant verschillend tussen het conventionele systeem enerzijds en de geïntegreerde en biologische systemen anderzijds; de significantie was het grootst voor het verschil met het biologische systeem (Tabel 36).

TABEL 35: RETRACEERBAARHEID VAN ^{15}N IN MAÏS EN BODEM IN HET NAJAAR NA TOEDIENING IN HET VOORJAAR ONDER VORM VAN UREUM OF WIKKE. DE STANDAARD AFWIJING WORDT WEERGEGEVEN TUSSEN HAAKJES. WAARDEN GEVOLGD DOOR EEN VERSCHILLENDE LETTER ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE VAN ELKAAR (P < 0,10 VOOR DE TOTALE RETRACEERBAARHEID EN P < 0,05 VOOR DE RETRACEERBAARHEID IN GEWAS EN BODEM (KRAMER ET AL., 2002).

Systeem	Aanvoer N	Aanvoer ^{15}N	Retraceerbaarheid (%)		
			Totaal	Gewas	Bodem
Conventioneel	Ureum	Ureum	63 (8,3) a	40,1 (12) b	15,0 (8,7) b
Geïntegreerd	Wikke + ureum	Wikke	68 (12) a	18,9 (2,7) a	44,7 (14) a
Geïntegreerd	Wikke + ureum	Ureum	62 (16) a	29,3 (8,1) ab	26,6 (9,4) ab
Biologisch	Wikke + kippenmest	Wikke	73 (18) a	18,6 (1,9) a	43,6 (16) a

TABEL 36: VERANDERINGEN IN BODEMSTIKSTOFGEHALTE OP LANGERE TERMIJN VOOR 3 VERSCHILLENDE SYSTEMEN (KRAMER ET AL., 2002).

Systeem	Bodemstikstof (%)	
	in 1990	in 1998
Conventioneel	0,083	0,095
Geïntegreerd	0,090	0,107
Biologisch	0,089	0,116

In een gelijkaardige studie uitgevoerd in het vochtig continentaal klimaat van Pennsylvania (VS), werden een conventioneel en een geïntegreerd systeem vergeleken (Harris et al., 1994). De rotaties werden opgestart in 1981; ^{15}N werd toegediend op een eerste reeks veldjes in mei 1987 en op een tweede reeks veldjes in mei 1988. Op de eerste reeks veldjes was de N-bemesting nog ongelijk: voor het conventionele systeem werd 124 kg N ha^{-1} onder vorm van ammoniumsulfaat toegediend, voor het geïntegreerde systeem 165 kg N ha^{-1} onder vorm van rode klaver (*Trifolium pratense*). Op de tweede reeks veldjes werd telkens 124 kg N ha^{-1} toegediend. Voor beide reeksen werd de ^{15}N gedurende 2 jaar in het najaar opgevolgd, zowel in het volggewas als in de bodem. In het gewas werd telkens significant meer ^{15}N teruggevonden uit kunstmest dan uit klaver (40% versus 17% van de input) en in de bodem werd het omgekeerde waargenomen (17% versus 47% van de input). Dit bevestigt dat de immobilisatie uit klaver groter was dan de immobilisatie uit kunstmest. Dit ging gepaard met een significant grotere hoeveelheid microbiële koolstof en N-mineralisatie. De N-verliezen waren over 2 jaar niet significant verschillend, maar in het eerst jaar groter uit kunstmest (38%) dan uit klaver (18%) en omgekeerd in het tweede jaar (4% versus 17% van de input). Dit toont de noodzaak aan van een aangepast bemestingsadvies bij het gebruik van vanggewassen.

Ook in Noord-Frankrijk (Constantin et al., 2010) verhoogde de inzaai van vanggewassen duidelijk de totale stikstofvoorraad in de bouwvoor. Na 13 tot 17 jaar werd uit de totale toename een jaarlijkse stijging van $11,9$, $22,2$ en $24,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ berekend, voor respectievelijk gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras. Er werd echter geen significante correlatie gevonden tussen deze jaarlijkse stijging en de N-inhoud van de ingewerkte vanggewassen. Er werd wél een significante correlatie gevonden tussen de jaarlijkse stijging van de mineralisatie en de C-inhoud van de ingewerkte vanggewassen, wat het relatieve belang aantoont van immobilisatie.

9 DENITRIFICATIE

Denitrificatie is het proces waarbij, door het voorkomen van anaerobe omstandigheden in de bodem, NO_3^- in de plaats van O_2 als elektronenacceptor wordt gebruikt door micro-organismen om koolstof te oxideren tot CO_2 . Hierbij ontstaan gassen zoals NO , N_2O en N_2 (Jahangir et al., 2012). Studies hebben aangetoond dat denitrificatie het meest intens is in de bovenste bodemlaag (Clement et al., 2002; Cosandey et al., 2003; Kustermann et al., 2010). Dit hangt sterk samen met het vochtgehalte en het organische stofgehalte van de bodem (Khalil & Baggs, 2005). Hill et al. (2004) vonden in bodems rijk aan organisch materiaal ook op grotere diepte (tot enkele meters onder het oppervlak) plaatsen waar de denitrificatiesnelheid hoog was.

Vanggewassen kunnen een effect hebben op de denitrificatieprocessen door hun invloed op het vocht- en organische stofgehalte van de bodem. Enerzijds transpireren vanggewassen water en verminderen zo de vochtvoorraad in de bodem en zorgen hun wortels voor een verbeterde bodemstructuur en een stimulatie van de bodembiotische activiteit. Samen zorgt dit voor een betere aeratie van de bodem, wat denitrificatie tegengaat. Anderzijds zal het toepassen van vanggewassen zowel op korte termijn als op lange termijn het organische koolstofgehalte in de bodem verhogen en denitrificatie in de hand werken.

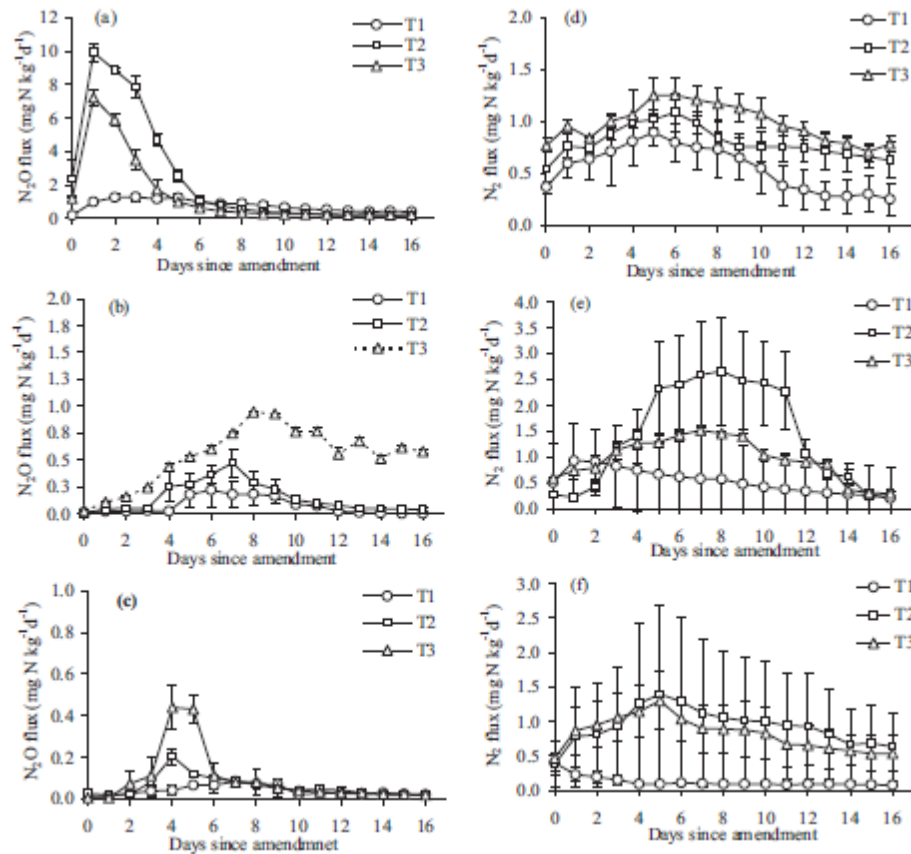
Denitrificatie zorgt voor een onnodig verlies van stikstof. Ondanks de grote stikstofoverschotten mag dit verlies ook in Vlaanderen niet beschouwd worden als een gunstig proces, aangezien, met uitzondering van N_2 , alle gevormde gassen schadelijk zijn voor de atmosferische stabiliteit. Indien denitrificatie echter plaatsvindt dieper in de bodem, kunnen de gevormde gassen op hun weg naar boven gereduceerd worden tot N_2 . Dit kan enkel als ook de bovenste bodemlaag grotendeels anaeroob is en voldoende rijk is aan organische koolstof. De vorm waaronder die organische koolstof voorkomt, is vaak belangrijker dan de totale hoeveelheid en beïnvloedt de snelheid waarmee de denitrificerende micro-organismen de koolstof kunnen consumeren (Ciarlo et al., 2007).

Een voor de micro-organismen limiterende C-hoeveelheid in de wortelzone is zeldzaam (Cheng et al., 1996), maar kan wel voorkomen in de diepere bodemlagen (Koch et al., 2001). In landbouwbodems gebeurt de microbiële assimilatie van N en P voornamelijk in de wortelzone, waar ook de opname door planten plaatsvindt. In de diepere bodemlagen treden hoofdzakelijk processen op die bijdragen tot nutriëntenverliezen. Toch kunnen N-overschotten ook in de wortelzone leiden tot denitrificatie (Smith and Tiedje, 1979).

Jahangir et al. (2012) namen bodemstalen van de A-, B- en C-horizont (respectievelijk op 0-10, 45-55 en 120-130 cm) op een intensief begraasd grasland in Wexford, Ierland. De textuur werd zwaarder met de diepte: van zandleem over leem tot klei. Het organisch koolstofgehalte nam respectievelijk af: 2,85 – 0,50 – 0,23%. Aan alle stalen werd KNO_3 (90 mg $\text{NO}_3^- \text{kg}^{-1}$ droge bodem) toegevoegd en voor elke horizont werden vervolgens 3 behandelingen opgezet: een controlebehandeling zonder toevoeging van koolstof en twee behandelingen met toevoeging van respectievelijk glucose en opgeloste organische koolstof geëxtraheerd uit de bovenste bodemlaag (telkens 150 mg C kg^{-1}). Quasi anaerobe condities werden bereikt door water toe te voegen aan de bodemstalen totdat voor de 3 horizonten respectievelijk 80, 85 en 88% van de poriën gevuld was. Dit kwam telkens overeen met een vochtgehalte hoger dan bij veldcapaciteit. De incubatie werd uitgevoerd gedurende 17 dagen bij een constante temperatuur van 15°C.

De gemiddelde N_2O -flux was significant verschillend voor de drie horizonten (Figuur 43). Er werd minder N_2O geproduceerd met toenemende diepte. Dit effect wordt toegeschreven aan de afnemende beschikbaarheid van koolstof en de beperkte aanwezigheid van denitrificerende organismen (*Bacteria* en *Archaea*) op grotere diepte. Voor de A-horizont werden significante

verschillen gevonden tussen de 3 behandelingen: toevoeging van koolstof verhoogde de N₂O-emissie en bij toevoeging onder de vorm van glucose is dit meer dan onder de vorm van opgeloste koolstof. In de B- en C-horizonten werd enkel een significant verschil in de gemiddelde N₂O-flux gevonden tussen de controle enerzijds en de twee toevoegingen van koolstof anderzijds, maar niet tussen beide vormen. Waar koolstof werd toegevoegd, werd voor de A-horizont de hoogste N₂O-flux waargenomen na 1 dag. Voor de controle was dit na 3 dagen. Voor de B- en C-horizonten werd de maximale flux voor de drie behandelingen teruggevonden tussen dag 4 en dag 8.



FIGUUR 43: FLUXEN VAN N₂O (LINKS) EN N₂ (RECHTS) VOOR DE BODEMLAAG VAN 0-10 CM (A, D), 45-55 CM (B, E) EN 120-130 CM (C, F), BEÏNVLOED DOOR ENKEL NITRAAT (T1), DOOR NITRAAT EN GLUCOSE (T2) EN DOOR NITRAAT EN OPGELOSSE ORGANISCHE KOOLSTOF (T3) (JAHANGIR ET AL., 2012).

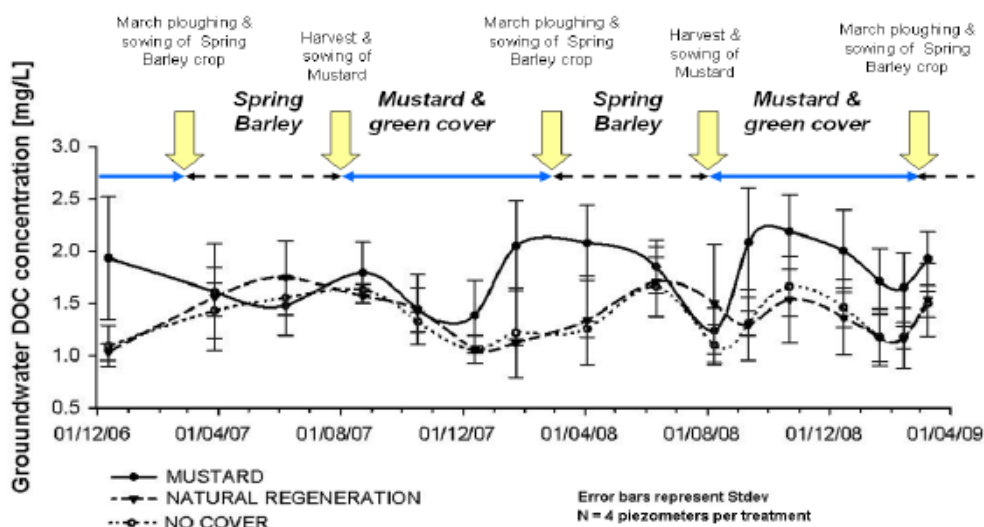
De gemiddelde N₂-flux was enkel significant verschillend tussen de A- en C-horizont (Figuur 43). Voor de behandelingen met toevoeging van koolstof was de N₂-flux voor de C-horizont steeds hoger dan voor de A-horizont. Dit is mogelijk toe te schrijven aan de hogere bulkdensiteit en het grotere aandeel met water gevulde poriën in de C-horizont. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de 3 behandelingen, wellicht door de hoge nitraatconcentraties. Deze inhiberen immers de omzetting van N₂O tot N₂. Scholefield et al. (1997) beweerden dat met toenemende nitraatconcentratie de denitrificatie minder afhankelijk wordt van die nitraatconcentratie en evolueert van een 1^e-orde reactie naar een 0^e-orde reactie.

De molaire verhouding N₂O/(N₂O+N₂) geeft aan welk deel van het gevormde N₂O-gas niet verder werd gereduceerd tot N₂-gas. Voor de A-horizont was deze verhouding significant groter dan voor de twee diepere bodemlagen. Dit is te verklaren door de toename in het aandeel met water gevulde poriën en komt overeen met wat eerder aangetoond werd door o.a. Scholefield et al. (1997) en Ciarlo et al.

(2007). De hogere bulkdensiteit en de lagere permeabiliteit vergroten de verblijftijd van N_2O in de diepere bodemlagen en vergroten de kans op omzetting tot N_2 . Een andere verklaring voor de grotere $N_2O/(N_2O+N_2)$ -verhouding is dat in de meer aerobe A-horizont, en bovendien rijker aan organische N, mogelijk nitrificatie optrad en het gevormde nitraat als geprefereerde elektronendonor op zijn beurt omgezet werd tot N_2O .

De N_2O -flux vertoonde significante positieve lineaire relaties met het totale organisch koolstofgehalte en het totaal stikstofgehalte van de bodem, maar op het moment van maximale flux werd een negatieve lineaire relatie gevonden met het nitraatgehalte. De N_2 -flux was positief gecorreleerd met het organisch stikstofgehalte en negatief met het nitraatgehalte. De (N_2O+N_2) -flux vertoonde een significante lineaire relaties met zowel het totaal koolstofgehalte als het nitraatgehalte in de bodem. Voor koolstof was deze relatie positief, voor nitraat negatief.

Het contrast tussen de positieve correlatie met organische stikstof en de negatieve correlatie met anorganische stikstof toont aan dat de NH_4^+ -N niet werd gemineraliseerd tot NO_3^- -N, maar werd geassimileerd door de denitrificerende micro-organismen, hetgeen hun activiteit vergrootte. Dit zou erop kunnen wijzen dat bij anaerobe omstandigheden door het gebruik van vanggewassen denitrificatie tot N_2 gestimuleerd wordt: de inhiberende nitraten worden opgenomen en kunnen nadien vrijkomen als NH_4^+ . Het verlies van plantensappen in de winter zorgt immers voor een continue bron van NH_4^+ -N (zie deel 6.2). Daarnaast zijn deze plantensappen tevens een bron van toegankelijke organische koolstof, welke ook positief gecorreleerd is met de denitrificatie. Weliswaar is het belangrijk in te zien dat de omzetting van N_2O naar N_2 efficiënter verloopt in de diepere bodemlagen omwille van de lagere zuurstof- en nitraatconcentratie en de hogere bulkdensiteit. Bij vanggewassen is er dus wel een reëel risico op een grote vrijstelling van N_2O uit de bovenste bodemlaag. Toch is een stimulatie van de denitrificatie in de verzadigde zone ook mogelijk; Premrov et al. (2009) toonden aan dat er bij het gebruik van gele mosterd een toename was van de opgeloste organische koolstof in het ondiep grondwater (zie Figuur 44). Er wordt aangenomen dat deze extra koolstof afkomstig is van de wortels van de gele mosterd. Ondanks de hogere concentratie aan koolstof als elektronenacceptor bleek het grondwater in dit onderzoek te overvloedig voorzien van zuurstof om nitraten als elektronendonor te doen fungeren.



FIGUUR 44: GEMIDDELDE CONCENTRATIES AAN OPGELOSSE ORGANISCHE KOOLSTOF IN HET GRONDWATER ONDER GELE MOSTERD, ONDER NATUURLIJKE HERGROEI EN ONDER BRAAK (PREMROV ET AL., 2009).

De hoeveelheid stikstof die betrokken is in het proces van denitrificatie kan ook ingeschat worden door de N-balans op te stellen. Constantin et al. (2010) definiëren de N-balans als volgt:

$$N_{\text{balans}} = N_{\text{depositie}} + N_{\text{mest}} + N_{\text{fixatie}} - N_{\text{oogst}}$$

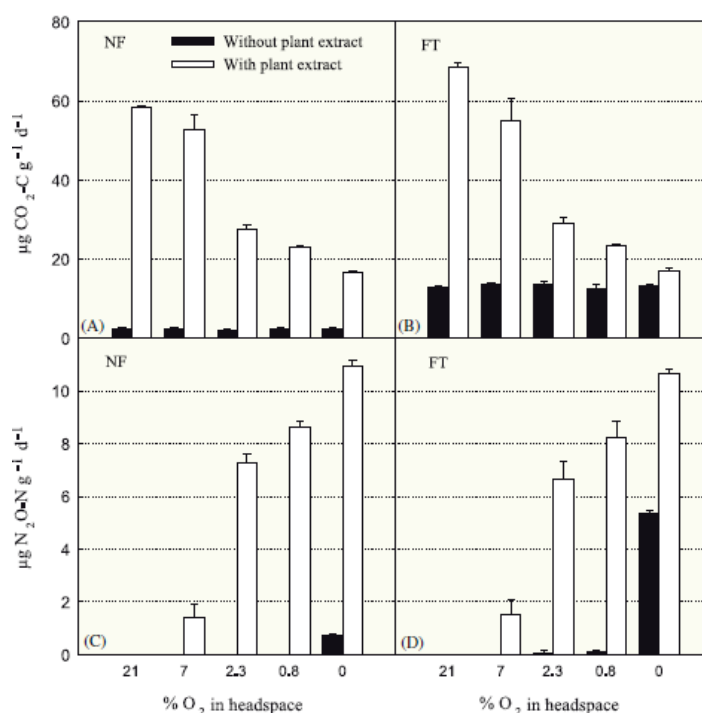
De N-balans werd door Mary et al. (2002) ook beschreven als:

$$N_{\text{balans}} = N_{\text{uitspoeling}} + N_{\text{denitrificatie}} + N_{\text{opslag}}$$

met de N-opslag het verschil tussen de som van minerale en organische stikstof in de bodem voordien en nadien.

Aangezien Constantin et al. (2010) met uitzondering van de denitrificatie alle termen bepaalden in hun lange-termijnexperimenten (de uitspoeling werd opgemeten met lysimeters), was het mogelijk de denitrificatie te berekenen voor 3 verschillende bodemtypes. Gele mosterd, bladrammenas en Italiaans raaigras vertoonden telkens een afname in de N-uitspoeling in vergelijking met de controlebehandeling zonder vanggewas. Dit leidde tot verschillen van 7 tot 25 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ in de som van de denitrificatie en de N-opslag. Voor de N-opslag werden echter gelijkaardige verschillen gevonden, waaruit besloten werd dat het gebruik van vanggewassen de denitrificatiesnelheid niet significant beïnvloedde.

Het is bekend dat een afwisseling van vorst en dooi tijdens de winter en in het vroege voorjaar een effect heeft op het vrijkomen van N₂O. Kort na de dooi worden hogere concentraties van het gas waargenomen, deels toe te schrijven aan de vrijstelling van fysisch beschermd organisch materiaal en deels aan de afbraak van afgestorven micro-organismen. Het verhoogde O₂-verbruik (door mineralisatie van het vrijgestelde organisch materiaal) en het hoger vochtgehalte bij dooi zorgen voor meer anaerobe condities in de bodem, hetgeen denitrificatie bevordert. Bovendien vermindert de activiteit van het enzym N₂O-reductase bij lage positieve temperaturen. Mørkved et al. (2006) onderzochten a.d.h.v. een 9 uur durende incubatie bij 5°C het effect van vorst-dooiverschijnselen en de toevoeging van plantensap op de denitrificatie in zwaar zandleem. De initiële O₂-concentraties liepen van 0 tot 21% (Figuur 45).



FIGUUR 45: CO₂- EN N₂O-EMISSIONS UIT BODEMS NA VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN EN BIJ VERSCHILLENDE INITIËLE O₂-CONCENTRATIES. AAN NIET-BEVROREN (NF) EN AFWISSELEND BEVROREN EN ONTDOOIDE BODEMS (FT) WERD GEDEMINERALISEERD WATER (ZWART) OF PLANTENSAP (WIT) TOEGEVOEGD (MØRKVED ET AL., 2006).

Uit Figuur 45 blijkt dat de denitrificatiesnelheid sterk toenam door het toevoegen van plantensap en dat die toename groter was naarmate de initiële O₂-concentratie daalde. De volledig aerobe en anaerobe beginsituaties sloten hier niet bij aan; bij 21% O₂ werd zowel met als zonder toevoeging van plantensap geen N₂O vrijgesteld en bij 0% O₂ kwam ook zonder toevoeging van plantensap een relatief grote hoeveelheid N₂O vrij.

Het effect van afwisselend bevroren en ontdooien op de denitrificatie was enkel significant positief voor bodems zonder toevoeging van plantensap bij incubatie met lage initiële O₂-concentraties (0 – 2,3%).

Toevoegen van plantensap aan de bodem verhoogde de nitraatconcentratie van 4,0 µg g⁻¹ droge bodem tot 6,0 µg g⁻¹ droge bodem. Denitrificatie bleek echter niet significant beïnvloed te worden door de nitraatconcentratie in de bodem tijdens een anaerobe incubatie van 24 uur. Bovendien was maximum 4,4 % van het gevormde N₂O-gas afkomstig van N gemineraliseerd uit het plantensap.

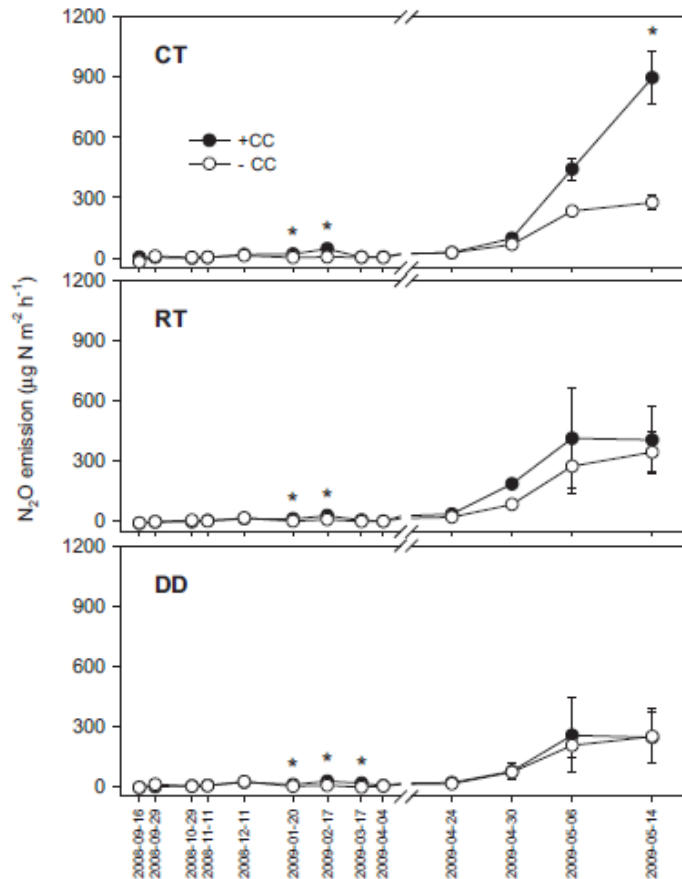
Zonder toevoeging van plantensap verhoogde het afwisselend bevroren en ontdooien van de bodem de respiratie met een factor 5 tot 6. De CO₂-productie was onafhankelijk van de initiële O₂-concentratie bij de incubatie. Dit toont aan dat het gebrek aan O₂ hier gecompenseerd wordt door het denitrificatieproces, wat bovendien gestaafd wordt door de molaire verhouding van N₂O en CO₂. Het toevoegen van plantensap verhoogde de CO₂-productie, zowel zonder als met vorstperiodes. Dit effect verkleinde met afnemende initiële O₂-concentraties van de incubatie. De lagere CO₂-productie in anaerobe omstandigheden toont aan dat het denitrificatieproces het gebrek aan O₂ in dit geval niet kan compenseren.

Cavigelli en Robertson (2000, 2001) ontdekten dat de O₂-gevoeligheid van denitrificerende bacteriën afhangt van het bodemgebruik. De bacteriën van braakliggende landbouwbodems bleken gevoeliger voor O₂ en de verhouding N₂O/N₂ lag hoger dan voor bacteriën van een bodem begroeid met een nateelt. Bovendien blijkt de samenstelling van de denitrificerende microbiële gemeenschap ook een invloed uit te oefenen op de denitrificatiesnelheid en de verhouding N₂O/N₂.

Naast de omzetting van nitraat tot NO, N₂O en N₂, is er ook sprake van dissimilatieve nitraatreductie tot ammonium, afgekort DNRA (Silver et al., 2001). Enkel bacteriën die beschikken over het nrf-gen kunnen dit denitrificatieproces uitvoeren. Landbouwbodems met een hoge concentratie aan labiele C blijken een grotere NH₄⁺:NO₃⁻-verhouding te hebben, wat suggereert dat het belang van het DNRA-proces wel degelijk beïnvloed kan worden. Aangezien ammonium minder gevoelig is aan uitspoeling dan nitraat, is dit niet onbelangrijk (Drinkwater et al., 1995).

In West-Denemarken werd in 2002 een proef aangelegd op een zandige leembodem met als variabelen de teeltrotatie en het type bodembewerking in het voorjaar (Petersen et al., 2011). Drie types bodembewerking werden vergeleken: directe inzaai (DD) zonder bodembewerking, inzaai na een conventionele bewerking (CT) met een ploeg tot een diepte van 20 cm en inzaai na een dubbele gereduceerde bewerking (RT) met een eg tot een diepte van 10 cm. Binnen één rotatie onderzochten Petersen et al. (2011) in het najaar van 2008 en het voorjaar van 2009 het effect van de bodembewerking en het gebruik van een vanggewas op de denitrificatie. Het hoofdgewas in 2008 was zomergerst (*Hordeum vulgare L.*) en werd geoogst eind augustus; het stro bleef hierbij achter op het veld. Drie weken voorafgaand aan de oogst van de gerst werd bladrammenas (*Raphanus sativus L.*) breedwerpig ondergezaaid. De behandelingen zonder vanggewas werden na de oogst met glyfosaat bespoten. Er was géén najaarsbemesting. Begin april werd het vanggewas met glyfosaat afgedood in de RT- en DD-behandelingen. De CT-behandeling werd midden april gefreesd. In de 2^e helft van april werden de respectievelijke bodembewerkingen uitgevoerd, werd varkensmengmest geïnjecteerd (8 cm diep, 33 t ha⁻¹, 100 kg NH₄-N ha⁻¹) en werd aansluitend opnieuw zomergerst ingezaaid.

De N₂O-emissie werd opgevolgd aan de hand van statische kamers. Algemeen bleef de N₂O-emissie laag tot net na de bemesting in april (Figuur 46). Tijdens de wintermaanden werd een beperkte verhoging waargenomen onder bladrammenas, wellicht door vrijstelling van labiele C en N uit het vorstgevoelige vanggewas. Na het toedienen van de mengmest was er een sterke stijging van de N₂O-emissies voor alle behandelingen.



FIGUUR 46: N₂O-EMISSIONS UIT VELDIES MET (+CC) EN ZONDER (-CC) VANGGEWAS TUSSEN SEPTEMBER 2009 EN MEI 2009. DE BODEMBEWERKINGEN WAREN VERSCHILLEND SINDS 2002 (CT = PLOEGEN, RT = EGGEN, DD = DIRECTE INZAAI). BEPERKT SIGNIFICANTE VERSCHILLEN (0,05 < P < 0,10) ZIJN AANGEDUID MET EEN ASTERISK (PETERSEN ET AL., 2011).

Er werden geen significante verschillen waargenomen tussen de zes behandelingen, hoewel een trend kon worden vastgesteld: het verschil tussen de behandelingen mét en zonder vanggewas werd groter met toenemende intensiteit van de bodembewerking (Figuur 46). Petersen et al. (2011) schrijven dit toe aan de volgende 3 redenen:

1. Hoe dieper het vanggewas wordt ingewerkt, hoe sneller door mineralisatie anaërobie condities kunnen ontstaan.
2. Het contact tussen de mengmest en het vanggewas wordt verbeterd door de bodembewerking, wat opnieuw leidt tot een snelle mineralisatie en tot het ontstaan van zuurstoftekorten.
3. Het bewerken van de bodem vergroot de porositeit van de bodem, waardoor N₂O kan ontsnappen naar de atmosfeer alvorens verder gereduceerd te worden tot N₂.

Een grotere porositeit (punt 3) suggereert een tegenovergesteld effect op de aanmaak van N₂O, aangezien ook O₂ er gebruik van kan maken en anaërobie condities zo minder frequent opduiken. Hierbij is natuurlijk het bodemvochtgehalte van belang en de neerslaggegevens (Petersen et al., 2011) tonen aan dat mei 2009 een behoorlijk natte maand was. Ook de eventuele aanwezigheid van een

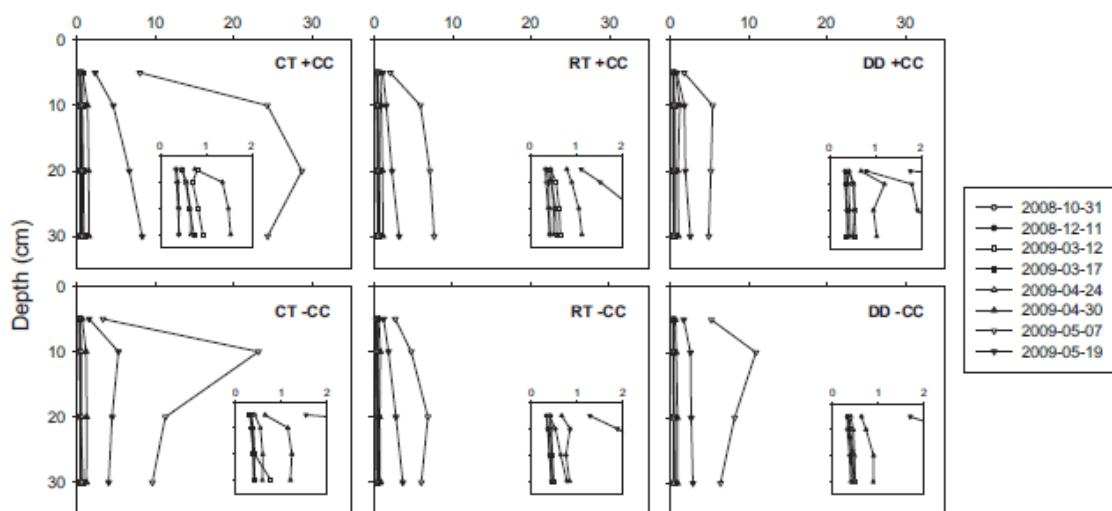
ploegzool kan bij de CT-behandeling van invloed geweest zijn. Onderzoek in het laboratorium (Drury et al., 2003; Lee et al., 2006) staft trouwens dat N₂O-emissies eerder beïnvloed worden door biochemische factoren en door het bodemvochtgehalte dan door verschillen in de bodemstructuur.

Indien de gemeten N₂O-emissies worden geaccumuleerd over de hele periode, wordt duidelijk een grotere productie van N₂O waargenomen wanneer een vanggewas wordt ingezaaid (zie Tabel 37). De toename is meer uitgesproken bij de conventionele bodembewerking. Het lijkt dus interessant om vanggewassen niet-conventioneel in te werken om grotere N₂O-emissies tegen te gaan.

TABEL 37: N₂O-EMISSION TUSSEN 16/09/08 EN 14/05/09, OOK UITGEDRUKT IN CO₂-EQUIVALENTEN (PETERSEN ET AL., 2011).

Treatment	N ₂ O kg ha ⁻¹	CO ₂ eq t ha ⁻¹
CT + CC ²	3.86	1.15
CT - CC	1.57	0.47
DD + CC	2.17	0.65
DD - CC	1.6	0.48
RT + CC	3.03	0.9
RT - CC	1.96	0.58

Petersen et al. (2011) volgden ook de N₂O-concentraties in de bodemlucht op voor verschillende dieptes (zie Figuur 47). De activiteiten in het veld eind april hebben duidelijke een stimulerend effect op de N₂O-concentraties, welke bij de conventionele bodembewerking het hoogste niveau bereiken. De invloed van de bladrammenasresten is daar ook het meest uitgesproken; het ondergeploegde vanggewas veroorzaakt ook op grotere diepte hogere N₂O-concentraties.



FIGUUR 47: GEMIDDELTE N₂O-CONCENTRATIES IN DE BODEMLUCHT OP VERSCHILLENDE DIEPTES EN VOOR DE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN (CT = PLOEGEN, RT = EGGEN, DD = DIRECTE INZAAI; +CC = MET VANGGEWAS, -CC = ZONDER VANGGEWAS) (PETERSEN ET AL., 2011).

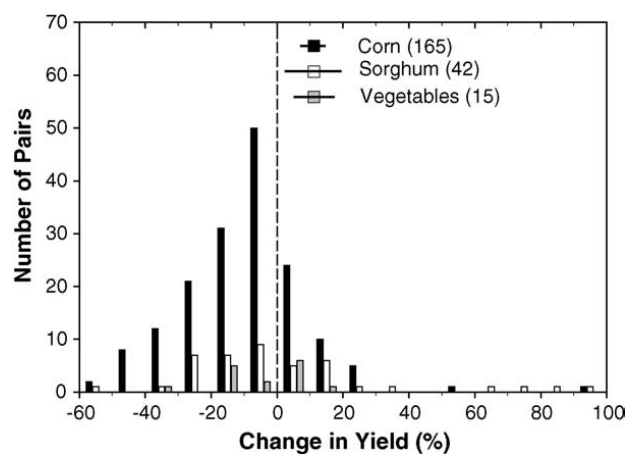
Berekening van de N₂O-flux op basis van de concentratiegradiënt in de bodemlaag van 5 tot 10 cm resulteerde niet in een goede voorspelling van de gemeten N₂O-emissies aan de oppervlakte. De gemeten emissies lagen steeds hoger dan de voorspelling. De verschillen waren vooral groot voor de niet-conventionele bodembewerkingen, wellicht omdat zowel de bladrammenasresten als de mengmest zich daar concentreren in de bovenste bodemlaag en het aandeel van de N₂O-productie in de bovenste 5 cm veel hoger lag dan in de laag van 5 tot 10 cm (Petersen et al., 2011).

De effecten van vanggewassen op de denitrificatie blijken, gebaseerd op bovenstaande onderzoeksresultaten, niet zo eenduidig. Er werden zowel geen als positieve effecten van vanggewassen op de denitrificatiesnelheid aangetoond. De aanwezigheid van vanggewassen in de winter zou wel de omzetting van N_2O tot N_2 bevorderen. Het inwerken van vanggewassen zou dan weer de productie van N_2O verhogen, een effect dat toeneemt bij het toedienen van mengmest in het voorjaar en naarmate de vanggewassen dieper ingewerkt worden.

10 VANGGEWASSEN EN N-FIXATIE IN DE BIOLOGISCHE LANDBOUW

In de biologische landbouw worden geen minerale meststoffen gebruikt en is de gewasgroei meestal gelimiteerd door de stikstofbeschikbaarheid (Lu et al., 1999). Er worden vaker vlinderbloemige vanggewassen gebruikt, aangezien deze een grotere netto N-opbrengst opleveren. In de biologische landbouw mogen geen minerale meststoffen gebruikt worden en dus wordt er deels gerekend op de nalevering van de N die vrijgesteld wordt na het inwerken van het vanggewas.

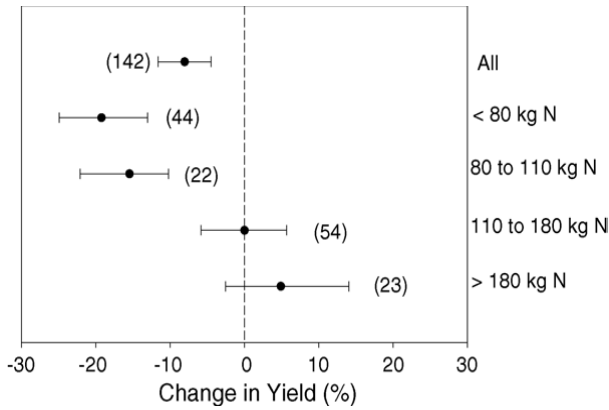
Tonitto et al. (2006) analyseerden resultaten uit 35 Amerikaanse en Europese studies die conventionele systemen (bemesting onder anorganische vorm en geen vanggewas in het najaar) vergeleken met systemen die volledig afhankelijk zijn van de stikstof aangeleverd door N-fixerende vanggewassen (zie ook deel 7). Voor de verschillende studies lag de gemiddelde gewasopbrengst van de hoofdteelt voor dergelijke biologische systemen 10% lager dan voor conventionele systemen (Figuur 48).



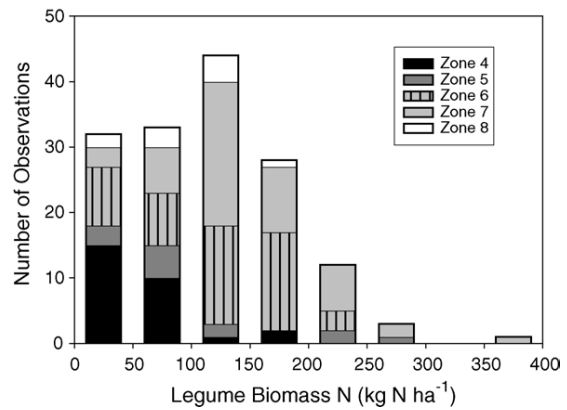
FIGUUR 48: VERDELING VAN DE RELATIEVE OPBRENGSTEN VAN MAÏS, SORGHUM EN GROENTEN BEKOMEN IN EEN SYSTEEM VOLLEDIG AFHANKELIJK VAN N-FIXERENDE VANGGEWASSEN T.O.V. DE OPBRENGSTEN BEKOMEN IN EEN CONVENTIONEEL SYSTEEM. HET 95% BETROUWBAARHEIDINTERVAL EN HET AANTAL VERGELEKEN PAREN PER HOOFDTEELT ZIJN IN DE LEGENDE WEERGEGEVEN.

Door de studies te sorteren op N-input uit het vanggewas, kon aangetoond worden dat er geen significante verschillen waren voor de gewasopbrengsten voor een N-input tussen 110 kg N ha^{-1} en 180 kg N ha^{-1} (zie Figuur 49). 54% van alle waarnemingen toonde voor de N-fixerende vanggewassen een N-opbrengst van meer dan 110 kg N ha^{-1} . De waarnemingen met lagere N-opbrengsten waren meer vertegenwoordigd in de klimaatzones met extreme winters (zie Figuur 50).

Vlinderbloemigen zouden in het najaar echter minder N_{\min} uit de bodem opnemen aangezien een deel van de nodige N aangeleverd wordt door symbiotische N-fixerende bacteriën. Bovendien is het risico op uitspoeling in de biologische landbouw niet kleiner dan in de gangbare landbouw. In een veldproef in Denemarken (Sapkota et al., 2012) was de N-uitspoeling groter voor de biologische teeltwijze dan voor de conventionele. De bemesting op de zomergerst was ofwel 130 kg N ha^{-1} onder de vorm van kunstmest, ofwel tussen de 56 en 65 kg N ha^{-1} onder de vorm van varkensmest. De mineralisatie van N uit de organische mest in het najaar leidt wellicht tot de hogere N-uitspoeling. Het is dus belangrijk na te gaan of ook vlinderbloemige vanggewassen voldoende N_{\min} kunnen opnemen om dit effect tegen te gaan.

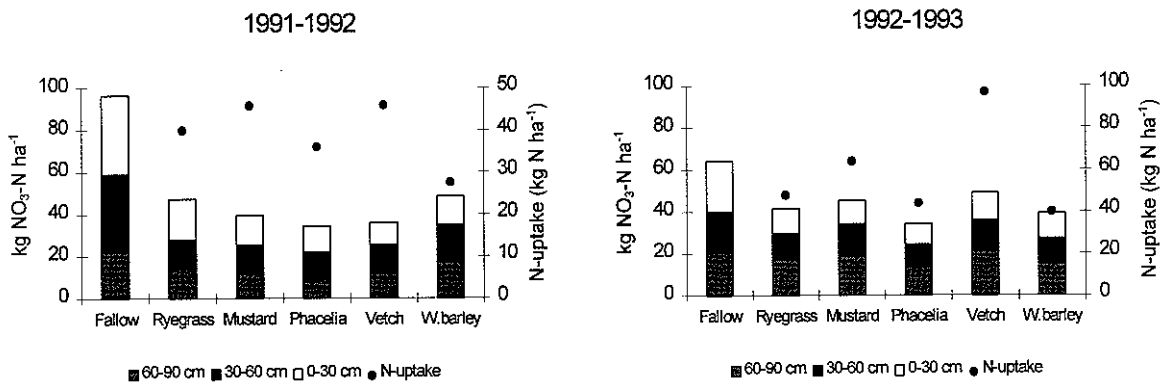


FIGUUR 49: RELATIEVE OPBRENGSTEN VAN DE HOOFDTEELT BEMEST MET N-FIXERENDE VANGGEWASSEN T.O.V. DE OPBRENGSTEN BEKOMEN IN EEN CONVENTIONEEL SYSTEEM. HET GEMIDDELDE, HET 95% BETROUWBAARHEIDINTERVAL EN HET AANTAL VERGELEKEN PAREN ZIJN WEERGEGEVEN PER INTERVAL VOOR DE N-OPBRENGST VAN DE N-FIXERENDE VANGGEWASSEN.



FIGUUR 50: VERDELING VAN DE WAARNEMINGEN OVER DE N-OPBRENGST VAN DE N-FIXERENDE VANGGEWASSEN, INGEDEELD IN INTERVALLEN VAN 50 KG N HA⁻¹. DE WAARNEMINGEN ZIJN TEVEN OPGEDEELD IN DE USDA WINTERKLIMAATZONES (HOE KLEINER HET CIJFER, HOE STRENGER DE WINTER. VLAANDEREN LIGT IN ZONE 8).

Onderzoek van Vandendriessche et al. (1996) over 2 proefjaren toont een uitgesproken effect van vanggewassen op het N_{min}-gehalte in de bodem in het najaar (Figuur 51). Bij een hogere N-beschikbaarheid in het 1^e proefjaar wordt voor alle vanggewassen met uitzondering van wintergerst een gelijkaardig nitraat-N-residu in de bodem en een gelijkaardige opname vastgesteld. Bij een lagere N-beschikbaarheid in de bodem in het 2^e proefjaar was vooral de opname door wikke opvallend groter dan die van de andere vanggewassen, terwijl het N_{min}-gehalte in de bodem onder wikke vergelijkbaar tot slechts iets hoger is dan onder de andere vanggewassen. Er is dus duidelijk een effect van de symbiose tussen wikke en de N-fixerende bacteriën. Bovendien is wikke dus zeker in staat het N_{min}-gehalte in de bodem in het najaar terug te dringen tot op een niveau vergelijkbaar aan dat voor de andere vanggewassen.



FIGUUR 51: NITRAAT-N-RESIDU (KG NO₃-N HA⁻¹) IN HET BODEMPROFIEL OP 23/10/1991 EN 04/11/1992 VOOR HET PLOEGEN EN DE STIKSTOFOPNAME (KG N HA⁻¹) DOOR DE VANGGEWASSEN (VANDENDRIESSCHE ET AL., 1996).

11 REFERENTIES

- Abawi, G.S. & Widmer, T.L., 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology* 15, 37-47.
- Aoyama, M., Angers, D.A., N'Dayegamiye, A. & Bissonnette, N., 2000. Metabolism of ¹³C-labeled glucose in aggregates from soils with manure application. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 295-300.
- Anoniem, 2011. Gids demoveldbezoeken najaar 2011 'Groenbedekkers, een brongerichte maatregel' Landbouw & Visserij en Inagro. http://www.inagro.be/Publicaties/Documents/BrochureGroenbedekkers_2011.pdf
- Berntsen, J., Olesen, J.E., Petersen, B.M. & Hansen, E.M., 2006. Long-term fate nitrogen uptake in catch crops. *Eur. J. Agr.* 25, 383-390.
- Blanco-Canqui, H. & Lal, R., 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Crit Rev Plant Sci* 28, 139-163.
- Bodemkundige Dienst van België vzw, Afdeling Land- en tuinbouw., 2003. Nitraatresidumetingen voor de beheerovereenkomsten water: mogelijkheden en uitdagingen. Niet gepubliceerd artikel BDB.
- Bodemkundige Dienst van België vzw (BDB) en Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne, 2006. Analyse van Nitraatstikstofresidumetingen in de tuinbouw – Eindrapport. Vlaamse Landmaatschappij Afdeling Mestbank, Brussel. 177 p.
- Bonthuis, H., Donner, D.A., & van Vliegen, A., 2007. 82e Rassenlijst voor Landbouwgewassen 2007. Geraadpleegd op: <http://edepot.wur.nl/282844>
- Brust, J., Gerhards R., Karanisa, T., Ruff, L. & Kipp, A., 2011. Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanzen* 63, 191-198.
- Cavigelli, M.A. & Robertson, G.P., 2000. The functional significance of denitrifier community composition in a terrestrial ecosystem. *Ecology* 81, 1402-1414.
- Cavigelli, M.A. & Robertson, G.P., 2001. Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry* 33, 297-310.
- Chen, G. & Weil, R., 2010. Penetration of cover-crop roots through compacted soils. *Plant Soil* 331, 31-43.
- Cheng, W., Zhang, Q., Coleman, D.C., Carroll, C.R. & Hoffman, C.A., 1996. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere? *Soil Biology & Biochemistry* 28, 1283-1288.
- Cheng, W., Johnson, D.W. & Fu, S., 2003. Rhizosphere effects on decomposition: controls of plant species, phenology and fertilization. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1418-1427.
- Clement, J.C., Pinay, G. & Marmonier, P., 2002. Seasonal dynamics of denitrification along topohydrosequences in three different riparian wetlands. *J. Environ. Qual* 31, 1025-1037.
- Ciarlo, E., Conti, M., Bartolini, N. & Rubio, G., 2007. The effect of moisture on nitrous oxide emissions from soil and the N₂O/(N₂O+N₂) ratio under laboratory conditions. *Biol. Fertil. Soils* 43, 675-681.

- Constantin, J., Mary, B., Laurent, F., Aubrion, G., Fontaine, A., Kerveillant, P. & Beaudoin, N., 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 268-278.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Laurent, F., Cohan, J.P., Duyme, F. & Mary, B., 2011. Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. *Plant Soil* 341, 137-154.
- Cosandey, A.C., Maitre, V. & Guenat, C., 2003. Temporal denitrification patterns in different horizons of two riparian soils. *European Journal of Soil Science* 54, 25-37.
- Darwinkel, A., 1997. Teelthandleiding wintertarwe. PPO-agv, via Kennisakker.nl.
- Debussche, B., 2010. Presentatie: Groenbedekking: teelttechnische en financiële aspecten. http://www.prosensols.eu/nl/agenda/presentatie_bart.pdf
- De Neve, S., 2000. Modelling and non-destructive real-time monitoring of nitrogen mineralization from vegetable crop residues and from soil organic matter. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 181 p.
- De Neve, S., Pannier, J. & Hofman, G., 1996. Temperature effects on C- and N-mineralization from vegetable crop residues. *Plant and Soil* 181, 25-30.
- Destain, J.P., Reuter, V. & Goffart, J.P., 2010. Les cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) et engrais verts: protection de l'environnement et intérêt agronomique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(S1), 73-78.
- De Toffoli, M., Bontemps, P.-Y., Lambert, R., 2010. Synthèse de résultats d'essais de cultures intermédiaires pièges à nitrate à l'Université catholique de Louvain. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(S1), 79-89.
- Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Workneh, F., Van Bruggen, A.H.C. & Shennan C., 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5, 1098-1112.
- Drinkwater, L.E. & Snapp, S.S., 2007. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Advances in Agronomy* 92.
- Drury, C.F., Zhang, T.Q. & Kay, B.D., 2003. The non-limiting and least limiting water ranges for soil nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1388-1404.
- Fliessbach, A., Mader, P. & Niggli, U., 2000. Mineralization and microbial assimilation of ¹⁴C--labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1131-1139.
- Formesyn, M., 1994. Modelling van de C- en N-mineralisatie uit oogstresidu's van groenten. Afstudeerwerk, Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, 135 p.
- Geypens M. & Honnay J.P., 1995. Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem. IWONL, Brussel, 168 p.
- Goffart, J.P., Destain, J.P., Ninane, V. & Meeus-Verdinne, K., 1997. Gérer l'interculture pour vise rune meilleure maîtrise de l'azote. Applications aux cultures intermédiaires. In: *Beheersing van*

mineralenstromen in de ruwvoederwinning. Studie- en vervolmakingsdag, K.VIV.-Technologisch Instituut, Meise, 1997.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. & Svendsen, H., 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fertilizer Research* 27, 245-259.

Harris, G.H., Hesterman, O.B., Paul E.A., Peters, S.E. & Janke, R.R., 1994. Fate of legume and fertilizer N-15 in a long-term cropping systems experiment. *Agronomy Journal* 86, 910-915.

Hendrickx G., Boon W., Bries J., Kempeneers L., Vandendriessche H., Deckers S. & Geypens M., 1992. De chemische bodemvruchtbaarheid van het Vlaamse akkerbouw- en weilandareaal (1989-1991). Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 143 p.

Herelixka E., Vogels N., Vanongeval L., Geypens M., Oorts K., Rombauts S., Sammels L., Verstraeten W.W., El-Sadek A., Feyen, J., Coppens F., Merckx R., D'Haene K., Moreels E., De Neve S., Salomez J., Boeckx P., Hofman G., Van Cleemput O., Librecht I., Wellens, J. & Van Orshoven J., 2002. Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument. Eindrapport deel 2. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 247 p.

Hermans, I., Elsen, A. & Bries, J., 2010. Groenbemesters en nitraatresidu. BDB, Heverlee, 41 p.

Hill, A.R., Vidon, P.G.F. & Langat, J., 2004. Denitrification potential in relation to five headwater riparian zones. *J. Environ. Qual.* 33, 911-919.

Hoek, H., 2011. Aaltjes en groenbemesters. <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/aaltjes-en-groenbemesters>

Jahangir, M.M.R., Khalil, M.I., Johnston, P., Cardenas, L.M., Hatch, D.J., Butler, M., Barrett, M., O'flaherty, V. & Richards, K.G., 2012. Denitrification potential in subsoils: a mechanism to reduce nitrate leaching to groundwater. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 13-23.

Justes, E., Mary, B. & Nicolardot, B., 2009. Quantifying and modeling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in the soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non-mature residues. *Plant and Soil* 325, 171-185.

Khalil, M.I. & Baggs, E.M., 2005. Soil water-filled pore space affects the interaction between CH₄ oxidation, nitrification and N₂O emissions. *Soil Biology & Chemistry* 37, 1785-1794.

Knobeloch, L., Salna, B., Hogan, A., Postle, J. & Anderson, H., 2000. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environmental Health Perspectives* 108, 7.

Koch, B., Worm, J., Jensen, L.E., Højberg, O. & Nybroe, O., 2001. Carbon limitation induces $\sigma(s)$ -dependent gene expression in *Pseudomonas fluorescens* in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 3363-3370.

Korsaeth, A., Henriksen, T.M. & Bakken, L.R., 2002. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and N losses. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 789-799.

Kramer, A.W., Doane, T.A., Horwath, W.R. & van Kessel, C., 2002. Short-term nitrogen-15 recovery vs. long-term total soil N gains in conventional and alternative cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 43-50.

- Kuhlmann, H., Barraclough, P.B. & Weir, A.H., 1989. Utilization of mineral nitrogen in the subsoil by winter wheat. *Zeitung Fur Pflanzenernahrung Bodenkunde* 152, 291-295.
- Kustermann, B., Christen, O. & Hulsgergen, K., 2010. Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 70-80.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- Lee, J., Six, J., King, A.P., Van Kessel, C. & Rolston, D.E., 2006. Tillage and field scale controls on greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 35, 714-725.
- Leeuwen-Haagsma, W. van en Schröder, J.J., 2002. Groenbemesters en rustgewassen: noodzakelijke bouwstenen voor een optimale vruchtwisseling. *Biologisch bedrijf onder de loep: biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt in perspectief / Wijnands, F.G., J.J. Schröder & R. Booij (eds). Lelystad : PPO, 2002. - PPO-rapport 303, 175-190.*
- Lu, Y.C., Watkins, B. & Teasdale, J. (1999). Economic analysis of sustainable agricultural cropping systems for mid-Atlantic states. *Journal of Sustainable Agriculture* 15, 77-93.
- 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, 198 p.*
- Marschner, H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants. Academic Press 889, Londen, VK.*
- Marschner, H. & Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *International Symposium on Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry. Perth, Australië, 1992.*
- Mary, B., Laurent, F. & Beaudoin, N., 2002. Sustainable management of nitrogen fertilization. In: *Proceedings of the 65th IIRB Congress, 59-65, Brussel.*
- Misra, R.K., 1997. Maximum axial growth pressures of the lateral roots of pea and eucalypt. *Plant Soil* 188, 161-170.
- Mørkved, P.T., Dörsch, P., Henriksen, T.M. & Bakken, L.R., 2006. N₂O emissions and product ratios of nitrification and denitrification as affected by freezing and thawing. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 3411-3420.
- Mutegi, J.K., Petersen, B.M., Munkholm, L.J. & Hansen, E.M., 2011. Belowground carbon input and translocation potential of fodder radish cover-crop. *Plant Soil* 344, 159-175.
- Nett, L., Feller, C., George, E. & Fink, M., 2011. Effect of winter catch crops on nitrogen surplus in intensive vegetable crop rotations. *Nutr Cycl Agroecosyst* 91, 327-337.
- Ninane, V. et al., 1995. Les engrais verts. In: Geypens, M. & Honnay, J., (eds). *Matières organiques dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales, IRSIA, Brussel.*
- Nutrinorm, 2012. De stikstofbemesting van wintertarwe. <http://www.nutrinorm.nl/Kennisbank/Bemestingsadviezen/Bemestingsadviezen-bouwland/De-stikstofbemesting-van-wintertarwe.aspx>.
- Odeurs, W. & Bries, J., 2012. Stikstofmineralisatie in de maïsteelt. Niet gepubliceerd artikel in kader van onderzoek in opdracht van LCV "Stikstofmineralisatie op maïspcelen".

- Petersen, S.O., Mutegei, J.K., Hansen E.M., Munkholm, L.J. et al., 2011. Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 1509-1517.
- Premrov, A., Coxon, C.E., Hackett, R., Brennan, D., Sills, P. & Richards, K.G., 2009. Over-winter green cover in a spring barley system: role in exporting dissolved organic carbon to shallow groundwater and implications for denitrification. In: Grignani, C., Acutis, M., Zavattaro, L., Bechini, L., Bertora, C., Marino Gallina, P. & Sacco, D. (eds). *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop: Connecting different scales of nitrogen use in agriculture*. Turijn, Italië, pp. 11-12.
- Rasse, D., Rumpel, C. & Dignac, M.F., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil* 269, 341-356.
- Rosolem, C.A., Calonego, J.C. & Foloni, J.S.S., 2005. Leaching of nitrate and ammonium from cover crop straws as affected by rainfall. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36, 819-831.
- Saffih-Hdadi, K. & Mary, B., 2008. Modelling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 594-607.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W., 1992. *Plant Physiology*, 4^e druk, Wadsworth Publishing Company, Belmont, USA.
- Sapkota, T.B., Askegaard, M., Laegdsmand, M. & Olesen, J.E., 2012. Effects of catch crop type and root depth on nitrogen leaching and yield of spring barley. *Field Crops Research* 125, 129-138.
- Scholefield, D., Hawkins, J.M.B. & Jackson, S.M., 1997. Use of flowing helium atmosphere incubation technique to measure the effects of denitrification controls applied to intact cores of a clay soil. *Soil Biology & Biochemistry* 29, 1337-1344.
- Silver, W.L., Herman, D.J. & Firestone, M.K., 2001. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium in upland tropical forest soils. *Ecology* 82, 2410-2416.
- Smith, M.S. & Tiedje, J.M., 1979. The effect of roots on soil denitrification. *Soil Science Society of America Journal* 43, 951-955.
- Stavridou, E., Nielsen, O. & Kristensen, H.L., 2012. Effects of catch crop and tillage systems on nitrogen management in sugar beet production. In: Richards, K.G., Fenton, O. & Watson, C.J. (eds). *Proceedings of the 17th Nitrogen Workshop - Innovations for sustainable use of nitrogen resources*. 26th-29th June 2012, Wexford, Ireland, pp. 86-87.
- Taiz, L. & Zeiger, E., 1991. *Plant physiology*, 3^e druk, Sinauer Associates, Sunderland, VK.
- Thomsen, I.K. & Christensen, B.T., 2004. Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops. *Soil Use Management* 20, 432-438.
- Thorup-Kristensen, K., 1994. An easy pot incubation method for measuring nitrogen mineralization from easily decomposable organic material under well-defined conditions. *Fert. Res.* 38, 239-247.
- Thorup-Kristensen, K., 1998. Root development of green pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *Crop Science* 38, 1445-1451.
- Thorup-Kristensen, K., 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant and Soil* 230, 185-195.

- Thorup-Kristensen, K., Cortasa, M.S. & 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.
- 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. & Nielsen, N.E., 1998. Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nitrogen supply for succeeding crops. *Plant and Soil* 203, 79-89.
- Timmer R.D., Korthals G.W. & Molendijk L.P.G., 2004. Teelthandleiding groenbemesters. PPO-agv, via Kennisakker.nl.
- Tirez, K., 2007. Code van goede praktijk bodembescherming. VITO, Studie uitgevoerd in opdracht van de afdeling Land- en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen. Geraadpleegd op: https://esites.vito.be/sites/reflabos/2007/Online%20documenten/code_van_goede_praktijk_versie_mei_2007.pdf
- Tits M., Van Overtveld K., Van De Vreken P., Vandervelpen D., Peetres L., Batelaan O., Van Orshoven J., Vanderborgh J., Elsen A., Bries J., Vandendriessche H., Kuhr P., Wendland F. & Diels J., 2010. Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresiduenorm. Eindrapport fase 1. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (K.U.Leuven), de Bodemkundige Dienst van België en het Agrosphere Institute, Forschungszentrum Jülich. 157 p.
- Tonitto, C., David, M.B. & Drinkwater, L.E., 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 58-72.
- Ulén, B., Von Brömssen, C., Johansson, G., Torstensson, G. & Forsberg, L.S., 2012. Trends in nutrient concentrations in drainage water from single fields under ordinary cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 151, 61-69.
- Van Dam, A.M., 2006. Understanding the reduction of nitrogen leaching by catch crops. Wageningen, Nederland, 171 p.
- Vandendriessche H., Vanongeval L., Smeets E. & Geypens M., 1996. Monitoring of N-uptake by green manures and of the influence of N-release on N-availability, production and quality of sugar beet. *Progress in Nitrogen Cycling Studies*, 147-151.
- Van Schöll, L., Van Dam, A.M. & Leffelaar, P.A., 1997. Mineralisation of nitrogen from an incorporated catch crop at low temperatures: experiment and simulation. *Plant and Soil* 188, 211-219.
- Van Waes J., Chaves B., Marynissen B., De Vlieghe A. & Carlier L., 2007. Belgische beschrijvende en aanbevelende rassenlijst voor voedergewassen en groenbedekkers 2007. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek, Merelbeke, 112 p.
- Velthof GL., Van Erp PJ. & Steevens J.C.A., 1998. Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadviesing. *Meststoffen 1997/1998*, 20-28.
- Ver Elst P., 2001. Groenbemesters als stikstofvangplant na granen en stikstofleverancier voor de volgteelt. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2000, 82-85.

- Ver Elst P., 2006. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2005, 98-106.
- Ver Elst, P., 2007. Beheersen van nitraatresidu: wat kan op dit ogenblik nog gebeuren?. Landbouw&Techniek. Jaargang 12 / 14, 9-12.
- Ver Elst P. & Bries J., 2002. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2001 , 93-98.
- Ver Elst P., Vanongeval L. & Bries J., 1999. Praktijkgids bemesting suikerbieten. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, 62 p.
- Ver Elst P. & Vogels N., 2003. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2002, 98-104.
- Ver Elst P. & Vogels N., 2004. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2003, 97-104.
- Ver Elst P. & Vogels N., 2005. Opvolging nitraatresidu na granen. In: Landbouwcentrum Granen Vlaanderen - Granen Oogst 2004, 103-110.
- Vigil, M.F. & Kissel, D.E., 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. Soil Science Society of America Journal 55, 757-761.
- VLM, 2014. Nitraatresidurapport 2014. VLM, Brussel. 77 p. Geraadpleegd op: http://www.vlm.be/SiteCollectionDocuments/Mestbank/Studies/Nitraatresidurapport_2014.pdf
- 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. & 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.
- Vos, J. & van der Putten, P.E.L., 2001. Field observations on nitrogen catch crops. III. Transfer of nitrogen to the succeeding main crop. Plant and Soil 236, 263-273.
- Vos, J., van der Putten, P.E.L., Hussein, M.H., van Dam, A.M. & Leffelaar, P.A., 1998. Field observations on nitrogen catch crops. II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply. Plant and Soil 201, 149-155.
- Ward, M.H., deKok, T.M., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B.T. & VanDerslice, J., 2005. Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health - Recent Findings and Research Needs. Environmental Health Perspectives 113, 11, 1607-1614.
- Zanatta, J.A., Bayer, C., Dieckow, J., Vieira, F.C.B. & Mielniczuk, J., 2007. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. Soil Till. Res. 94, 510-519.

12 BIJLAGE 1: VLAAMSE REFERENTIEPROJECTEN

ADLO-PROJECT “BEHEERSING VAN HET NITRAATRESIDU IN DE AKKERBOUW: EEN PERMANENTE UITDAGING”

- 1/03/2008-28/02/2010
- Financiering door Europese Unie en het Departement Landbouw en Visserij van de Vlaamse Overheid.
- In 3 akkerbouwregio's in Vlaanderen werden gedurende de 2 groeiseizoenen (2008 en 2009) telkens 3 uitgebreide proefvelden aangelegd en opgevolgd. In deze proefvelden werd ingespeeld op de nieuwste ontwikkelingen op vlak van groenbemesting: keuze van soorten en variëteiten, tijdstip en methode van inzaai, voorafgaandelijke grondbewerking en dit al dan niet in combinatie met een (drijf)mesttoediening. Concreet werden de volgende combinaties aangelegd:
 - Grondbewerking: ploegen of inzaai na stoppelbewerking
 - Soorten vanggewas: gras, mosterd, bladrammenas, facelia, Japanse haver
 - Zaitijdstip: vroeg, laat
 - Mesttoediening: mestinjectie, geen mestinjectie

Dit resulteerde in 20 behandelingen die in 3 herhalingen werden aangelegd. De proefvelden waren gelegen in Lierde, Leefdaal, Tongeren (2 jaren), Linter en Zwalm. Op deze velden werden drogestofopbrengst, N-opname en nitraat-N-residu opgemeten in functie van de diverse behandelingen.

Een ganse reeks van voorlichtings- en sensibiliseringsacties (bezoekdagen, artikels en wintervergaderingen) werd gerealiseerd om de telers te informeren en te sensibiliseren over de optimale inzet van vanggewassen als sluitstuk van een rationele en efficiënte beheersing van het nitraat-N-residu.

DEMONSTRATIEPROJECT “BEPERKEN VAN NITRAATRESIDU IN DE VOLLEGRONDSGROENTETEELT VIA BEREDENEERDE N-BODEMBALANS”

- 2007 & 2008
- In dit project werd de vollegrondsgroenteteler gesensibiliseerd voor een meer beredeneerde aanpak van de N-bemesting en het gebruik van aangepaste bemestingsmethoden via het berekenen van de N-bodembalans op perceelsniveau en hierdoor een substantiële verlaging te bekomen van het nitraat-N-residu in het najaar. Geografisch verspreid over de drie belangrijkste productieregio's van vollegrondsgroenten werden in 2007 en 2008 in totaal zeventien demonstratievelden aangelegd op zeven voorbeeldbedrijven. Zeven van de demonstratievelden werden 2 jaar na elkaar opgevolgd. In dit project werd ook het gebruik van vanggewassen om het nitraat-N-residu in het najaar te beperken gedemonstreerd.

N-(ECO)²-STUDIE

- 1/07/2000 – 30/09/2002
- Promotor: Bodemkundige Dienst van België. In samenwerking met de KULeuven (Instituut voor Land- en Waterbeheer en Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en –biologie en SADL) en de RUGent (Bodemkunde en fertiliteit).
- In opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij
- In dit project werd de relatie gelegd tussen het nitraatgehalte in het oppervlaktewater en het nitraat-N-residu na de oogst. Tevens werd onderzoek gedaan naar de factoren die een invloed hebben op het nitraat-N-residu in het najaar. Tijdens dit project zijn een ganse reeks relevante wetenschappelijke

gegevens verzameld om de bodembalans op perceelsniveau te kunnen opstellen. Ook het effect van vanggewassen werd hierbij bestudeerd.

“BEPALEN VAN PROCESFACTOREN VOOR OPPERVLAKTEWATER EN GRONDWATER TER EVALUATIE VAN DE NITRAATSTIKSTOFRESIDU-NORM”

- 2008-2011
- Uitvoering door KULeuven (Departement Aard- en Omgevingswetenschappen), Bodemkundige Dienst van België en Forschungszentrum Jülich.
- In opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij
- In het kader van dit project werd o.a. het effect van de aanwezigheid van vanggewassen op het nitraat-N-residu bestudeerd op basis van de volledige dataset van nitraat-N-residumetingen in Vlaanderen van 2001 t/m 2008. Daarnaast werd, op basis van de databank van de Bodemkundige Dienst van België, een studie gemaakt van het effect van het gebruik van vanggewassen op de verdeling van de nitraatstikstof in het bodemprofiel in het voorjaar bij suikerbieten (Tits *et al.*, 2011; Van Overtveld *et al.*, 2011).

“ANALYSE VAN NITRAATSTIKSTOFRESIDUMETINGEN IN DE TUINBOUW”

- 12/2006-12/2007
- Uitvoering door Bodemkundige Dienst van België in samenwerking met Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne
- In opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij
- De studieopdracht bestond er uit een uitgebreide analyse te maken van de nitraatstikstofresidumetingen van het najaar 2006 op percelen voor vollegrondsgroenten. De metingen werden gecorreleerd met de bemestings-, teeltechnische en andere gegevens. Daarnaast werden in een tweede deel in een deskstudie de beïnvloedende factoren voor de nitraat-N-residu's vanuit wetenschappelijk standpunt kwalitatief en kwantitatief opgelijst. Vanggewassen werden in het kader van deze studie uitvoerig bestudeerd als één van de beïnvloedende factoren/teeltechnische maatregelen.

“N-MONITORING IN RELATIE TOT DE MINERALISATIE VAN DIVERSE GROENBEMESTERS”

- 1991-1992 en 1992-1993
- Financiering door IWONL (Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw)
- Om de N-dynamiek te bestuderen in een teeltsysteem met vanggewassen werd op 2 proefvelden een monitoringprogramma opgezet om de N-opname en N-naleveringscapaciteit van *verschillende* types vanggewassen te evalueren (Vandendriessche *et al.*, 1996). De vanggewassen werden ingezaaid na de wintertarweoogst. Na de winter werden, na het inploegen van de vanggewassen, suikerbieten gezaaid. De resultaten toonden duidelijk aan dat indien een groenbemester als N-vanggewas gebruikt wordt, het van groot belang is om té vroege mineralisatie van de groenbemester te vermijden door het toepassen van teeltechnische maatregelen. Keuze van de groenbemester en tijdstip van inploegen zijn hierbij zeer belangrijk.

“LANDBOUWKUNDIGE EN MILIEUGERICHTE FUNCTIES VAN DE ORGANISCHE STOF IN DE BODEM”

- 1989-1995
- Uitvoering door het Comité voor Onderzoek van de Organische Stof in de Bodem, waartoe de Bodemkundige Dienst van België behoorde.
- Financiering door het IWONL (Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw)
- Dit onderzoek had als doelstelling de organische-stoftoestand van de bodems in België te karakteriseren en om, voor enkele representatieve situaties, de betekenis en de invloed te meten van de verschillende organische stoffen op de bodemvruchtbaarheid, de kinetiek van de afbraak van deze stoffen na te gaan en de uitspoelingsverliezen van voedingselementen, meer bepaald van stikstof, te bepalen. De werkzaamheden werden onderverdeeld in 5 secties (Geypens en Honnay, 1995). In de derde sectie werden de inbreng van organisch materiaal en de gevolgen op landbouwkundig en milieukundig vlak bestudeerd. In deze derde sectie werd ook uitvoerig de impact van vanggewassen bestudeerd: biomassaproductie en N-opname door vanggewassen, afbraak van ingewerkte vanggewassen, impact op de volgteelt en impact op de milieudoelstellingen.

13 BIJLAGE 2: FICHES VAN DE MEEST VOORKOMENDE VANGGEWASSEN

GELE MOSTERD (*SINAPIS ALBA*)



- Familie: kruisbloemigen
- Zaaitijdstip: tot begin-half september
- Zaaidiepte: 2 cm
- Zaaidichtheid: 10-20 (25) kg ha⁻¹
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: snelle bedekking
- Groei: snelle bovengrondse ontwikkeling, structuurgevoelig
- Wortels: niet verdikte penwortel
- Vorstgevoeligheid: sterk vorstgevoelig
- EOS: 850 kg ha⁻¹
- Aaltjes:
 - Bietencystenaaltje: bij vroege zaai reductie, bij zaai na 1 augustus is bestrijding echter beperkt.
 - Andere aaltjes matige tot sterke toename.
- Niet in rotatie met kolen omwille van sterke vatbaarheid voor knolvoet

BLADRAMMENAS (*RAPHANUS SATIVUS*)



Bron: BDB

- Familie: kruisbloemigen
- Zaaitijdstip: tot eind augustus
- Zaaidiepte: 2 cm
- Zaaidichtheid: 12-20 kg ha⁻¹
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: snelle bedekking
- Groei: snelle bovengrondse groei, trager dan gele mosterd
- Wortels: diepe penwortel
- Vorstgevoeligheid: vorstgevoelig, iets minder dan gele mosterd
- EOS: 850 kg ha⁻¹
- Aaltjes:
 - o Bietencystenaaltje: bij vroege zaai (zaai vóór 1 augustus) reductie
 - o *Meloidogyne chitwoodi*: neutraal
 - o Andere aaltjes matige tot sterke toename
- Hergroei na maaien

FACELIA (*PHACELIA TANACETIFOLIA*)



- Familie: bosliefjesfamilie
- Zaaitijdstip: tot half augustus
- Zaaidiepte: 1 cm, ondiep maar goed bedekt
- Zaaidichtheid: 8-12 kg ha⁻¹
- Opkomst: vlotte kieming
- Bodembedekking: tragere beginontwikkeling, waarna goede bedekking
- Groei: tot vierde bladstadium langzame groei, daarna zeer snelle ontwikkeling; gevoelig voor structuur- en waterproblemen
- Wortels: intensieve doorworteling bovenste laag
- Vorstgevoeligheid: zeer vorstgevoelig
- EOS: 850 kg ha⁻¹
- Aaltjes:
 - o *Pratylenchus penetrans*: sterke toename
- Veel gebruikt in rotaties met groenten. Geliefd bij bijenhouders omwille van grote nectarproductie.

ITALIAANS RAAIGRAS (*LOLIUM MULTIFLORUM*)



- Familie: grassen
- Zaaitydstip: tot oktober
- Zaaidiepte: (1)-2 cm
- Zaaidichtheid: 25-40 (50) kg ha⁻¹
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: tragere bedekking in het begin, daarna blijvende bedekking
- Groei: minder snelle bovengrondse groei, voornamelijk ontwikkeling wortelgestel
- Wortels: goede doorworteling bouwvoor, oppervlakkig
- Vorstgevoeligheid: niet vorstgevoelig, vaak chemisch afdoden met herbicide
- EOS: 700-1200 kg ha⁻¹
- Aaltjes: matige tot sterke toename van meeste aaltjes
- Gevaar voor optreden van kroonroest

SNIJROGGE (*SECALE CEREALE*)



- Familie: grassen
- Zaaitydstip: tot eind oktober (veel toegepast voor later geogste gewassen)
- Zaaidiepte: 2-3 cm
- Zaaidichtheid: 75-125 kg ha⁻¹
- Opkomst: snelle opkomst
- Bodembedekking: snelle bedekking
- Groei: snelle bovengrondse en ondergrondse groei
- Wortels: zeer goede doorworteling van de bouwvoor met vezelige wortels
- Vorstgevoeligheid: niet vorstgevoelig
- EOS: 850 kg ha⁻¹
- Aaltjes: matige tot sterke toename van de meeste aaltjes
- Mogelijk opbouw hoge dichtheden slakken
- Bij maaien in voorjaar kan maaisel eventueel dienen als groenvoeder

JAPANSE HAVER (*AVENA STRIGOSA*)



- Familie: grassen
- Zaaitijdstip: tot in oktober
- Zaaidiepte: 2 (3) cm
- Zaaidichtheid: 50-80 kg ha⁻¹ (bodembedekker-aaltjesbestrijding)
- Opkomst: snelle opkomst, ook bij droogte
- Bodembedekking: snelle bedekking, sterk onkruidonderdrukkend
- Groei: snelle en massale bovengrondse groei,
- Wortels: goede doorworteling van de bodem, oppervlakkig
- Vorstgevoeligheid: matig vorstgevoelig
- EOS: 1500 kg ha⁻¹
- Aaltjes: onderdrukkende werking voor *Pratylenchus penetrans*, alternatief voor *Tagetes*

WIKKE (*VICIA SATIVA*)



- Familie: vlinderbloemigen
- Zaaitijdstip: tot eind augustus
- Zaaidiepte: 2-5 cm
- Zaaidichtheid: 100-125 kg ha⁻¹
- Opkomst: snelle opkomst bij voldoende vochtig zaaibed
- Bodembedekking: goed maar kan soms even duren
- Groei: tamelijk snelle bovengrondse groei
- Wortels: goede doorworteling, penwortel met goed ontwikkelde zijwortels
- Vorstgevoeligheid: sterk vorstgevoelig
- EOS: 600-800 kg ha⁻¹
- Aaltjes:
 - o *Pratylenchus penetrans*: sterke-extreme vermeerdering
 - o *Meloidogyne chitwoodi*: geen waardplant
 - o Erwtencystenaaltje: waardplant
- Voederwikke kan gemaaid en als voeder gebruikt worden