

Inwerktijdstip van winterharde vanggewassen

Deskstudie

Willem van Geel (PPO), Herman van Schooten (Livestock Research)
en John Verhoeven (PPO)

© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projectnummer: 32 501725 10

Uitgevoerd in opdracht en met financiering van:



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

Akkerbouw, groene ruimte en vollegrondsgroenten

Adres : Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad

: Postbus 430, 8200 AK Lelystad

Tel. : 0320 - 29 12 11

Fax : 0317 - 23 04 79

E-mail : info.ppoagv@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
1.1 Kennisbehoefte/kennisvraag.....	7
1.2 Doel en afbakening	7
2 EFFECT INWERKTIJDSTIP OP BENUTTING VAN VANGGEWAS-N DOOR VOLGTEELT MAÏS	9
2.1 N-opname en N-mineralisatie uit ingewerkte vanggewassen.....	9
2.1.1 Drogestofproductie en stikstofopname	9
2.1.2 Afbreekbaarheid	10
2.1.3 C/N-verhouding	10
2.1.4 Temperatuur	11
2.1.5 Inwerktijdstip	12
2.1.6 Zaaitijdstip en gewasontwikkeling vanggewas.....	14
2.1.7 N-mineralisatiepatroon en N-opnamepatroon maïs	15
2.1.8 Keuze van het vanggewas	16
2.2 Opstelling N-balans via een eenvoudige modelberekening	16
3 EFFECTEN VAN MAAIEN EN AFVOEREN VAN HET VANGGEWAS	21
3.1 Stikstoflevering uit de ingewerkte zode.....	21
3.2 Effect op stikstofbemesting volggewas.....	22
4 METHODEN VAN INWERKEN EN KNELPUNTEN BIJ HET INWERKEN.....	25
4.1 Niet-aangedreven machines	25
4.2 Aangedreven machines	26
4.3 Doodspuiten.....	26
4.4 Klepelen.....	26
5 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK.....	27
LITERATUUR.....	29

Samenvatting

Het telen van een onbemeste groenbemester als stikstofvanggewas na de hoofdteelt, is een na-oogstmaatregel die de nitraatuitspoeling kan verminderen. Het vanggewas neemt de reststikstof op uit de bodem, die is achtergelaten door het hoofdgewas en de stikstof die in de nazomer en herfst mineraliseert. In geval van een winterhard vanggewas (o.a. winterrogge en raaigras) wordt de stikstof over de winter heen getild en zo behoed voor uitspoeling en denitrificatie. De opgenomen stikstof komt weer vrij door mineralisatie, nadat het vanggewas is ingewerkt. Uit verleden onderzoek op proefbedrijf Heino bleek dat een winterhard vanggewas na snijmaïs de nitraatuitspoeling met 50-60% verminderde. Belangrijke factoren die de effectiviteit van het vanggewas bepalen, zijn een voldoende ontwikkeling in de nazomer/herfst om de minerale stikstof in de bodem te kunnen vastleggen en een goede benutting van de door het vanggewas opgenomen stikstof door het volggewas. Bij het laatste heeft naast winterhardheid het inwerkijdstip in het voorjaar invloed op het vrijkomen van de stikstof uit het ingewerkte vanggewas. Onderzoeksvraag is hoe het inwerkijdstip zo kan worden gekozen dat het vrijkomen van stikstof uit het ingewerkte vanggewas in de tijd zo goed mogelijk aansluit bij het stikstofopnamepatroon van het volggewas om een zo hoog mogelijke benutting door het volggewas te realiseren. Daartoe is in 2010 een deskstudie uitgevoerd. De resultaten ervan dienen als basis voor een veldproef op zandgrond die in de nazomer van 2010 start.

De drogestofproductie, de stikstofopname en de C/N-verhouding van de winterharde vanggewassen variëren sterk, afhankelijk van het zaaitijdstip, het inwerkijdstip en de groeiomstandigheden. De snelheid waarmee de stikstof uit het ingewerkte vanggewas mineraliseert, hangt af van de afbreekbaarheid van het plantaardig materiaal, de C/N-verhouding, de bodemtemperatuur en het inwerkijdstip. Verschillen in afbraaksnelheid door verschillen in ouderdom van het vanggewas als gevolg van vroeger of later inwerken in het voorjaar, zijn naar verwachting gering. Wel zijn er verschillen tussen soorten vanggewassen. Verder komt bij een hoge C/N-verhouding van het gewas de stikstof langzamer vrij dan bij lage C/N-verhouding en verloopt de afbraak bij lagere temperatuur langzamer dan bij hogere temperatuur.

Vanggewassen voorkomen stikstofverliezen alleen als ze de stikstof niet te vroeg maar ook niet te laat afgeven aan een volgend gewas. Uit te vroeg ondergewerkte vanggewassen komt de stikstof snel vrij en kan nog uitspoelen voordat het door het volggewas kan worden benut. Vanggewassen die in het voorjaar te lang doorgroeien, dragen echter ook niet bij aan een goede stikstofbenutting. Naast praktische nadelen zoals het lastiger inwerken en meer hinder van gewasresten bij de zaaibedbereiding, onttrekken ze stikstof en vocht aan de bodem, ten nadele van het volggewas. Verder wordt de C/N-verhouding van het plantaardig materiaal hoger, waardoor de mineralisatiesnelheid afneemt en daardoor ook de bemestende waarde.

Voor een zo goed mogelijke stikstofbenutting door het volggewas kan het winterharde stikstofvanggewas het beste vroeg in het voorjaar worden ingewerkt, voordat er hergroei en stikstofopname optreedt.

Het optimale inwerkijdstip in het voorjaar hangt (naast weersinvloed) mede af van het N-gehalte in de droge stof c.q. de C/N-verhouding. Bij een hoog N-gehalte (lage C/N-verhouding) mineraliseert de stikstof na inwerken sneller dan bij een laag N-gehalte (hoge C/N-verhouding) en ligt het optimale inwerkijdstip waarschijnlijk later. Het verdient aanbeveling om de relatie tussen optimaal inwerkijdstip in het voorjaar en C/N-verhouding nader te bestuderen in het uit te voeren veldonderzoek.

1 Inleiding

1.1 Kennisbehoefte/kennisvraag

In het Vierde Actieprogramma van de Nitraatrichtlijn wordt onder andere ingezet op innovaties om op melkveehouderij- en akker- en tuinbouwbedrijven de stikstofverliezen verder te verminderen. De stikstofbenutting van gewassen kan worden verbeterd door maatregelen voorafgaand en tijdens de teelt (onder andere bemestingsmaatregelen) en na-oogstmaatregelen.

Eén van de na-oogstmaatregelen is het telen van een stikstofvanggewas na de hoofdteelt, dat de reststikstof in de bodem die is achtergelaten door het hoofdgewas en de stikstof die in de nazomer en herfst mineraliseert, opneemt. In geval van een winterhard vanggewas wordt de stikstof over de winter heen getild en zo behoed voor uitspoeling en denitrificatie. De opgenomen stikstof komt weer vrij door mineralisatie, nadat het vanggewas is ingewerkt. Uit verleden onderzoek op proefbedrijf Heino bleek dat een winterhard vanggewas na snijmaïs de nitraatuitspoeling met 50-60% verminderde (Van Dijk et al., 1995).

Belangrijke factoren die de effectiviteit van het vanggewas bepalen, zijn een voldoende gewasontwikkeling en opname van de reststikstof in de nazomer/herfst en een goede benutting van de door het vanggewas opgenomen stikstof door het volggewas. Bij het laatste speelt naast winterhardheid ook het management in het voorjaar een rol, waaronder het inwerkijdstip. Belangrijke vraag is hoe door een juist management van het vanggewas de grootste benutting door het volggewas kan worden gerealiseerd. Het inwerkijdstip bepaalt het vrijkomen van stikstof uit het vanggewas in de tijd en dient zo veel mogelijk aan te sluiten bij het opnamepatroon van het volggewas.

1.2 Doel en afbakening

Doel van het project is na te gaan hoe door een juist management in het voorjaar de benutting van de door het vanggewas opgenomen stikstof door het volggewas kan worden verhoogd. De focus ligt bij wintervaste vanggewassen, zoals winterrogge en raaigrassen. Als volggewas wordt gekozen voor snijmaïs. Dit gewas wordt relatief laat gezaaid, waardoor er een groter tijdsvenster is om te variëren in inwerkijdstip. Het onderzoek richt zich op zandgrond, aangezien hier nog een grote inspanning nodig is om aan de nitraatrichtlijn te voldoen.

In 2010 is een deskstudie uitgevoerd naar de invloed van het inwerkijdstip van vanggewassen in het voorjaar op de benutting van de stikstof die uit het vanggewas vrijkomt, door het volggewas. Naast het aspect van het tijdig vrijkomen van stikstof wordt ook aandacht besteed aan de wijze van inwerken en problemen die daarbij in de praktijk optreden. De resultaten van de deskstudie dienen als basis voor een in de nazomer van 2010 aan te leggen veldproef op zandgrond die doorloopt in 2011 en 2012.

Dit rapport bevat de uitkomsten van de deskstudie. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de invloed van het inwerkijdstip en andere factoren op de benutting van de stikstof die vrijkomt uit het ingewerkte vanggewas in relatie tot het stikstofopnamepatroon van het volggewas maïs. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het effect van maaien en afvoeren van het vanggewas (voor voerdoeleinden) in het voorjaar op de benutting van de vanggewasstikstof en de consequenties voor de stikstofvoorziening van het volggewas snijmaïs. Hoofdstuk 4 gaat in op verschillende methoden van inwerken en de problemen die daarbij in de praktijk optreden. In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor het veldonderzoek.

2 Effect inwerktijdstip op benutting van vanggewas-N door volgteelt maïs

Bij de keuze voor het inwerktijdstip van het vanggewas in het voorjaar spelen meerdere overwegingen een rol, onder andere:

- Een voldoende bijdrage aan de organische-stofvoorziening van de bodem. Als het vanggewas later in het voorjaar wordt ingewerkt, treedt hergroei op en wordt een grotere hoeveelheid biomassa c.q. organische stof ingewerkt dan bij vroeg inwerken na de winter.
- Het stoppen van de vochtonttrekking en stikstofonttrekking aan de bodem door het vanggewas vroeg na de winter in te werken. Daarmee wordt voorkomen dat het vanggewas teveel vocht aan de bodem onttrekt. Door het vanggewas tijdig in te werken, heeft de bodem meer gelegenheid om op veldcapaciteit te komen voordat de maïs wordt gezaaid (Schröder et al., 1992). Laat inwerken vermindert de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht voor de maïs, waardoor de maïsproductie kan stagneren. Ook blijft er dan meer minerale stikstof over in de bodem voor het volggewas om in een vroeg stadium op te nemen, die anders door het vanggewas zou zijn onttrokken.
- Een zo goed mogelijke benutting van de vrijkomende stikstof uit het ingewerkte vanggewas door uitspoelingsverlies van de vrijkomende stikstof zoveel mogelijk te beperken en door het vrijkomen van de stikstof zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de stikstofbehoefte van het volggewas.

Deze deskstudie richt zich vooral op de laatste overweging.

2.1 N-opname en N-mineralisatie uit ingewerkte vanggewassen

In het algemeen mineraliseert de stikstof uit groenbemesters/stikstofvanggewassen snel; er mineraliseert al veel binnen 1-2 maanden (Thorup-Kristensen et al., 2003). In uitzonderlijke gevallen is gevonden dat wel 80% van de stikstof in het vanggewas mineraliseerde gedurende de eerste vier weken na inwerken (Breland, 1994a en Dou et al., 1994 in: Thorup-Kristensen et al., 2003). Silgram en Harrison (1997) vonden in één van hun onderzoeken dat de stikstof uit een in maart ingewerkt vanggewas voor 22-33% was gemineraliseerd in de eerste drie maanden na inwerken. De meest intensieve periode van mineralisatie was de eerste acht weken na inwerken, daarna was de stikstofmineralisatie uit het vanggewas beperkt. Verder bleek uit hun onderzoeken dat de mineralisatiesnelheid afhing van de C/N-verhouding van het vanggewas (zie verder onder paragraaf 2.1.3.)

De hoeveelheid en snelheid van vrijkomen van de stikstof uit het ondergewerkte vanggewas hangt af van:

- de totale hoeveelheid opgenomen stikstof door het vanggewas;
- de afbreekbaarheid van het organische materiaal;
- de C/N-verhouding in de organische stof van het gewas (en die van de micro-organismen in de bodem die de organische stof afbreken);
- het inwerktijdstip.

In de subparagrafen hierna, wordt hier nader op in gegaan.

2.1.1 Drogestofproductie en stikstofopname

De stikstofopname van winterrogge of Italiaans raaigras als vanggewas na maïs hangt sterk af van de wintertemperatuur (Van Dijk et al., 1995). Het stikstofaanbod in de herfst heeft minder grote invloed op de stikstofopname. Alleen bij een laag aanbod blijft de stikstofopname wat achter.

Van Dijk et al. (1995) zaaiden de rogge in hun onderzoek na de oogst van de maïs en het Italiaans raaigras onder dekvrucht (in juni). De verschillen in stikstofopname tussen rogge en gras waren gemiddeld gering. In een winter met gemiddelde Nederlandse temperatuur legt het vanggewas ca. 35-40 kg N/ha vast in de boven- en ondergrondse delen (Van Dijk et al., 2006). Hiervan kan ca. 50-70% worden benut door het volgend gewas maïs. Die stikstofnawerking moet op de stikstofgift aan het volggewas in mindering worden gebracht, anders leidt het niet tot een verlaging van het N-overschot en reductie van de nitraatuitspoeling.

De drogestofopbrengsten en samenstelling van de vanggewassen die worden ondergewerkt, variëren in praktijk sterk, afhankelijk van zaaitijdstip, inwerkijdstip en groeiomstandigheden. De opbrengsten aan bovengrondse delen variëren van 100 tot 2500 kg droge stof per ha (Van Dijk et al., 1995, Hilhorst en Verloop, 2009). Naast de bovengrondse delen dragen ook de ondergrondse delen bij aan de mineralisatie. De verhouding tussen bovengrondse- en ondergrondse delen is bij rogge en Italiaans raaigras verschillend. Italiaans raaigras produceert relatief meer ondergrondse delen (Hilhorst en Verloop, 2009). Globaal kan worden aangehouden dat de verhouding tussen bovengrondse en ondergrondse delen voor Italiaans raaigras 55:45 is en voor rogge 70:30. Ook het stikstofgehalte varieert sterk en is afhankelijk van het tijdstip en het stadium waarop het vanggewas wordt ingewerkt. Het N-gehalte van de bovengrondse delen van rogge en gras varieert globaal van 1 tot 4% (Van Dijk et al., 1995, Hilhorst en Verloop, 2009). In het algemeen kan worden gesteld dat het N-gehalte van de ondergrondse delen lager is dan van de bovengrondse delen. Hoewel Hilhorst & Verloop (2009) bij rogge een gelijk gehalte vonden, wordt aangenomen dat het N-gehalte van de wortels doorgaans de helft is van het gehalte in de bovengrondse delen (Schröder, 1996; Den Boer & Ros, 2005).

2.1.2 Afbreekbaarheid

Als organisch materiaal langzamer wordt afgebroken in de bodem, komt ook de organische gebonden stikstof langzamer vrij (bij dezelfde C/N-verhouding). De afbreekbaarheid hangt af van de samenstelling van de organische stof van het gewas. Vanggewassen bestaan normaliter uit jong plantenmateriaal dat snel verteert in de bodem en waarin zelden hoge gehalten ligninen en polyphenolen voorkomen (Thorup-Kristensen et al., 2003), die moeilijk afbreken. Verschillen in afbraaksnelheid door verschillen in ouderdom van het vanggewas als gevolg van vroeg of laat inwerken in het voorjaar, zijn naar verwachting gering. Verder verschilt de afbraaksnelheid per gewassoort, vooral door een verschil in verhouding tussen bovengrondse en ondergrondse delen. Ondergrondse delen (wortels) verteren langzamer dan bovengrondse groene plantenmassa. Gewassen met een relatief hoog aandeel ondergrondse biomassa, zoals grasgroenbemesters, hebben daardoor een wat lagere afbraaksnelheid van de organische stof dan gewassen met een relatief laag aandeel ondergrondse biomassa, zoals bladrammenas en gele mosterd. Van Dijk et al. (1995) vonden bij Italiaans raaigras na inwerken een lagere stikstofwerking in de volgteelt maïs dan bij winterrogge. De mineralisatie leek bij Italiaans raaigras trager te verlopen.

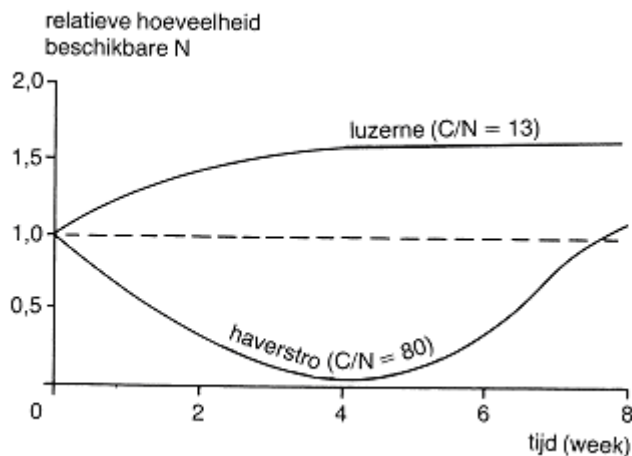
2.1.3 C/N-verhouding

Naast afbraaksnelheid bepaalt de C/N-verhouding van de organische stof hoe snel de stikstof vrijkomt. Voor de afbraak van toegediende organische stof hebben de micro-organismen stikstof nodig. Janssen en van Reuler (1986) geven aan dat rekenkundig gezien er juist genoeg stikstof wanneer het organische materiaal een C/N-quotiënt van 30 heeft. Wanneer het C/N-quotiënt lager is, blijft er stikstof over en is er sprake van netto-stikstofmineralisatie. Als het C/N-quotiënt hoger is, is er te weinig stikstof om de afbraak vlot te laten verlopen en moeten de micro-organismen de stikstof uit andere bronnen betrekken. Er treedt dan immobilisatie (vastlegging) op van minerale stikstof in de bodem (figuur 1). Dit gaat ten koste van de hoeveelheid voor de plant beschikbare stikstof.

Bij lage C/N-verhouding mineraliseert meer dan 50% van de stikstof binnen een paar maanden. Bij hoge C/N-verhouding mineraliseert de stikstof langzamer en bij C/N >30 treedt (tijdelijk) immobilisatie op van stikstof (zie ook figuur 7).

Dabney et al., (2001) concluderen op basis van enkele resultaten in de literatuur dat vanggewassen met een C/N-quotiënt hoger dan 35 immobilisatie van stikstof veroorzaken en dat er extra kunstmeststikstof nodig is om de productie van het volggewas op peil te houden.

Een hoge C/N-verhouding in vanggewassen komt evenwel zelden voor. In de meeste gevallen ligt de C/N-verhouding van vanggewassen in de range 10-30 (Thorup-Kristensen et al., 2003). Uit proefresultaten van Schröder et al. (1992) en Van Dijk et al. (1995) bleek dat zowel de drogestofproductie als de C/N-verhouding van de winterharde groenbemesters sterk per jaar/proef varieerde. Verder was de C/N-verhouding van Italiaans raaigras vaak iets hoger is dan die van winterrogge, maar het onderlinge verschil was gemiddeld genomen niet groot. Per jaar/proef was de variatie in C/N-verhouding groter.



Figuur 1. Invloed van de C/N-verhouding van ondergeploegd organische materiaal op de beschikbare hoeveelheid stikstof in de loop van de tijd. Naar: Donahue et al. (1983), in: Janssen en van Reuler (1986)

Silgram en Harrison (1997) onderzochten twee keer de mineralisatie van ingewerkte vanggewassen (wintergerst). In hun eerst onderzoek vonden ze dat de stikstof uit het vanggewas met een C/N-quotiënt van 13-17 voor 22-33% was gemineraliseerd in de eerste drie maanden na inwerken in maart. De meest intensieve periode van mineralisatie was de eerste acht weken na inwerken, daarna was de stikstof-mineralisatie uit het vanggewas beperkt. In het tweede onderzoek was het C/N-quotiënt met 24 duidelijk hoger. Resultaten van dit onderzoek gaven aan dat 10 tot 15% van de stikstof uit het vanggewas was gemineraliseerd binnen vijf maanden na inwerken en dat dit was opgelopen tot 20-27% in het volgende voorjaar, waarbij deze extra gemineraliseerde stikstof in de winter uitgespoeld was. Gemiddeld over twee jaar mineraliseerde in de eerste zes maanden na inwerken 13 tot 33% van de stikstof uit het ingewerkte vanggewas.

Schröder et al. (1996) vonden een verschil in stikstofbenutting van de opgenomen stikstof tussen Italiaans raaigras en winterrogge. Gemiddeld over zes jaar was de schijnbare stikstofbenutting van rogge en gras resp. 105% en 44% van de stikstofopname in de bovengrondse delen, terwijl de C/N-quotiënten van de bovengrondse delen gelijk waren. Een mogelijke verklaring hiervoor is de grotere relatieve wortelmassa van gras ten opzicht van rogge. Schröder (1996) schatte op basis van diverse data het C/N-quotiënt van Italiaans raaigras onder stikstofbeperkende omstandigheden bij gewasopbrengsten van 1000 en 2500 kg d.s./ha. Hij kwam op een C/N-quotiënt van 41 voor de wortels en op een C/N-quotiënt van 18 tot 30 voor de bovengrondse delen, afhankelijk van de opbrengst.

Whitmore (1995) onderzocht de mineralisatie van stikstof uit verschillende gewasresten met verschillende C/N-verhoudingen (bietenblad: 12; bietenkoppen: 42; kool: 18 en spinazie: 6) in een pottenproef bij een temp van 20 °C. Uit de resultaten bleek er een duidelijk verband te zijn tussen de C/N-verhouding en de snelheid waarmee de stikstof vrijkomt uit de gewasresten. Bij spinazie (C/N=6) was het merendeel van de stikstof al binnen twee weken gemineraliseerd, terwijl bij bietenkoppen na 6-7 weken ongeveer de helft was gemineraliseerd. Bij alle gewassen was na 10-11 weken het merendeel van de stikstof gemineraliseerd. Verder concludeerde hij dat een C/N-verhouding van 20-25 de kritieke grens is waarbij mineralisatie overgaat naar immobilisatie.

2.1.4 Temperatuur

De bodemtemperatuur heeft effect op de afbraaksnelheid. De afbraak verloopt bij lagere temperatuur langzamer dan bij hogere temperatuur. Bij temperaturen ≤ -1 °C vindt geen afbraak meer plaats (Janssen, 2002). Niettemin bleek in diverse proeven dat lage bodemtemperaturen (<10 °C) in de winter de afbraak van gemakkelijk afbreekbaar plantaardig materiaal maar weinig vertragen (Thorup-Kristensen et al., 2003).

Van Dam (2006) onderzocht op labschaal de mineralisatie van stikstof uit een in de bodem ingewerkt vanggewas (winterrogge) bij 1 °C en 15 °C. Na 10 weken was bij 1 °C 20% van de organische stikstof uit het gewasmateriaal gemineraliseerd, waaruit blijkt dat mineralisatie bij lage temperaturen niet verwaarloosbaar is. Bij 15 °C was dit 35-40%.

2.1.5 Inwerktijdstip

Vanggewassen voorkomen stikstofverliezen alleen als ze de stikstof niet te vroeg maar ook niet te laat afgeven aan een volgend gewas. Uit te vroeg ondergewerkte vanggewassen komt de stikstof snel vrij en kan nog uitspoelen voordat het door een volgend maïsgewas kan worden benut. Vanggewassen die in het voorjaar te lang doorgroeien dragen echter ook niet bij aan een goede stikstofbenutting. Naast praktische nadelen zoals het lastiger inwerken en meer hinder van gewasresten bij de zaai- en oetverbereiding, onttrekken ze stikstof en vocht aan de bodem, ten nadele van het volggewas. Verder wordt de C/N-verhouding hoger, waardoor de mineralisatiesnelheid afneemt en daardoor ook de bemestende waarde. In tabel 1 zijn schattingen van de verschillende effecten als gevolg van verschillende vernietigingstijdstippen weergegeven (Schröder, 1995)

Tabel 1. **Globaal geschatte effecten van tijdstip van vernietiging van een vanggewas op d.s.-productie, N-opname, C/N-quotiënt, extra onttrekking bodemvocht en onttrekking van N-mineraal**

	Vernietigingstijdstip		
	December	Februari	Maart
Drogestofproductie (ton/ha)	1	2	3
N-opname (kg/ha)	35	50	60
C/N-verhouding	11	16	20
Vochtonttrekking	0	0	0-25
N-mineraalonttrekking	0-35	0-50	10-60

Het inwerktijdstip in het voorjaar heeft belangrijk effect op de stikstoflevering uit het ingewerkte vanggewas aan het volggewas (Thorup-Kristensen et al., 2003; Van Dam, 2006). Het optimale inwerktijdstip van een stikstofvanggewas voor maximale conservering van stikstof in het bodem-plantsysteem en stikstoflevering aan het volggewas hangt af van meerdere factoren:

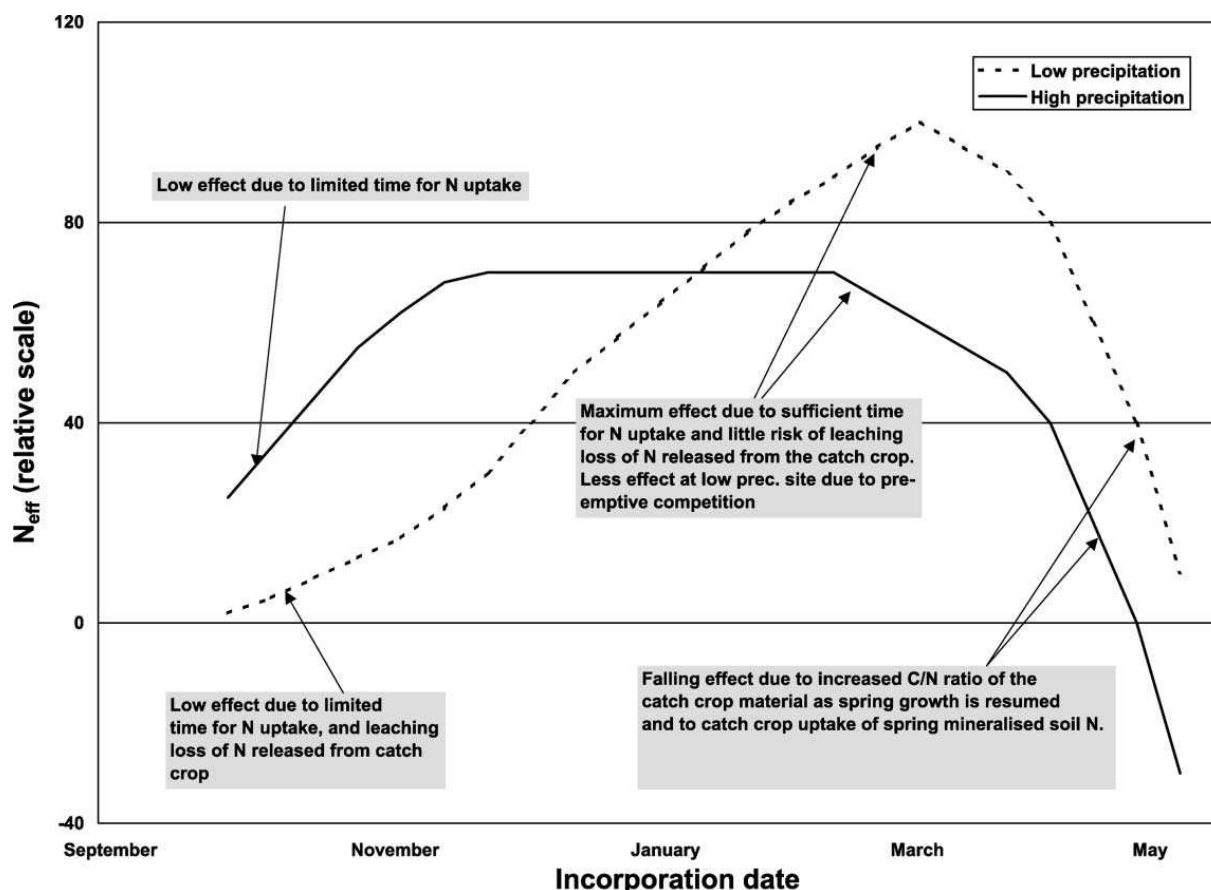
- de biomassa en stikstofopname van het vanggewas;
- de mate van stikstofuitspoeling (afhankelijk van regenval en bodemeigenschappen);
- de zaaidatum, bewortelingsdiepte en stikstofopnameperiode van het volggewas;
- de mineralisatiesnelheid van stikstof uit het ingewerkte vanggewas.

Bij vroeg inwerken (eind van de winter) komt voor een gewas dat laat wordt gezaaid, zoals maïs, al een substantieel deel van de stikstof vrij voordat het gewas de stikstof opneemt. Dit kan in principe de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof (N_{min}) bij zaai in de bodem verhogen, maar het geeft ook kans op meer stikstofuitspoeling of –denitrificatie in geval van een nat voorjaar.

Bij laat inwerken (kort vóór zaai), heeft het gewas door hergroei na de winter meer biomassa gevormd en stikstof opgenomen, is het verliesrisico in het voorjaar kleiner, maar is de N_{min} bij zaai laag. Het vanggewas heeft dan de stikstof uit de bodem opgenomen die anders als N_{min} beschikbaar zou zijn voor het volggewas. Verder nemen bij later inwerken het ligninegehalte en met name de C/N-verhouding in het plantaardig materiaal toe, waardoor de mineralisatiesnelheid afneemt. Door de lagere N_{min} bij zaai en de lagere mineralisatiesnelheid is de stikstofwerking in het volggewas lager. Wel komt er nog meer stikstof vrij in de nazomer en herfst, nadat de stikstofopname door de maïs is gestopt. Bovendien is een forser ontwikkeld gewas lastiger in te werken en kunnen de gewasresten hinder geven bij het zaaien van de maïs. Als vuistregel wordt aangehouden dat het juiste moment is aangebroken om het vanggewas in te werken als het gewas in het voorjaar flink gaat hergroeien. Meestal is dit in maart (Schröder en Rensen, 2005).

Welk inwerkmoment optimaal is, hangt ook af van de hoeveelheid neerslag. Bij hoge hoeveelheid neerslag is volgens Thorup-Kristensen et al. (2003) november-maart de optimale inwerkperiode. Bij lage hoeveelheid neerslag is inwerken in maart optimaal (figuur 2). Wat onder een hoge en lage hoeveelheid neerslag moet worden verstaan, hangt af van het watervasthoudend vermogen van het perceel en van de bewortelingsdiepte van het volggewas (Thorup-Kristensen, 2010b). Een hoge hoeveelheid neerslag is die hoeveelheid

waarbij vrijwel alle minerale bodemstikstof die in de herfst aanwezig was, uit de wortelzone van het volggewas is gespoeld. Bij een lage hoeveelheid neerslag blijft nog een substantieel deel van die stikstof aanwezig in de wortelzone van het volggewas. Voor een ondiep wortelend gewas op schrale zandgrond is relatief weinig neerslag nodig om alle minerale stikstof uit de wortelzone te spoelen en is de situatie met hoge neerslag als snel bereikt. Voor een diep wortelend gewas op een leemgrond met een hoog watervasthoudend vermogen is veel meer neerslag nodig om alle minerale stikstof uit de wortelzone te spoelen en blijft men eerder in de lage-neerslagsituatie.

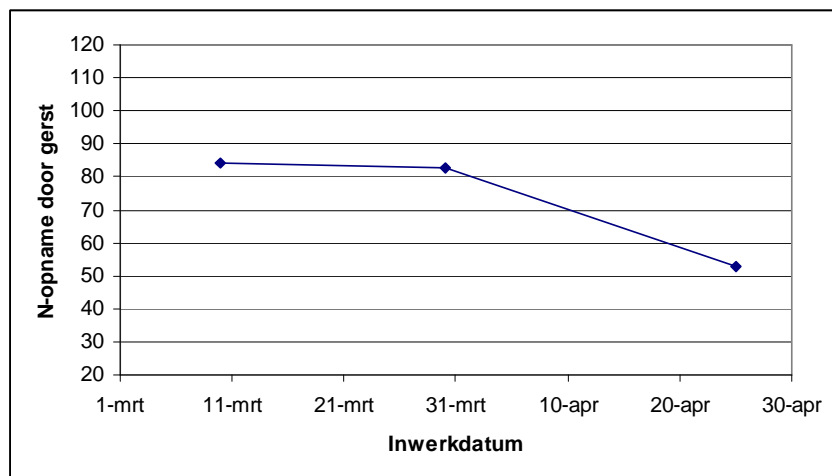


Figuur 2. Effect van inwerktijdstip van het N-vanggewas op de N-levering aan het volggewas (N_{eff}); naar Thorup-Kristensen et al. (2003).

N_{eff} = hoeveelheid stikstof die door mineralisatie uit het ondergewerkte vanggewas beschikbaar komt aan het volggewas minus reductie N_{min} voorjaar door het vanggewas

Thorup-Kristensen en Dresbøll (2010a) onderzochten gedurende drie seizoenen (1993/1994 t/m 1995/1996) het effect van twee inwerkmomenten van het vanggewas winterrogge in de herfst en drie inwerkmomenten in het voorjaar (10 maart, 30 maart en 25 april) op de stikstofopname van het volggewas gerst. Het vanggewas werd begin augustus gezaaid en bemest met 100 kg N per ha om een situatie met een hoog uitspoelingsrisico te simuleren. De gerst werd begin mei gezaaid en niet met stikstof bemest. De stikstofopname voor de winter bedroeg in de drie jaren respectievelijk 140, 56 en 119 kg N/ha. In de winter nam de hoeveelheid bovengrondse biomassa (en N-inhoud) af, in het eerste jaar zelfs met de helft. Na de winter namen tussen maart en eind april de drogestofopbrengst van het vanggewas weer sterk toe. De stikstofopname nam ook toe, maar minder sterk dan de drogestofopbrengst. Het N-gehalte in de droge stof nam af. De stikstofopname bij oogst van het volggewas gerst was lager bij inwerken van het vanggewas in april dan bij inwerken in maart (zie figuur 3).

Hergroei en stikstofopname in het voorjaar door het vanggewas moeten worden voorkomen. Hergroei in het voorjaar is normaal ook niet nodig om stikstofuitspoeling te voorkomen (Thorup-Kristensen & Nielsen, 1998 in: Thorup-Kristensen en Dresbøll, 2010a).

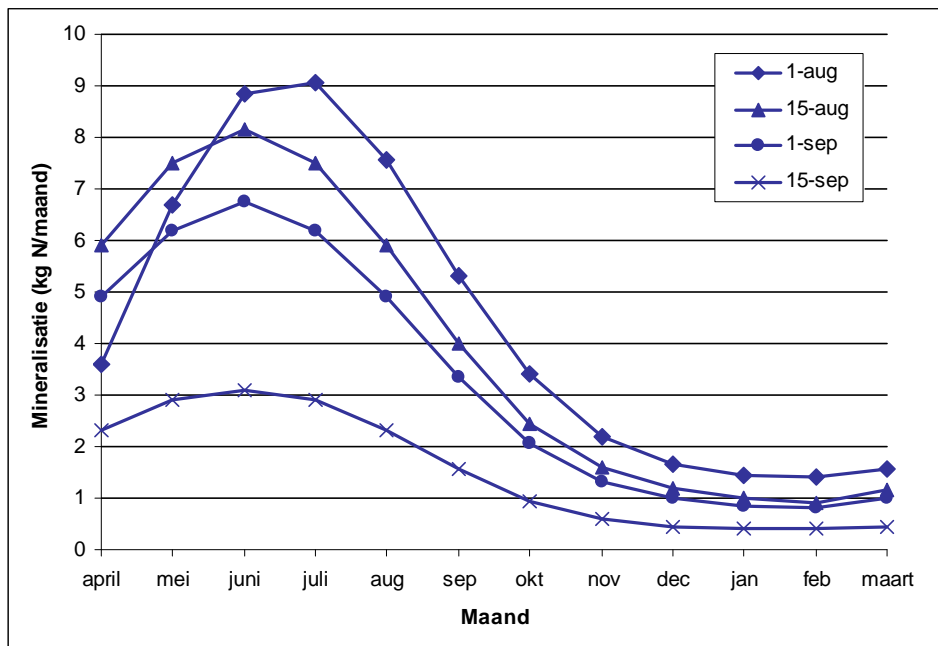


Figuur 3. **Relatie tussen N-opname door gerst bij oogst en inwerkdatum van het vanggewas winterrogge (gemiddelde van drie jaar). Naar: Thorup-Kristensen en Dresbøll (2010)**

Van Dam (2006) vond m.b.v. een simulatiemodel dat het vanggewas gemiddeld genomen het beste half januari kan worden ondergewerkt voor een maximale stikstofbeschikbaarheid voor het volggewas. Wanneer alleen naar de zaaidatum van het volggewas werd gekeken, dan kon het vanggewas gemiddeld genomen het beste 89 dagen voor zaai van het volggewas worden ingewerkt. Een maand eerder of later inwerken dan de optimale datum, verminderde de benutting van de vanggewasstikstof slechts in geringe mate.

2.1.6 Zaaitijdstip en gewasontwikkeling vanggewas

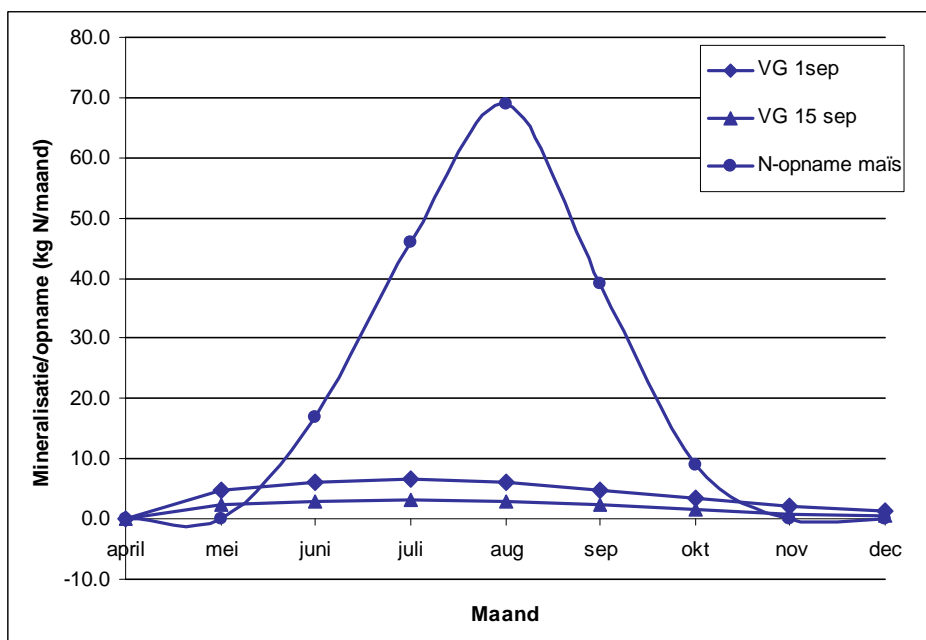
Velthof et al. (1998) berekenden met behulp van het stikstofmineralisatiemodel MINIP (Janssen, 1984 en Janssen 1996) de stikstofmineralisatie uit een vanggewas raagrass dat op 31 maart is ondergewerkt (figuur 4). Daarbij zijn vier verschillende zaaitijdstippen van het raagrass meegenomen: 1 augustus, 15 augustus, 1 september en 15 september. Deze zaaitijdstippen hebben een duidelijk effect op de ontwikkeling en op de C/N-verhouding op het moment van onderwerken. Naarmate het gewas vroeger is gezaaid, zal het bij onderwerken verder ontwikkeld zijn en een hogere C/N-verhouding hebben. Duidelijk is dat de grootse stikstofmineralisatie optreedt in de eerste maanden na het onderwerken in maart. Opvallend is het grote verschil in stikstofmineralisatie tussen de verschillende zaaitijdstippen. Vooral bij het laatste tijdstip komt minder stikstof vrij als gevolg van een slechtere ontwikkeling van het vanggewas. De piek ligt bij de eerste drie zaaitijdstippen in de maanden mei en juni. Bij het laatste tijdstip verschuift de piek richting juli. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de ouderdom van het gewas. Het vroeg gezaaide gewas is meer ontwikkeld en heeft een hogere C/N-verhouding waardoor de mineralisatie trager op gang komt. Wat verder opvalt, is dat er bij de vroege zaaitijdstippen ook na augustus nog een behoorlijk hoeveelheid stikstof mineraliseert. De totale berekende hoeveelheid stikstof die vrijkomt uit vanggewassen in de periode maart-augustus, varieert van 24-28 kg/ha voor de zaaitijdstippen 1 augustus – 1 september. Bij zaaitijdstip 15 september is dit maar 11 kg meer.



Figuur 4. N-mineralisatie per maand na onderwerken van raaigras op 31 maart bij vier verschillende zaaitijdstippen Bron: Velthof et al. (1998).

2.1.7 N-mineralisatiepatroon en N-opnamepatroon maïs

In figuur 5 zijn de stikstofopname per maand door maïs en de stikstofmineralisatie per maand uit een vanggewas na onderwerken op 31 maart weergegeven. De stikstofopname per maand door de maïs is afgeleid van Schröder (1998) en de stikstofmineralisatie uit het vanggewas raaigras gezaaid op 1 en 15 september is overgenomen van Velthof et al. (1998). Op basis van deze beide modellen lijkt de periode met de meest intensieve mineralisatie zich grotendeels te bevinden in de periode waarin de vraag naar stikstof door maïs het grootst is. De mineralisatie lijkt wat eerder op gang te komen dan de stikstofopname door maïs.



Figuur 5. Stikstofopname per maand door maïs en mineralisatie uit vanggewas per maand na onderwerken van raaigras op 31 maart (Naar: Schröder, 1998 en Velthof et al., 1998)

2.1.8 Keuze van het vanggewas

De mineralisatie in de volgteelt hangt ook af van het soort vanggewas: hoeveel stikstof deze kan opnemen voor de winter en hoe snel die stikstof mineraliseert na inwerken. De keuze voor het winterharde vanggewas wordt echter niet bepaald door het stikstofeffect in de volgteelt an sich, maar vooral door het zaaimoment, de (on)mogelijkheden van onderzaai in juni en door aaltjesbeheersing. Wettelijk toegestane vanggewassen in maïs zijn gras, winterrogge, bladkool, bladrammenas, wintertarwe, wintergerst en triticale¹. Gelet op winterhardheid, gewasontwikkeling en stikstofopname bij late zaai zijn winterrogge, wintertarwe, wintergerst en triticale geschikt om als vanggewas na maïs te zaaien (Hoek & Paauw, 2009). Winterrogge lijkt van deze vier het beste te voldoen, maar er is meer onderzoek nodig om dit voldoende goed vast te stellen.

Italiaans raigras en Westerswolds raigras zijn minder geschikt voor late zaai, maar Italiaans raigras is daarentegen wel geschikt om onder dekvrucht te zaaien (in juni). In praktijk komt zaai van het vanggewas na de oogst echter het meeste voor. Onderzaai van gras stelt hogere eisen aan het teeltmanagement van de maïs m.b.t. onkruidbestrijding, zaaiwijze van het gras en de omstandigheden waaronder de maïs wordt geoogst (Schröder & Rensen, 2005).

Maïs in continueelt blijkt goed zelfverdraagzaam (Van Dijk et al., 2006). Maïs ondervindt matige schade van het wortellesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*) en een aantal vrijlevende wortelaaltjes en vermeerderd deze aaltjes zelf ook (bron: www.aaltjesschema.nl). Deze aaltjessoorten komen voor op zandgrond. Bij hoge uitzondering wordt groeimisvorming door het stengelaaltje (*Ditylenchus dipsaci*) gemeld (Van Dijk et al., 2006).

De vanggewassen vermeerderen deze probleemaaltjes ook. Het belangrijkste, wijdverbreide probleemaaltje op zandgrond is het wortellesieaaltje. Japanse haver (*Avena strigosa*) vermeerderd het wortellesieaaltje niet, in tegenstelling tot de andere voornoemde vanggewassen (Hoek & Paauw, 2009), maar is nochtans niet als vanggewas na maïs toegelaten.

De keuze van het vanggewas uit oogpunt van aaltjesbeheersing is vooral van belang als geen continueelt plaatsvindt, maar de maïs in een rotatie met andere akkerbouw- of vollegrondsgroentegewassen wordt geteeld (Van Dijk et al., 2006). Welk vanggewas dan het beste past, hangt af van welke aaltjes er op het betreffende perceel voorkomen, hoe zwaar de besmetting is en welke gevoelige gewassen er in het bouwplan zitten.

2.2 Opstelling N-balans via een eenvoudige modelberekening

In deze paragraaf is aan de hand van een eenvoudige modelberekening een stikstofbalans opgesteld voor wat betreft de stikstofopname door maïs en de stikstoflevering uit het winterharde vanggewas bij twee inwerkijdstoppen in het voorjaar. Het resultaat van de berekening is weergegeven in figuur 6.

Stikstofopname vanggewas

Er is uitgegaan van zaaien van winterrogge op 15 september. De bovengrondse stikstofopname door het vanggewas is, afhankelijk van het inwerkijdstop, berekend volgens een eenvoudige relatie die Van Dijk et al. (1995) vonden tussen de stikstofopname van het vanggewas en de T-som $>5\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$\text{N-opname (kg N/ha)} = 0,14 * \text{T-som (>5 }^{\circ}\text{C)} - 14,2$. Voor de berekeningen is uitgegaan van het gemiddeld Nederlands temperatuursverloop in de periode 1971-2000 volgens het KNMI (de normaalperiode). Een winterhard vanggewas dat op 15 september wordt gezaaid en op 1 maart wordt ingewerkt, heeft dan 32 kg N/ha in de bovengrondse delen opgenomen en bij inwerken op 20 april 43 kg N/ha.

Uit data van Van Erp & de Jager (1992) is een verband herleid tussen de bovengrondse stikstofopname van winterrogge en de droge-stofproductie. Aan de hand hiervan is de bovengrondse drogestofproductie berekend. Voor de ondergrondse droge stof (wortels en stoppels) is uitgegaan van een verhouding bovengrondse d.s. : ondergrondse d.s. = 10 : 6 (ontleend aan Timmer et al., 2003). Verder is een N-gehalte in de ondergrondse drogestof aangenomen van 1%. Voor het C-gehalte in de plantaardige droge stof is uitgegaan van 40%. Vervolgens is de C/N-verhouding in de totale plant-organischestof berekend, (ervan uitgaande dat alle stikstof in de plant organisch is gebonden). De resultaten van de berekening zijn weergegeven in tabel 2.

¹ Bron: LNV loket (www.hetlnvloket.nl)

Tabel 2. Gegevens van de winterrogge voor de modelberekening

	Inwerkdatum	
	1 maart	20 april
Bovengrondse drogestofproductie (kg/ha)	690	980
Ondergrondse drogestofproductie (kg/ha)	414	588
Hoeveelheid bovengrondse C (kg/ha)	276	392
Hoeveelheid ondergrondse C (kg/ha)	166	235
Bovengrondse N-opname (kg N/ha)	32	43
Ondergrondse N-opname (kg N/ha)	4	6
C/N-verhouding totale plant	12	13
Humificatiecoëfficiënt	0,256	0,256
Initiële leeftijd (a-waarde)	1,14	1,14

Mineralisatie vanggewas

De mineralisatie uit het ondergewerkte vanggewas is berekend met het mineralisatiemodel MINIP (Janssen, 1996), dat is gebaseerd op het afbraakmodel voor organische stof van Janssen (1984). Invoervariabelen in MINIP zijn de initiële leeftijd (ofwel a-waarde) van het organische materiaal en de C/N-verhouding. De a-waarde kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt (Janssen, 2002; Van Geel en de Haan, 2007). De humificatiecoëfficiënt (h.c.) is de fractie van het verse organische materiaal die een jaar na toediening aan c.q. inwerken in de bodem nog over is gebleven.

Aan de hand van de in tabel 2 vermelde gegevens is een gemiddelde h.c. voor de vanggewassen berekend. Hiervoor is uitgegaan van een h.c. van 0,20 voor bovengrondse groene plantenmassa en van 0,35 voor wortels van gewassen (Bosch & De Jonge, 1989). Er is geen rekening gehouden met ouderdom van het gewas, omdat er geen vuistregels beschikbaar zijn om hiervoor een verfijning aan te brengen m.b.t. de afbraaksnelheid c.q. de humificatiecoëfficiënt. Als plantaardig materiaal ouder is en het ligninegehalte is toegenomen, breekt het langzamer af. Stro bijvoorbeeld heeft een h.c. van 0,3 (Bosch & De Jonge, 1989). In hoeverre de afbreekbaarheid van het op 20 april ingewerkte vanggewas verschilt van het op 1 maart ingewerkte vanggewas is niet bekend, maar vermoedelijk is het verschil gering.

Verder is rekening gehouden met de temperatuur c.q. periode in het jaar, uitgaande van het gemiddeld Nederlands temperatuurverloop in de normaalperiode.

Nmin vóór zaai

Aan de hand van meetgegevens van Van Dijk et al. (1995) en Van Geel en Verstegen (2008) is de Nmin-voorraad na de winter in de laag 0-60 cm geschat op 30 kg N/ha in een situatie zonder vanggewas en op 15 kg N/ha bij inwerken direct na de winter (en in de laag 0-30 cm op 17 respectievelijk 10 kg N/ha). De Nmin-voorraad is in een situatie met vanggewas lager dan in een situatie zonder vanggewas, omdat het vanggewas stikstof uit de bodem heeft opgenomen. Daardoor is de Nmin-voorraad vóór de winter lager en doorgaans ook na de winter. Bij zeer hoge verliezen door uitspoeling/denitrificatie in de winter zal het verschil in Nmin tussen de situatie met en zonder vanggewas verder nivelleren, terwijl het in een winter met weinig verlies groter zal zijn (een hogere Nmin-voorraad in de situatie zonder vanggewas). Evenwel is een situatie zonder vanggewas voor deze studie niet aan de orde, omdat het op zandgrond wettelijk verplicht is een stikstofvanggewas na mais te telen.

Als het vanggewas na de winter gaat hergroeien, neemt deze stikstof uit de bodem op, maar tegelijkertijd komt er ook stikstof beschikbaar door mineralisatie in de bodem. Hoeveel Nmin er in de bodem zit als het vanggewas tot 20 april blijft staan, hangt af van de groei en hoeveelheid N-opname in het voorjaar door het vanggewas en het mineralisatieniveau van de bodem en kan dus variëren.

Voor deze modelberekening gaat het echter om het verschil in Nmin-voorraad van de bodem bij inwerken op 1 maart of 20 april. Volgens de berekende N-opname in tabel 2 heeft het vanggewas dat op 20 april wordt ingewerkt, 13 kg N/ha meer aan de bodem onttrokken dan het op 1 maart ingewerkte vanggewas. Van de extra Nmin-voorraad bij inwerken op 1 maart kan in de tussentijd echter een deel verloren gaan door uitspoeling, waardoor het verschil nivelleert. Met name op uitspoelingsgevoelige zandgronden zal dit in

meerdere jaren optreden. Voor de modelberekening is daarom een iets kleiner verschil aangenomen en is de N_{min} 0-60 cm op 20 april bij laten staan van het vanggewas tot die datum, op 5 kg N/ha gesteld.

Stikstofopnamepatroon maïs

Voor de saldoberekening van snijmaïs op goede zandgrond hanteren Schreuder et al. (2009) een gemiddelde opbrengst van 13060 kg droge stof per ha, ingekuuld. Ze zijn daarbij uitgegaan van 7% inkuilverlies. De hoeveelheid geoogst product bedraagt dan 14 ton droge stof per ha. Het N-gehalte in de droge stof bedraagt bij die opbrengst gemiddeld 1,2% (Van der Schoot & Van Dijk, 2001) en de stikstofopname in het oogstproduct derhalve 168 kg N/ha. In de stoppels en wortels zit zo'n 15-20 kg N/ha (interne bron PPO-AGV). De totale stikstofopname in boven- en ondergrondse delen bedraagt dan zo'n 185 kg N/ha. Voor het stikstofopnameverloop is het patroon gehanteerd dat is weergegeven in Schröder (1998), uitgezet tegen de temperatuursom (in graaddagen >8 °C). Er is uitgegaan van zaaien op 21 april en oogst half september.

In het Handboek Snijmaïs (Van Schooten et al., 2009) wordt 14,5 ton d.s. per ha als een normaal, goede bruto-opbrengst genoemd. De snijmaïsoopbrengst kan per regio, per grondsoort en per perceel sterk variëren. In het Handboek Snijmaïs worden de bruto-opbrengsten als volgt geclassificeerd:

- zeer goed: 17.500 kg d.s. per ha
- goed: 15.000 kg d.s. per ha
- matig: 12.500 kg d.s. per ha
- slecht: 10.000 kg d.s. per ha.

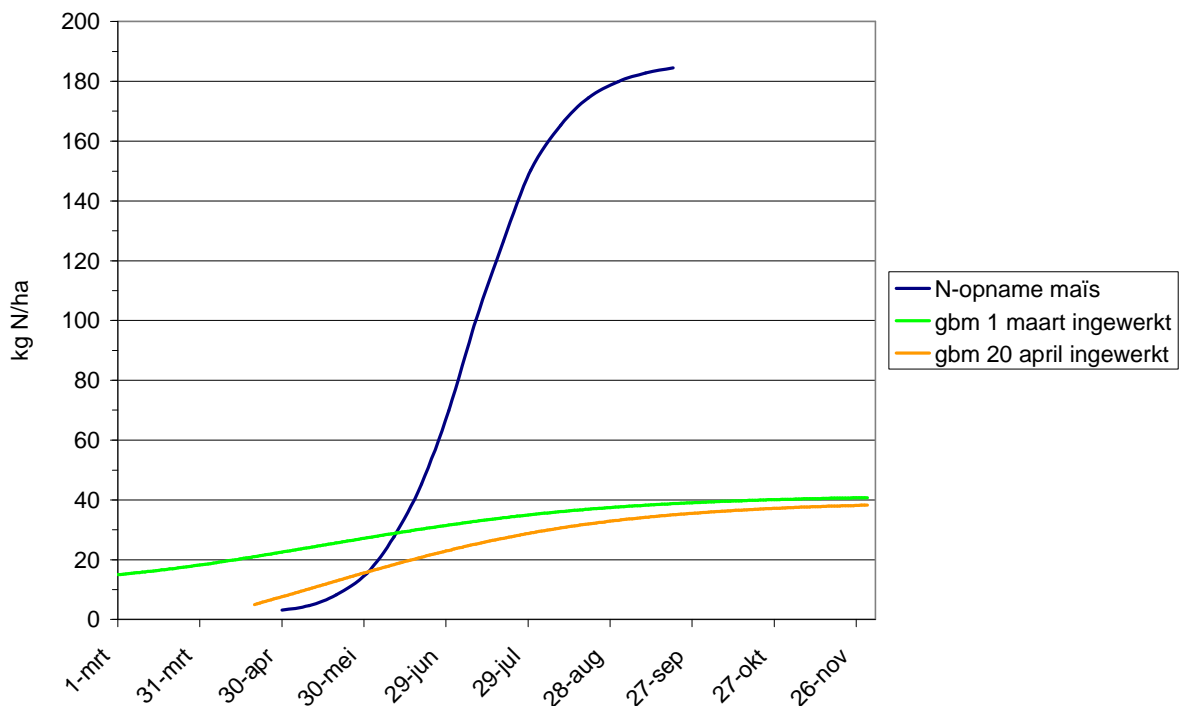
Bij hogere of lagere opbrengst is de N-inhoud van het gewas normaliter ook hoger of lager.

Resultaat van de modelberekening

In figuur 6 is het stikstofopnamepatroon van maïs weergegeven en de mineralisatie van stikstof uit het ingewerkte vanggewas, startend met de beschikbare bodemvoorraad $N_{min}(0-60$ cm) op het moment van inwerken van het vanggewas. Bij inwerken van het vanggewas op 1 maart mineraliseert tot 20 april volgens de berekening met MINIP nog niet veel stikstof (door de lage bodemtemperatuur): 6 kg N/ha. Daarna mineraliseert er tot het einde van de teeltperiode van de maïs nog zo'n 18 kg N/ha. Totaal komt er dus 24 kg N/ha beschikbaar voor de maïs door mineralisatie. Bij inwerken op 20 april is dat ca. 30 kg N/ha (door de hogere stikstofinhoud van het vanggewas). Door de lagere N_{min} -voorraad bij inwerken op 20 april is de netto extra beschikbare stikstof voor de maïs in beide situaties bijna gelijk (iets lager in de situatie bij inwerken op 20 april).

In geval er sprake zou zijn van een extreem natte periode tussen 1 maart en 20 april, waarin alle minerale stikstof uitspoelt/denitrificeert en er geen verschil zou zijn in N_{min} -voorraad 0-60 cm bij zaai van de maïs op 20 april, is het voordeel van inwerken op 20 april groter: $30 - 18 = 12$ kg extra N/ha beschikbaar voor de maïs. Als er geheel geen uitspoeling optreedt tussen 1 maart en 20 april, zou de N_{min} -voorraad bij inwerken op 20 april 13 kg N/ha lager zijn dan bij inwerken op 1 maart (zie onder " N_{min} voor zaai"). In die situatie is het voordeel van inwerken op 1 maart weer iets groter: 7 kg extra N/ha beschikbaar.

Bij inwerken op 1 maart mineraliseert er volgens de modelberekening vanaf het einde van de teeltperiode van de maïs in de herfst nog zo'n 2 kg N/ha en bij inwerken op 20 april 3-4 kg N/ha. Dit zijn geringe hoeveelheden, die tot weinig extra nitraatuitspoeling kunnen leiden.



Figuur 6. **Cumulative weergave van het N-opnamepatroon van maïs, de mineralisatie van stikstof uit het ingewerkte vanggewas bij inwerken op 1 maart (36 kg N-totaal per ha, C/N = 12, h.c. = 0,26) en bij inwerken op 20 april (49 kg N-totaal per ha, C/N = 13, h.c. = 0,26), startend met de beschikbare bodemvoorraad N_{min}(0-60 cm) op het moment van inwerken van het vanggewas**

Andere varianten

Zoals in paragraaf 2.1 is vermeld kunnen de droge-stofproductie alswel het N-gehalte in de droge stof en daardoor de C/N-verhouding nogal variëren. Zo vonden Van Geel & Verstegen (2008) in een proef op zuidoostelijke zandgrond bij een op 12 september gezaaide winterrogge, die zich goed ontwikkelde in de herfst, op 10 maart 1,37 ton bovengrondse droge stof met een stikstofinhoud van slechts 20 kg N/ha. Bij een C-gehalte in de droge stof van 40% impliceert dit een C/N-verhouding van 27.

Om een beeld te krijgen van het effect van de C/N-verhouding op de mineralisatiesnelheid en de beschikbaarheid voor de volgteelt maïs, is de mineralisatieberekening ook uitgevoerd met de dubbele C/N-verhouding t.o.v. de in tabel 2 genoemde waarden: respectievelijk 24 bij inwerken op 1 maart en 26 bij inwerken op 20 april. Het resultaat van de berekening is weergegeven in tabel 3.

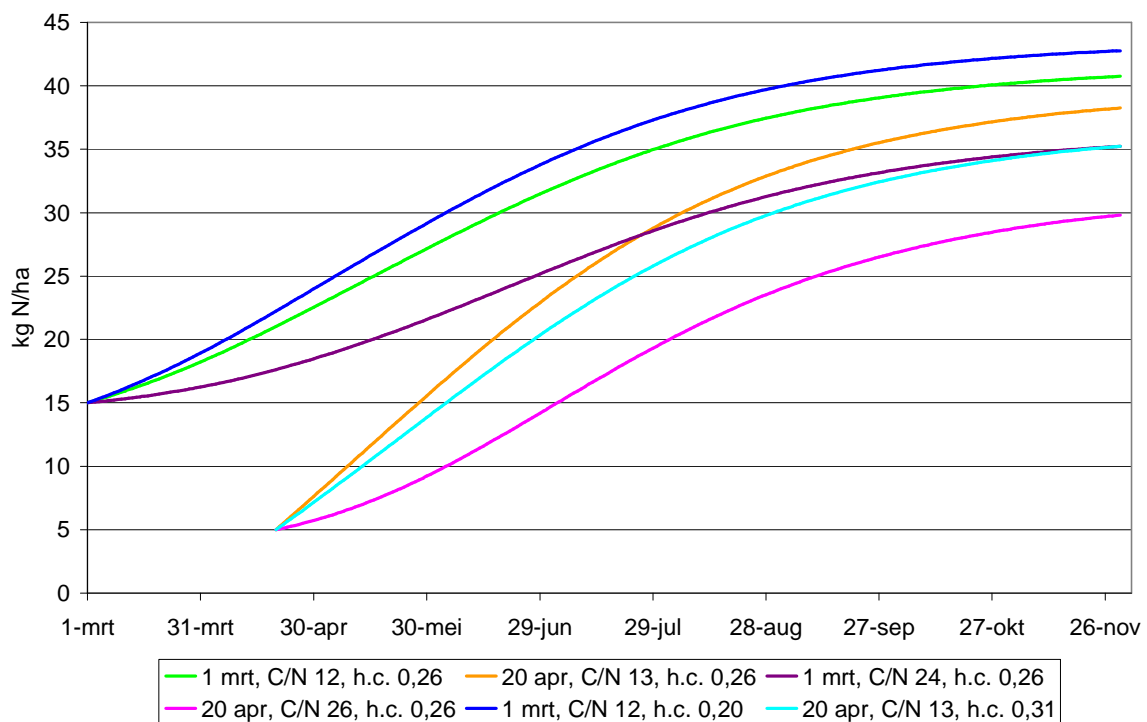
Tot slot is ook het effect van de a-waarde doorberekend, door deze bij het op 1 maart ingewerkte gewas op 1 te stellen (humificatiecoëfficiënt = 0,20) en voor het op 20 april ingewerkte gewas op 1,3 te stellen (humificatiecoëfficiënt = 0,31).

In tabel 3 en figuur 7 is aangegeven hoeveel stikstof er mineraliseert bij andere C/N-verhouding van het vanggewas of andere humificatiecoëfficiënt. Bij verdubbeling van de C/N-verhouding is de berekende mineralisatie tot het einde van de teeltperiode 6 kg N/ha lager bij inwerken op 1 maart en 9 kg N/ha lager bij inwerken op 20 april. Bij een tragere afbraak van de organische stof bij inwerken op 20 april t.o.v. een snellere afbraak bij inwerken op 1 maart, is de mineralisatie vrijwel gelijk. Door de lagere N_{min}-voorraad bij inwerken op 20 april is er echter wat minder extra stikstof beschikbaar voor de maïs dan bij inwerken op 1 maart. Als er geen verschil is in N_{min}-voorraad (genivelleerd door veel regen) zou de extra beschikbare stikstof in beide situaties gelijk zijn

Tabel 3. Stikstofmineralisatie uit het ingewerkte vanggewas tot half september, afhankelijk van C/N-verhouding en humificatiecoëfficiënt

Inwerkttijdstip:	1 maart	20 april	1 maart	20 april	1 maart	20 april
N-inhoud (kg N/ha) ¹ :	36	49	36	49	36	49
C/N-verhouding:	12	13	24	26	12	13
Humificatiecoëfficiënt:	0,26	0,26	0,26	0,26	0,20	0,31
Mineralisatie (kg N/ha)	24	30	18	21	26	27

¹ in boven- en ondergrondse delen



Figuur 7. Cumulatief mineralisatiepatroon van stikstof uit het ingewerkte vanggewas bij inwerken op 1 maart (36 kg N-totaal per ha) en 20 april (49 kg N-totaal per ha) bij verschillende C/N-verhoudingen en humificatiecoëfficiënten (h.c.), startend met de beschikbare bodemvoorraad N_{min}(0-60 cm) op het moment van inwerken van het vanggewas

3 Effecten van maaien en afvoeren van het vanggewas

In de praktijk laat men een vanggewas soms verder uitgroeien om eerst een snede te oogsten alvorens de stoppel onder te werken. Het gewas groeit dan langer door dan wanneer het direct na de winter wordt ondergeploegd. In veel gevallen wordt het vanggewas dan in het voorjaar bemest om een hogere productie te realiseren. In verreweg de meeste gevallen gaat het daarbij om Italiaans raaigras. Na het ploegen verteert de zode en mineraliseert de stikstof. Deze stikstof komt gedeeltelijk beschikbaar voor het volgend maïsgewas.

Om de maïs op tijd te kunnen zaaien, zal het vanggewas in het zuiden van Nederland uiterlijk in de 3^e week van half april moeten worden gemaaid en afgevoerd. Dit kan wat aan de vroege kant zijn. Er is een kans dat het gewas nog niet voldoende goed is ontwikkeld om te kunnen maaien, met name als de ontwikkeling in de herfst matig tot slecht is geweest en/of het begin van het voorjaar koud is, waardoor de hergroei van het gewas traag op gang komt. Wil men toch een snede oogsten, dan zal het zaaitijdstip van de maïs moeten worden uitgesteld. Dit kan opbrengst kosten.

3.1 Stikstoflevering uit de ingewerkte zode

Door het vanggewas te maaien en af te voeren (voor veevoer), wordt ook de stikstof in de bovengrondse delen afgevoerd. De stikstofinhoud van wortels en stoppels is gering (tabellen 2 en 4). Verder verteren wortels langzamer (hogere humificatiecoëfficiënt) dan bovengrondse groene plantenmassa en de C/N-verhouding in de wortels is hoog (ca. 40). Dit laatste betekent dat door vertering van de stoppels en wortels aanvankelijk immobilisatie van stikstof optreedt (onttrekking van minerale stikstof aan de bodem door de micro-organismen die de organische stof afbreken).

In het kader van het ontwikkelen van een nieuw stikstofbemestingsadvies voor snijmaïs na het oogsten van een vanggewas is door Den Boer en Ros (2005) een studie gedaan naar de stikstoflevering door een zode Italiaans raaigras en winterrogge. De stikstofmineralisatie uit de zode is daarbij berekend met behulp van het stikstofmineralisatiemodel MINIP (Janssen, 1984 en Janssen 1996). De voederwinningsverliezen zijn daarbij ingeschat op 10%. Dit is wat aan de hoge kant; onder normale omstandigheden kan dit beperkt blijven tot 5-6%. De berekende hoeveelheid stikstof die beschikbaar komt voor de maïs uit de zode hangt af van het bemestingsniveau en de oogstdatum van het vanggewas (tabel 4).

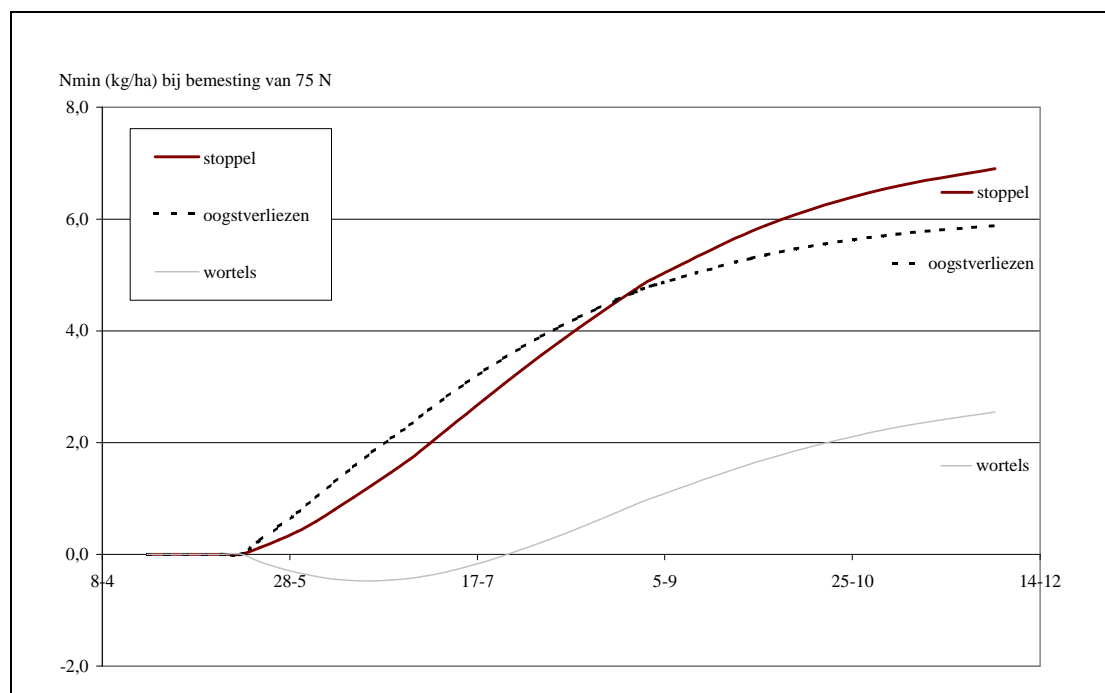
Tabel 4. **Berekende hoeveelheden ingewerkte en beschikbare stikstof uit de zode en uit voederwinningsverliezen van een geoogst vanggewas Italiaans raaigras bij verschillende bemestingsniveaus. Bron: Den Boer en Ros (2005).**

Bemesting	Inwerkdatum	Einde N-opname	Ingewerkte N (kg/ha)				Beschikbare N (kg/ha)			
			Wortel	Stoppel	Vv	Totaal	Wortel	Stoppel	Vv	Totaal
0	25-apr	15-aug	7	7.1	2.2	16.4	1	2.6	1.3	4.9
0	2-mei	18-aug	7.1	7.1	2.5	16.8	0.7	2.3	1.4	4.4
0	9-mei	22-aug	7.8	7.7	3.1	18.7	0.4	2.2	1.6	4.2
0	16-mei	26-aug	8.7	8.4	3.8	20.9	0	2.1	1.9	4
25	25-apr	15-aug	8.7	8.7	3.3	20.6	1.2	3.1	1.9	6.3
25	2-mei	18-aug	9	8.9	3.7	21.7	0.8	2.9	2.1	5.8
25	9-mei	22-aug	9.9	9.7	4.4	24	0.5	2.8	2.3	5.6
25	16-mei	26-aug	11	10.6	5.2	26.8	0	2.6	2.6	5.2
75	25-apr	15-aug	12.7	12.7	5.8	31.2	2.2	5	3.5	10.7
75	2-mei	18-aug	13.6	13.4	6.6	33.6	1.8	4.8	3.8	10.5
75	9-mei	22-aug	15.4	15.1	7.9	38.3	1.4	4.9	4.4	10.7
75	16-mei	26-aug	16.7	16.1	8.8	41.6	0.8	4.7	4.6	10.1

Uit tabel 4 blijkt dat er maar een gedeelte van de hoeveelheid stikstof uit de ingewerkte zode beschikbaar komt gedurende de stikstofopname periode van de maïs. Het deel dat beschikbaar komt, varieert van eenderde tot eenvijfde en hangt vooral af van de inwerkdatum. Het grootste deel komt dus beschikbaar na de opnameperiode van het eerstvolgende maïsgewas. Naarmate de zode later wordt geoogst en dus

ingewerkt, daalt het aandeel dat beschikbaar komt. Deze afname wordt met name veroorzaakt door het toenemende C/N-quotiënt van de wortels na het oogsten van een gewas dat verder is ontwikkeld.

In figuur 8 is verloop van de stikstofmineralisatie uit de wortel, de stoppel en voederwinningsverliezen na het oogsten van een snede op 16 mei bij een bemestingsniveau van 75 kg N/ha weergegeven. Hieruit blijkt, wanneer we er vanuit gaan dat maïs eind augustus stopt met de opname van stikstof, dat er uit zowel de stoppel als de voederwinningsverliezen ruim 4 kg stikstof beschikbaar komt door mineralisatie en dat er uit de wortels nauwelijks stikstof beschikbaar komt. Totaal komt er circa 10 kg stikstof beschikbaar. Na eind augustus, wanneer de maïs is gestopt met de N-opname, blijft er nog stikstof vrijkomen uit mineralisatie.



Figuur 8. Verloop N-mineralisatie uit de wortel, de stoppel en voederwinningsverliezen van Italiaans raaigras na het oogsten van een snede op 16 mei bij een bemestingsniveau van 75 kg N/ha.

3.2 Effect op stikstofbemesting volggewas

In paragraaf 2.5.1 is aangegeven dat bij laat inwerken na de winter het vanggewas na de winter stikstof onttrekt aan de bodem, waardoor de Nmin-voorraad bij zaai van het volggewas lager is dan na vroeg inwerken na de winter. Door het vanggewas te maaien en af te voeren, kan het volggewas verder niet profiteren van vrijkomende stikstof uit de bovengrondse gewasdelen van het vanggewas c.q. is de stikstofwerking in het volggewas lager. Daardoor moet er meer stikstof worden bemest om ervoor te zorgen dat het gewas voldoende stikstof krijgt.

De consequentie voor de stikstofbemesting is aangegeven in tabel 5. De stikstofbemestingsrichtlijn voor maïs bij bemesting vóór zaai bedraagt 205 – Nmin in de bodemlaag 0-30 cm (Van Dijk & Van Geel, 2010). De richtlijn geldt voor een perceel waar in voorgaande jaren weinig dierlijke mest is toegediend. Op een perceel waar veel dierlijke mest is toegediend, kan de gift met 25 kg N/ha worden verlaagd (Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2008).

Voor de stikstofwerking uit het ingewerkte vanggewas wordt een korting op de gift aangebracht. Als vuistregel voor de bemestende waarde van het ingewerkte vanggewas kan worden uitgegaan van 50% van de stikstof in de bovengrondse delen bij inwerken vóór half maart (Van Dijk & Van Geel, 2010). Voor later inwerken is er geen vuistregel beschikbaar. Afgaande op de mineralisatieberekening in paragraaf 2.2, zal het percentage iets lager zijn. Gemakshalve wordt uitgegaan van 45%.

Verder wordt in praktijk de stikstofopname in de bovengrondse delen van het vanggewas niet gemeten

maar geschat op basis van de gewasontwikkeling. Derhalve worden daarom de cijfers van de bovengrondse stikstofopname (tabel 2) afgerond op 30 kg N/ha respectievelijk 45 kg N/ha.

Uit de zode van een stikstofvanggewas waarvan in het voorjaar een snede is afgevoerd, hanteert de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2008) een N-levering van 5 kg N/ha indien het vanggewas met 0-50 kg N/ha is bemest en 10 kg N/ha als het met 50-100 kg N/ha is bemest.

Voor de N_{min} in de laag 0-30 cm wordt uitgegaan van de voorraad op het moment van inwerken van het vanggewas. Als bij inwerken op 1 maart de N_{min} eind april wordt gemeten, is al een deel van de stikstof uit het ingewerkte vanggewas vrijgekomen (zie paragraaf 2.2.) en dit komt tot uiting in een hogere N_{min}-waarde. Het vrijgekomen deel moet dan eigenlijk weer in mindering worden gebracht op de aangebrachte N-korting. Aan de hand van meetgegevens van Van Dijk et al. (1995) en Van Geel en Verstegen (2008) wordt bij inwerken direct na de winter uitgegaan van een N_{min} op 1 maart van 10 kg N/ha in de laag 0-30 cm en 15 kg N/ha in de laag 0-60 cm (zie ook paragraaf 2.2). Bij later inwerken is voor de modelberekening in paragraaf 2.2. uitgegaan van een 10 kg N/ha lagere N_{min} in de laag 0-60 cm op 20 april. Wanneer dit naar rato wordt verdeeld over de bodemlagen, zou dat betekenen dat er in de laag 0-30 nog 3 kg N/ha aanwezig is.

Tabel 5. **Stikstofgift snijmaïs volgens advies zonder voorafgaand vanggewas, met vanggewas inwerken en met vanggewas maaien en afvoeren (kg N/ha)**

Inwerken vanggewas	N _{min} 0-30 cm (kg N/ha)	N-korting vanggewas (kg N/ha)	N-adviesgift (kg N/ha)	
			weinig mest in verleden	veel mest in verleden
1 maart	10	30 x 50% = 15	180	155
20 april	3	45 x 45% = 20	182	157
20 april + afvoer	3	5	197	172

De stikstofgebruiksnorm voor maïs op zand bedraagt 150 kg N/ha in 2010/2011 en 140 kg N/ha in 2012/2013 voor zowel derogatie- als niet-derogatiebedrijven². Voor het vanggewas na maïs geldt geen extra stikstofgebruiksnorm. In geval van een (gras)groenbemester na 15 april een snede wordt gemaaid en afgevoerd, zou deze kunnen worden beschouwd als tijdelijk grasland. Echter, voor tijdelijk grasland na maïs geldt eveneens geen extra stikstofgebruiksruimte. Het afvoeren van een snede is dus ongunstig voor de stikstofvoorziening van de maïs. Er zou 15 kg extra N/ha moeten worden aangevoerd, maar er is geen wettelijke, extra stikstofgebruiksruimte.

² Bron: LNV loket (www.hetInvloket.nl), Mestbeleid 2010-2013: tabellen. Tabel 1: Stikstofgebruiksnormen.

4 Methoden van inwerken en knelpunten bij het inwerken

Bij het inwerken van een vanggewas is het van belang dat de groei wordt gestopt. Hiervoor is het noodzakelijk dat de zode oppervlakkig over de volledige oppervlakte wordt losgesneden, zodat de aansluiting met de ondergrond wordt verbroken. Daarnaast is het belangrijk dat het vanggewas wordt gemengd met de bovengrond om de mineralisatie te stimuleren. In de praktijk betekent dit dat een bewerkingsdiepte van 8-10 cm voldoende is (Schröder en Rensen, 2005).

Door onderploegen van een vanggewas zonder een voorafgaande bewerking wordt het materiaal vaak onvoldoende gemengd met de grond en kan een compacte, slecht verterende en zure laag ontstaan. Dit kan een nadelig effect hebben op het volggewas, omdat het voor de wortels lastig is om deze laag te doordringen. De meest gebruikelijke methode is daarom dat het vanggewas wordt ingewerkt in een aparte werkgang alvorens het land wordt geploegd.

Voor het inwerken worden in de praktijk op zandgrond verschillende machines gebruikt. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen aangedreven en niet-aangedreven machines. Over het algemeen kan worden gesteld dat de mengende werking van de aangedreven machines beter is dan die van de niet-aangedreven machines. Daar staat tegenover dat de bewerkingskosten van de aangedreven machines globaal twee keer zo hoog zijn dan van de niet-aangedreven machines.

4.1 Niet-aangedreven machines

Vaste tand cultivator

Een vaste-tandcultivator is een eenvoudige machine met (meestal) twee rijen vaste tanden die stekend bevestigd zijn, waarbij een kooirol nodig is om de werkdiepte goed in te kunnen stellen. De tanden snijden het gewas niet over de volledige oppervlakte los. Daarnaast wordt het gewas onvoldoende gemengd met de bovengrond. Bij een massaal gewas is er kans op stropen.

Schijveneg

Een schijveneg bevat over het algemeen twee rijen schuin opgestelde schijven die zorgen voor een oppervlakkige grondbewerking en menging van het vanggewas met de bovengrond. Bij een massaal vanggewas is de mengende werking meestal onvoldoende. Om te voorkomen dat de schijveneg onvoldoende diep werkt of zelfs bovenover de grond gaat lopen, moet de eg voldoende eigen gewicht hebben. Gekartelde schijven werken over het algemeen beter dan gladde schijven. Voor een optimaal mengende werking moet de bewerkingsnelheid 8-10 km/uur zijn.

Schijvcultivator

Een schijvcultivator heeft een balk met tanden plus vleugelscharen gevolgd door een balk met schijven en meestal ook nog een kooirol. De brede vleugels aan de beitels zorgen dat de zode over de volledige breedte wordt losgesneden. De schijven zorgen vervolgens voor de mengende werking en het vlak maken van de ruggen die tanden trekken. Van de niet-aangedreven machines heeft deze machine de beste werking en is daardoor ook behoorlijk populair.

Messeneg

Een messeneg heeft een aantal rijen stervormige messen die draaien aan in verstek gemonteerde assen. De werking lijkt verder op die van de schijveneg. De werking is vaak minder intensief omdat de machine over het algemeen lichter is en omdat de zode als gevolg van de stervorm in lengterichting niet over de volledige lengte wordt losgesneden.

Stoppelploeg

Met een stoppelploeg wordt een ondiepe (8-10 cm) kerende bewerking uitgevoerd waarbij het vanggewas wordt ondergewerkt. Deze machine is alleen geschikt om een vanggewas met weinig massa of een

vanggewas dat eerst is geoogst, onder te werken. Het gewas wordt beperkt gemengd met de grond. Deze machine wordt in praktijk weinig ingezet omdat de werking als weinig aanvullend wordt ervaren in combinatie met ploegen.

4.2 Aangedreven machines

Messenfrees

Een messenfrees met haakse messen snijdt de zode over de volledige oppervlakte los, verhakselt het vanggewas en mengt deze door de bovengrond. Deze machine kan in praktisch alle stadia van het vanggewas worden ingezet en de intensieve menging levert een goed uitgangspunt voor een goede mineralisatie. Opgepast moet worden dat de bewerking niet te intensief wordt uitgevoerd waardoor de grond te fijn wordt. Daarnaast wordt de beperkte capaciteit van deze machine in de praktijk als nadelig ervaren.

Pennenfrees

De werking van een pennenfrees lijkt veel op die van een messenfrees. Omdat de machine geen haakse messen heeft, wordt de zode minder vlak afgesneden dan bij een messenfrees en wordt het gewas minder verhakseld. De pennenfrees geeft een goede menging maar is mogelijk minder geschikt voor een ver uitgroeid vanggewas.

Rotorkoepel

De ronddraaiende verticale pennen van een rotorkoepel maken de bovengrond goed los maar werken het gewas niet altijd goed in.

4.3 Doodspuiten

Als alternatief voor het inwerken wordt in de praktijk het vanggewas ook wel eens doodgespoten met een lichte dosering glyfosaat. Dit wordt dan vaak in een vroeg stadium gedaan om het gewas zonder of met een hele eenvoudige methode te kunnen inwerken. Hierbij moet worden bedacht dat een vanggewas dat in een zeer vroeg stadium wordt doodgespoten, ook minimaal bijdraagt aan de organische-stofvoorziening. Een ander argument voor het doodspuiten van het vanggewas is soms dat men in de veronderstelling is dat dit een betere mineralisatie geeft dan inwerken. Echter, vaak wordt een vroeg bespuiting vergeleken met een latere mechanische inwerking.

4.4 Klepelen

Wanneer het vanggewas ver is uitgroeid, kan het afgemaaid en verhakseld worden met een klepelmaaier. Deze machine is niet gevoelig voor stropen en verstoppen. Klepelen kan als voorbereiding worden toegepast voordat er mest wordt geïnjecteerd of wordt geploegd. Omdat de zode intact blijft kan het gewas blijven doorgroeien. Om te voorkomen dat er teveel hergroei optreedt, moet klepelen snel gevolg worden door ploegen. Klepelen komt in de praktijk weinig voor omdat de machine relatief duur is en niet voor andere doeleinden kan worden ingezet.

5 Discussie en aanbevelingen voor onderzoek

De verschillende literatuurbronnen zijn niet eenduidig over het optimale inwerktijdstip in het voorjaar van een winterhard stikstofvanggewas. Bij inwerken in januari (zoals Van Dam (2006) aangeeft, lijkt het overigens denkbaar dat in een natte periode in het voorjaar mogelijk toch een deel van de stikstof verloren gaat. Later inwerken verkleint wellicht de kans op uitspoelingsverliezen. Overigens mag volgens de wet het stikstofvanggewas na maïs in Nederland niet vóór 1 februari worden vernietigd³.

Algeheel komt wel naar voren dat het vanggewas vroeg in het voorjaar moeten worden ingewerkt, het liefst voordat er hergroei en stikstofopname optreedt. Bij inwerken na 1 februari lijkt het voor de stikstofopname van het volggewas maïs niet zo heel veel uit te maken of het vanggewas een paar weken vroeger of later wordt ingewerkt. Het is bovendien afhankelijk van de C/N-verhouding van het vanggewas, de neerslag-situatie en stikstofverliezen in de periode einde winter – voorjaar. Dat laatste is vooraf niet te voorspellen. Door deze “jaarsinvloed” is meerjarig onderzoek nodig om een goed beeld te krijgen van het effect van inwerktijdstip in het voorjaar van het stikstofvanggewas.

Laten hergroeien van het vanggewas en pas later in het voorjaar inwerken (kort voor zaai van de maïs), leidt niet tot een hogere stikstofbeschikbaarheid voor de volgteelt maïs. Dit kwam duidelijk naar voren in het onderzoek van Thorup-Kristensen en Dresbøll (2010a; zie paragraaf 2.1.5). Het vanggewas was in dit onderzoek echter al vroeg gezaaid (begin augustus), ruim met stikstof bemest en nam veel stikstof op. Bij zaai in de 2^e helft van september, na de oogst van maïs, is de stikstofinhoud van het vanggewas veel lager. De verschillen in beschikbaarheid van stikstof als gevolg van inwerktijdstip zullen dan ook naar rato lager zijn.

Uit de modelberekening in paragraaf 2.2 komen kleine verschillen naar voren. Deze is echter gebaseerd op een gemiddelde stikstofopname, temperatuur enz. en bepaalde aannames. Individuele situaties kunnen daarvan afwijken door een hogere of lagere stikstofopname door het vanggewas en door verschil in groeiomstandigheden in het vroege voorjaar (temperatuur, straling, neerslaghoeveelheid). Een belangrijk nadeel van laat inwerken van het vanggewas is dat er minder beschikbaar vocht voor de maïs overblijft in de bodem. Verder is er mogelijk meer hinder van de gewasresten bij het zaaien, poten of planten van het volggewas t.o.v. vroeg inwerken. Laat inwerken in het voorjaar lijkt dus ongunstig voor de volgteelt.

De C/N-verhouding heeft belangrijke invloed op de snelheid waarmee de stikstof uit het ingewerkte vanggewas vrijkomt. Diverse bronnen geven aan dat een product met een C/N-quotiënt van <15 neigt tot mineralisatie en een product met een C/N-quotiënt van >25-30 tot immobilisatie.

De hypothese die voor het huidige praktijkadvies wordt gebruikt, is dat een vanggewas met een C/N-verhouding <15 (N-gehalte >3%) niet voor medio maart ingewerkt moet worden om verlies door te snelle stikstofmineralisatie te voorkomen en dat een vanggewas met een C/N-verhouding >25 (N-gehalte <1,8%) niet na eind februari moet worden ingewerkt om te voorkomen dat er te veel stikstof vrijkomt na de opnameperiode van maïs. Een goede kwantitatieve onderbouwing van het juiste tijdstip van inwerken gerelateerd aan het gewasstadium/stikstof rijkdom ontbreekt echter.

Het verdient daarom aanbeveling om de interactie tussen inwerktijdstip voorjaar en C/N-verhouding nader te onderzoeken en na te gaan hoe sterk die interactie is en of het optimale inwerktijdstip in het voorjaar kan worden bepaald aan de hand van het N-gehalte in de droge stof van het vanggewas of aan de hand van andere gewasmerken. Om een goed beeld van die interactie te verkrijgen, moeten de inwerktijdstippen niet te dicht bij elkaar liggen, omdat de verschillen anders mogelijk te klein zijn en niet goed van elkaar te onderscheiden. De proefopzet kan bestaan uit drie inwerktijdstippen in het voorjaar (begin februari, half maart, 2^e helft april) bij hoge en lage C/N-verhoudingen van het winterharde stikstofvanggewas. Verschil in C/N-verhouding van het gewas zou kunnen worden gecreëerd door het vanggewas in de herfst op te laten

³ Bron: LNV loket (www.hetInvloket.nl), Mestbeleid 2010-2013: tabellen. Tabel 10b: Toegestane vanggewassen na telen van maïs op zand- en lössgrond

groeien onder stikstofarme en onder stikstofrijke omstandigheden (ofwel door in de proef N-trappen aan te brengen in de herfst).

Ook het soort gewas heeft invloed op de snelheid waarmee de stikstof mineraliseert na inwerken. Als de stikstof wat langzamer mineraliseert door een tragere afbraak van de organische stof (o.a. raaigras ten opzichte van winterrogge) kan het gewas wellicht beter iets eerder worden ingewerkt.

Het afvoeren van een snede na hergroei van het vanggewas is ongunstig voor de stikstofvoorziening van de volgteelt maïs. Er moet daardoor eigenlijk wat meer stikstof worden gegeven aan de maïs, maar er is geen extra stikstofgebruiksruimte. Bovendien wordt met het afvoeren van de snede niet voorkomen dat er in de herfst nog extra stikstof mineraliseert, nadat de stikstofopname door de maïs is gestopt. Ook uit alleen de ingewerkte zode komt nog stikstof vrij in de herfst.

Een geringe hoeveelheid extra stikstofmineralisatie in de herfst hoeft echter geen bezwaar te zijn in een monocultuur maïs waarbij steeds een winterhard vanggewas na de maïs wordt geteeld. Deze kan de extra stikstof weer vastleggen en de winter overtillen, waardoor de stikstof toch in het bodem-plantsysteem blijft. Gelet op bovenstaande lijkt het niet zinvol om het effect van afvoeren van een snede, na hergroei van het vanggewas, in een veldproef nader te onderzoeken. Bovendien is een discussiepunt voor de opzet van zo'n proef of het vanggewasobject in het voorjaar wel/of geen extra stikstofgift zou moeten krijgen om de hergroei te stimuleren en een goede snede te kunnen oogsten.

Over de methoden van inwerken van vanggewassen en hoe goed of slecht de diverse machines het vanggewas inwerken en mengen met de bovengrond is veel bekend. Er zijn geen concrete onderzoeksvragen over de methode van inwerken. Het zijn vooral praktische aspecten en kostprijs die de keuze van het werktuig bepalen.

Het doodspuiten van het vanggewas versus inwerken zou nog wel in een veldproef kunnen worden vergeleken t.a.v. de in praktijk veronderstelde verschillen in mineralisatie.

Literatuur

Bosch, H. & P. de Jonge (1989). Handboek voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond 1989. Publicatie nr. 47, PAGV, Lelystad, 252 p.

Boer, D.J. den & G.H. Ros (2005). Bemestingsadvies voor snijmaïs na het oogsten van een snede gras of vanggewas. Rapport 967.04, Nutriënten Management Instituut NMI B.V. Wageningen, 59 p.

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2008). Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Animal Sciences Group, Wageningen UR.

Dabney, S.M., J.A. Delgado & D.W. Reeves (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analyses* 32, p. 1221-1250

Dam, A.M. van (2006). Understanding the reduction of nitrogen leaching by catch crops. Proefschrift Wageningen Universiteit, 171 pp.

Dijk, W. van & W. van Geel (2010). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 100 p. + bijlagen. *Alleen elektronisch beschikbaar op de web site Kennisakker (www.kennisakker.nl)*

Dijk, W. van, E. Brommer & G. Korthals (2006). (On)mogelijkheden van stikstofvanggewassen na maïs op akkerbouwbedrijven. Projectnr. 32 500229 00. PPO-AGV, Lelystad, 16 pp.

Dijk, W. van, J.J. Schröder, L. ten Holte & W.J.M. de Groot (1995). Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Verslag van onderzoek op ROV Aver-Heino tussen voorjaar 1991 en najaar 1994. Proefstation voor Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, verslag nr. 201, Lelystad, 97 pp.

Erp, P.J. van & K. de Jager (1992). Drogestofproductie, N-opneming en N-bemesting van winterrogge geteeld als groenbemester. *Meststoffen* 1992, p. 21-30.

Geel, W.C.A. van & H.A.G. Versteegen (2008). Wintergerst als groenbemester en stikstofvanggewas. Projectrapport 3253013350, PPO-AGV, Lelystad, 17 pp.

Geel, W. van & J. de Haan (2007). Effecten van organische-stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische-stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem. Bijlage 2. PPO-AGV, Lelystad, projectnr. 32530133, 27 pp.

Hilhorst, G.J. & J. Verloop (2009). Opbrengst vanggewas na maïs. Rapport nr. 51, Koeien & Kansen, 21 p.

Hoek, J. & J. Paauw (2009). Perspectieven van verschillende gewassen als stikstofvanggewas na de oogst van maïs. PPO, Lelystad, project 3250143300, 19 p.

Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. *Plant and Soil* 76, p. 297-304.

Janssen, B.H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, p. 39-45.

Janssen, B.H. (2002). Organic Matter and Soil Fertility. *Collegedictaat J 100-225*, editie 2002, Landbouwuniversiteit Wageningen, 247 p.

- Janssen, B.H. & H. van Reuler (1986). Het effect van de toediening van organisch materiaal aan de grond. Themaboekje 7, PAGV, Lelystad, p. 7-19.
- Laarhoven, G.C.P.M. van, M.W.J. Stienezen, H. Everts & A. van den Pol van Dasselaar (2003). Voorjaarsgebruik vanggewassen. PraktijkRapport Rundvee 41, Animal Sciences Group Wageningen UR, Lelystad, 21 p.
- Macdonald, A.J., P.R. Poulton, D.G. Christian & M.T. Howe (1996). Mineralization of cover crop N: its contribution to subsequent crop N uptake and loss. In: J.J. Schröder (Ed), Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. Second progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. AB-DLO Nota 53, p. 109-114.
- Miller, R.W. & R.L. Donahue (1990). Soils: An introduction to soils and plant growth. Ed. 6, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 768 p.
- Schoot, J.R. van & W. van Dijk (2001). N- en P-afvoer akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO-AGV, Lelystad, 13 pp. + bijlagen.
- Schooten, H.A. van, Philipsen, A.P. & Groten, J.A.M. (2009). Handboek snijmaïs. Praktijkboek 44. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, 190 p.
- Schröder, J. (1998). Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soils. Proefschrift Wageningen Universiteit, 223 pp.
- Schröder, J.J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer & E.J. Jansen (1992). Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Proefstation voor Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, verslag nr. 148, Lelystad, 105 pp.
- Schröder, J. & J. Rensen (2005). Mest en mineralenkennis voor de praktijk. Vanggewas na maïs. Blad 1 uit serie Rundveehouderij, www.hetInvloket.nl.
- Schröder, J.J. (1995). Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. First progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. AB-DLO Report 59, 2..p.
- Schröder, J.J., W. van Dijk & W.J.M. de Groot (1996). Effects of cover crops on the nitrogen fluxes in a silage maize production system. Netherlands Journal of Agricultural Science 44, p. 293-315
- Schröder, J.J. (1996). Estimates of the carbon and nitrogen yield of shoots and roots of cover crops. In: J.J. Schröder (Ed), Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. Second progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. AB-DLO Nota 53, p. 81-93.
- Schröder, J.J. (2010). Persoonlijke mededelingen
- Schreuder, R., M. van Leeuwen, J. Spruijt, M. van der Voort, P. van Asperen & V. Hendriks-Goossens (2009). Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2009. Publicatie: PPO 383. PPO-AGV, Lelystad, 280 pp.
- Silgram, M. & R. Harrison (1997). Mineralisation of cover crop residues over the short and medium term. In: J.J. Schröder (Ed), Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. Third progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. AB-DLO, p. 12-23.
- Thorup-Kristensen, K, J. Magid & L. Stoutmann Jensen (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Advances in Agronomy, vol. 79, p. 227-302.

Thorup-Kristensen, K. & D.B. Dresbøll (2010a). Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. *Soil Use and Management*, March 2010, 26, p. 27-35.

Thorup-Kristensen (2010b). Persoonlijke mededeling.

Timmer R.D., G.W. Korthals & L.P.G. Molendijk (2003). Groenbemesters: van teelttechniek tot ziekten en plagen. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Lelystad. 59 p.

Velthof, G.L., P.J. van Erp & J.C.A. Steevens (1998). Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadvisering. *Meststoffen 1997/1998*, p. 20 -28.

Vos, J. en P.E.L. van der putten (2001). Field observations on nitrogen catch crops. III. Transfer of nitrogen to the succeeding main crop. *Plant and Soil* 236, p. 263-273.

Whitmore, A.P. (1995). Modelling the release and loss of nitrogen after the incorporation of crop residues. In: J.J. Schröder (Ed), Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. First progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. AB-DLO Report 59, 29-45.