Louis Bolk Instituut

In opdracht van:

bo voor de akkerbouw van morgen

Bouwstenen voor evenwichtige bemesting in de biologische landbouw

Met de focus op de stikstofcyclus op zand- en lössgronden

Bram Avezaat, Sander van Acquoij, Merel Hondebrink

© 2025 Louis Bolk Instituut, Bunnik

Bouwstenen voor evenwichtige bemesting in de biologische landbouw

Met de focus op de stikstofcyclus op zand- en lössgronden

Bram Avezaat, Sander Acquoij, Merel Hondebrink

47 pagina's

Publicatienummer: 2025-6390-LbP

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
𝕏 @LouisBolk

Foto op de voorkant: Grasklaver onderwerken op een biodynamisch akkerbouwbedrijf.

Inhoud

1 Begrippenlijst **4**

2 Samenvatting **5**

3 Inleiding **7**

4 Algemeen **9**

4.1 Biologische landbouw in NL 9
4.2 Wet- en regelgeving algemeen en bemesting 10
4.3 Stikstofcyclus in de biologische akkerbouw 13

5 Gewasbehoefte **15**

5.1 Opbrengsten 15
5.2 Stikstofopname van gewassen in de biologische akkerbouw 16
5.3 Stikstofopname gedurende het groeiseizoen 17
5.4 Ervaringen van akkerbouwer Maarten Robben 18

6 Stikstoflevering vanuit de bodem **20**

6.1 Eigenschappen van de bodem 22
6.2 Bodem-plant-interacties 22
6.3 Bodemleven 23

7 Groenbemesters en vanggewassen **25**

7.1 Stikstoftoevoer door middel van groenbemesters en gewasresten 25
7.2 Vanggewassen 29
7.3 Ervaringen van akkerbouwer Jeroen Nieuwhof 30

8 Mest **32**

8.1 Samenstelling en eigenschappen van de mest 32
8.2 Bodem, plant of allebei bemesten? 35
8.3 Bemesting: timing en methode 36

9 Balansmethode **38**

10 Conclusie en aanbevelingen **40**

Aanbevelingen 41

11 Literatuur **43**

1 Begrippenlijst

Afkorting/term	Definitie
C	Element koolstof
C/N	Koolstof-stikstofratio of koolstof-stikstofverhouding
Demeter	Keurmerk biodynamische landbouw
EOS	Effectieve organische stof
HC	Humificatiecoëfficient
K_2O	Kaliumoxide
N	Element stikstof
N_2	Distikstof / stikstofgas (niet reactief, hoofdbestanddeel van lucht)
NDICEA	Stikstof & koolstofplanner. Keuzehulp bij maatwerk bemesting door betrouwbare voorspellingen van nutriëntentekorten of -overschotten in de bodem
NH_3	Ammoniak
NH_4^+	Ammonium
Nitrificatie	Bacteriën zetten ammonium om in nitraat (NO_3^-) via nitriet (NO_2^-) als tussenstap.
NLV	Stikstofleverend vermogen. De stikstofvoorziening vanuit de bodem dat vrijkomt door mineralisatie van organische stof.
N_2O	Lachgas
NO_2^-	Nitriet
NO_3^-	Nitraat
NUE	Nitrogen Use Efficiency, stikstof-efficiëntie
NV-gebieden	nutriënten verontreinigde gebieden
P_2O_5	Fosfaat
PPS BAAT	Publiek-Private-Samenwerking BemestingsAdvies Akkerbouw Toekomstgericht
SKAL	Keurmerk biologische landbouw. De onafhankelijke toezichthouder op de biologische voedselketen in Nederland
Stikstofmineralisatie	Het is het proces waarbij organische stikstof uit organisch materiaal door micro-organismen wordt omgezet in anorganische stikstofvormen (zoals ammonium en nitraat) die planten kunnen opnemen

2 Samenvatting

De nitraatconcentratie in het bovenste grondwater voldoet nog niet overal in Nederland aan het doel van maximaal 50 mg NO_3-/liter, zoals gesteld in de EU-nitraatrichtlijn. Ook in de (biologische) akkerbouw moeten in veel gebieden nog stappen gezet worden om de toekomstbestendigheid te garanderen. Vanuit BO Akkerbouw is er een sectorplan ontwikkeld met als doel om de normen voor grondwaterkwaliteit te behalen. Eén onderdeel van dit sectorplan is kennis & inzicht creëren om telers te helpen de juiste keuze te maken wat betreft hun bemesting. In dit rapport, in opdracht van BO Akkerbouw, wordt bestaande kennis rondom stikstofopname en –uitspoeling in de biologische akkerbouw gebundeld, en worden mogelijkheden voor doorontwikkeling binnen de biologische akkerbouw benoemd. De focus ligt hierbij op zand- en lössgronden vanwege het relatief hoge risico op stikstofuitspoeling.

Onderzoek toont aan dat omschakeling naar biologische landbouw leidt tot verschillende positieve (maatschappelijke) effecten, zoals meer biodiversiteit, minder uitstoot van broeikasgassen en ook minder totale stikstofverliezen. Zo is de nitraatuitspoeling per hectare op biologische akkerbouwbedrijven over het algemeen lager dan op gangbare akkerbouwbedrijven. De andere stikstofemissie-routes zijn naar de lucht in de vorm van ammoniak (NH_3) en lachgasemissies (N_2O). Hier is geen data van beschikbaar voor specifiek de biologische akkerbouw, maar er zijn aanwijzingen dat deze emissieroutes ook lager uitvallen.

Opbrengsten in de biologische akkerbouw worden in Nederland ingeschat op ongeveer 75-80% van de gangbare akkerbouw. Dit verschilt echter sterk per gewas en regio. Data over biologische opbrengsten op zand- en lössgronden zijn schaars. Beschikbare stikstof is vaak een limiterende factor voor productie in de biologische teelt. Hierbij gaat het niet alleen om de totale hoeveelheid stikstof, maar ook of de stikstoflevering vanuit mineralisatie goed aansluit met de opname van het gewas. Om de levering van stikstof beter af te stemmen met de gewasbehoefte is kennis nodig over het verloop van de stikstofopname van verschillende gewassen. Daarnaast is inzicht nodig in hoeveel stikstof wordt afgevoerd met de oogst en hoeveel op het land achterblijft in de gewasresten.
Mineralisatie van organisch stof in de bodem blijkt sterk bij te dragen aan de stikstofopname van verschillende gewassen. In sommige gevallen is 40-50% van de stikstofopname afkomstig uit de bodem, ondanks hoge N-giften via mest. Echter is het in de praktijk vaak lastig om stikstoflevering van de bodem in te schatten. Mineralisatie in de bodem is namelijk afhankelijk van meerdere biologische, fysische en chemische processen. Onderzoek naar, en validatie van praktijkgerichte methodes om het NLV in te schatten is van belang om beter inzicht te krijgen in dit onderdeel van de stikstofcyclus.
De nalevering van groenbemesters, vanggewassen en gewasresten kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de stikstofopname van het volggewas. Stikstof nalevering van groenbemesters is afhankelijk van de mineralisatie van de gewasresten. Hierdoor is deze

nalevering, net zoals het NLV, lastig om te kwantificeren in de praktijk. Een actualisering en verdere uitbreiding van kengetallen over de nalevering van groenbemesters kan telers handvatten bieden om deze nalevering beter mee te nemen in beheerplannen. Ook groenbemester management zoals de methode van inwerking en bewerking van de groenbemester heeft waarschijnlijk veel invloed op de nalevering, echter zijn hier weinig kwantitatieve inzichten over.

Organische meststoffen leveren stikstof voornamelijk door de mineralisatie van organisch materiaal. Hierdoor is de snelheid en hoeveelheid stikstof die vrijkomt na bemesting sterk afhankelijk van o.a. temperatuur en bodemvocht. Op momenten in het groeiseizoen wanneer mineralisatie traag verloopt, zoals het vroege voorjaar, kunnen hierdoor tekorten ontstaan. Het optimaal benutten van organische mest blijft een belangrijke doorontwikkeling voor de biologische sector. O.a. het kwantitatieve effect van bewerkingen van meststoffen, en de methode van toediening zijn mogelijke kennisvragen. Dit is input voor de sectoraanpak van BO Akkerbouw.

Tabel: Samenvattend overzicht van bestaande kennis over bemesting met focus op stikstof in de biologische akkerbouw en mogelijkheden voor doorontwikkelingen.

Onderdeel	Invulling/inzichten per onderdeel	Aanbevelingen en lacunes in informatie
1. Actuele wet- en regelgeving in biologische sector	Bemesting met B-meststoffen: maximaal 30% Vanggewas op zand- en lössgrond in het najaar verplicht	
2. Gewas	Oogst biologische gewassen verschilt sterk per gewas.	KWIN: uitbreiding opbrengstdata voor bio, vooral voor zand/löss gronden
	N-opname en N-beschikbaarheid zijn vaak niet in balans	Verkrijg inzicht in N-opname verloop van bio gewassen
	Onvoldoende kennis over N-gehaltes in oogst en gewasresten.	Verkrijg inzicht in N-allocatie in oogst en gewasresten
3. Bodem	NLV zeer grote bijdrage aan stikstoflevering	Bestudeer de bijdrage van het NLV aan de stikstofopname van bio gewassen
	Complexiteit inschatting NLV: modellen bieden uitkomst	Wat is het kwantitatieve effect van bodemleven op NLV
	Bodemleven speelt centrale rol	Onderzoek het effect van beheer op NLV
4. Groenbemesters	Aanzienlijke N-levering door groenbemesters en gewasresten	Uitbreiding kengetallen N-nalevering van groenbemesters en gewasresten
	Vang- en rustgewassen cruciaal voor verminderen van uitspoeling.	Onderzoek het kwantitatief effect van management op nalevering.
		Onderzoek alternatieve verwerking zoals maaimeststoffen
5. Mest	Combinatie van plant- en bodemgerichte meststoffen optimaal	Behoefte aan snelwerkende meststoffen bij trage mineralisatie
	Uitgebreid overzicht van EOS van meststoffen en gewasresten is beschikbaar	Verkrijg inzicht op het effect van meststoffen op NLV & bodemleven.
		Een lange termijn studie over bemesting op zandgrond ontbreekt.

3 Inleiding

De nitraatconcentratie in het bovenste grondwater voldoet nog niet overal in Nederland aan het, in de EU-nitraatrichtlijn, gestelde doel van maximaal 50 mg NO_3^-/liter (11,3 mg $N\text{-}NO_3$). Ook in de akkerbouw moeten in veel gebieden nog stappen gezet worden om de toekomstbestendigheid te garanderen. De leden van BO Akkerbouw hebben een sectoraanpak ontwikkeld met als doel de normen voor grondwaterkwaliteit (nitraat) te halen op basis van doelsturing. Het sectorplan bestaat uit drie pijlers: 1) kennis & inzicht, 2) meten & monitoren en 3) effectief sturen op emissies. Gegeven de vele factoren die een rol spelen bij het vrijkomen van stikstof in bodems, de vaak grote hoeveelheden stikstof die beschikbaar komen, en de niet altijd even goede benutting van deze stikstof door de geteelde gewassen lijkt een meer uitgekiend bouwplan, bemesten, rekening houdend met de kwaliteit van de aangevoerde meststoffen en zicht op de bodemmineralisatie de basis voor verduurzaming van het bodemgebruik en het verminderen van de nitraatconcentratie in het grondwater. De onderzoeksvraag, in opdracht van BO Akkerbouw, die wordt beantwoord in dit literatuuronderzoek is: Bestaan er voor biologische telers mogelijkheden om gewassen te bemesten naar behoefte en zo ja, op welke manier?

Idealiter worden met de bemesting net zoveel nutriënten aan de bodem worden toegediend, als er worden afgevoerd via het geoogste gewas. In theorie worden op deze manier geen extra nutriënten aan het ecosysteem toegevoegd en blijft de nutriëntenbalans neutraal. Om vast te stellen hoeveel er bemest mag worden volgens de balansmethode, moet eerst worden berekend hoeveel nutriënten er zullen worden afgevoerd via het geoogste gewas (Hoofdstuk 5: Gewasbehoefte). Voor een effectieve bemesting is het belangrijk dat de opbrengst én nutriëntengehaltes in het geoogste product per perceel worden bepaald. In de praktijk zullen er echter altijd wat verliezen optreden, omdat de plantbeschikbaarheid van de toegevoegde nutriënten en de plantopname nooit volledig op elkaar aansluiten. Ook zijn er in de bodem nog voorraden van nutriënten (o.a. stikstof) aanwezig in de vorm van organische stof die geleidelijk zullen vrijkomen door mineralisatie van de organische stof (Hoofdstuk 6: Stikstoflevering vanuit de bodem). Dit is afhankelijk van de keuzes van voorgaande gewassen, groenbemesters en vanggewassen (Hoofdstuk 7: Groenbemesters en vanggewassen). Wanneer de plantbeschikbaarheid van nutriënten op een bepaald moment hoger is dan de behoefte vanuit het gewas is er een risico op uitspoeling. Door het mobiele karakter van nitraat is er in de gevallen van lagere opbrengst door weersomstandigheden een hoog risico op nitraatuitspoeling. Voor de biologische teelt is er, in vergelijking tot de gangbare teelt, minder mogelijk op het gebied van bijsturing door bemesting gedurende het groeiseizoen. Simpelweg omdat er minder toegestane meststoffen zijn voor de biologische sector (Hoofdstuk 8: Mest). Hierdoor is de uitdaging voor biologische boeren om hun bodem en gewas op orde te hebben nog relevanter dan voor gangbare boeren.
In deze literatuurstudie wordt een overzicht gegeven van de informatie die voorhanden is of juist ontbreekt om te komen tot een balansmethode voor bemesting voor de biologische landbouw.

De focus ligt op zand- en lössgronden. Aangezien het risico van uitspoeling het hoogst is. Veelal is de informatie vaker beschikbaar voor kleigronden. Dit wordt specifiek vermeld in de tekst. In het laatste hoofdstuk worden enkele aanbevelingen voor doornontwikkeling gegeven (Hoofdstuk 10 Conclusie en aanbevelingen). Dit is input voor de sectoraanpak van BO Akkerbouw.

4 Algemeen

4.1 Biologische landbouw in NL

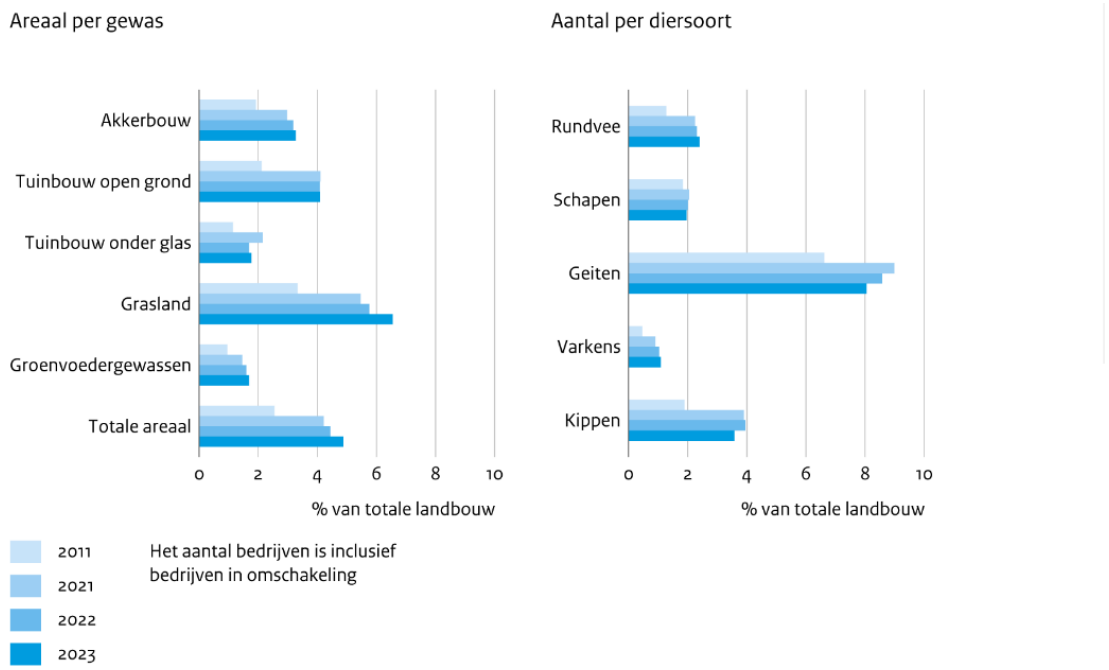
Nederland heeft de ambitie om in 2030 15% van het landbouwoppervlak te gebruiken voor biologische landbouw (Ministerie LVVN, 2022). Het totale aandeel gecertificeerd biologische areaal in het totaal areaal van de CBS-Landbouwtelling is 4,7% in 2024. Van de in totaal 1.931 gecertificeerde biologische bedrijven in 2024 zijn er 300 biologische akkerbouwbedrijven en 210 tuinbouwbedrijven (Berkhout et al., 2024). Verder zijn er 790 bedrijven graasdierbedrijven, (waaronder 546 melkveebedrijven) en biologische 308 bedrijven hokdierbedrijven. Grasland is qua oppervlakte het belangrijkste biologische gewas, met 76% van het oppervlakte (Berkhout et al., 2024). Er zijn verschillen in de hoeveelheden gecertificeerde biologische bedrijven en landbouwareaal tussen de verschillende provincies (Figuur 1).
Het aandeel biologische akkerbouwbedrijven is het hoogst op kleigronden. 5,2% van het totale landbouwareaal op klei is biologisch. Zand en lössgronden hebben 1,8% van het totale landbouwareaal met biologische teelten (Agrimatie, 2023).

Een groot verschil tussen biologische en gangbare akkerbouw is de rotatie van de gewassen, ook wel bouwplan of vruchtwisseling genoemd. De vruchtwisseling in de biologische akkerbouw is ruimer dan bij gangbaar. Dit heeft te maken met de instandhouding en verbetering van de bodemkwaliteit, en daardoor de vermindering in ziekte- en plaagdruk en de regelgeving. In de gangbare akkerbouw wordt hetzelfde gewas vaak eens in de vier jaar geteeld (1-op-4 rotatie), in de biologische teelt is dit in de praktijk veelal eens in de zes tot acht jaar (1-op-6 tot 8 rotatie). Gewassen met het grootste areaal in de biologische akkerbouw zijn in 2024 aflopend in aantal hectares: granen (4757 ha); uien (1678 ha); consumptieaardappelen (1640 ha); winterpeen (1248 ha); erwten (946). Daardoor wordt biologische akkerbouw ook wel biologische akkerbouwmatige groenteteelt genoemd. Het bouwplan bevat ook meer rustgewassen, zoals grasklaver of luzerne (CBS, 2024).

Tabel 1 Aantal biologisch en in omschakeling zijnde land- en tuinbouwbedrijven en arealen naar provincie, 2024 (CBS, 2024).

	Biologisch gecertificeerd		Aandeel biologische t.o.v. totaal		In omschakeling met certificaat		In omschakeling zonder certificaat	
	Aantal bedrijven	Areaal	Aantal bedrijven	areaal	Aantal bedrijven	Areaal	Aantal bedrijven	Areaal
		x 1.000 ha	%	%		x 1.000 ha		x 1.000 ha
Groningen	111	5,7	4,6	3,6	24	0,3	16	0,3
Friesland	186	12,1	4,6	5,3	48	0,8	15	0,3
Drenthe	101	7,2	3,8	4,9	29	0,9	11	0,1
Overijssel	196	7,9	3,1	4,0	45	0,7	15	0,1
Flevoland	232	12,7	14,4	14,3	30	0,4	12	0,3
Gelderland	384	11,5	4,5	5,1	69	0,5	30	0,4
Utrecht	133	4,6	5,9	6,4	34	0,5	12	0,1
Noord-Holland	128	6,6	3,9	5,2	29	0,3	10	0,3
Zuid-Holland	109	4,6	2,6	4,0	26	0,6	10	0,3
Zeeland	74	2,5	2,8	2,1	15	0,1	8	0,1
Noord-Brabant	197	7,0	2,2	3,0	47	0,9	20	0,2
Limburg	80	2,9	2,3	3,1	23	0,4	11	0,1

* Voorlopige cijfers.
Bron: CBS.



Figuur 1: Aandeel biologische landbouw in % van de totale landbouw per gewas en diersoort (CLO, 2024)

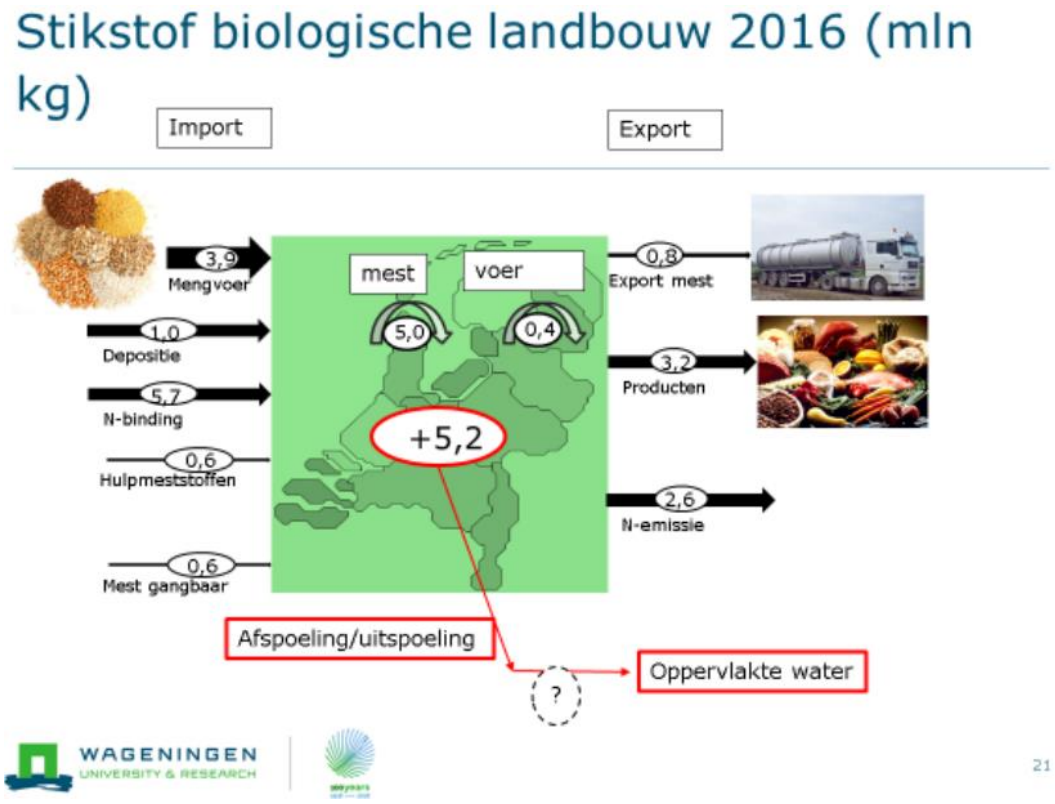
4.2 Wet- en regelgeving algemeen en bemesting

Op percelen landbouwgrond op zand- en lössgronden geldt sinds 2023 een rotatie waarbij eens in de 4 jaar een rustgewas wordt toegepast. Dit is een maatregel vanuit het 7de Actieprogramma Nitraatrichtlijn om uitspoeling van stikstof naar het grondwater te verminderen. Deze maatregel geldt niet voor de biologische sector, maar wordt in praktijk wel vaak toegepast.
Daarnaast geldt de verplichting van het telen van een vanggewas op bouwland voor zand- en lössgronden (RVO, 2023). Een vanggewas moet tot 1 februari blijven staan. De wet- en regelgeving stelt dat het vanggewas na de hoofdteelt voor 1 oktober moet zijn ingezaaid. Is dit niet het geval, dan wordt er een korting toegepast op de stikstofgebruiksnormen voor het jaar daarop (tussen 2 okt t/m 14 okt = 5 kg N/ha minder; tussen 15 okt t/m 31 okt = 10 Kg N/ha minder; vanaf 1 nov 20 kg N/ha minder). Deze wet- en regelgeving geldt ook voor de biologische sector.

4.2.1 Type bemesting

Bemesting wordt gestuurd door wet- en regelgeving. De wet- en regelgeving voor type bemesting in de biologische landbouw in Nederland is gebaseerd op de Europese biologische verordeningen. In de verordening (EU) 2021/1165 met aanvulling van (EU) 2018/848 staat de toelating van bepaalde producten en stoffen voor gebruik in de biologische productie (bijlage II van de verordening: Toegestane meststoffen, nutriënten en bodemverbeteringsmiddelen) (EU, 2018, 2021). In Nederland zijn de meststoffen opgedeeld in 3 categorieën: A, B en C. In de biologische sector zijn alleen A (o.a. mest van biologisch gecertificeerde dieren en compost van biologisch plantaardig materiaal) en B meststoffen (o.a. niet-biologische mest van rundvee, geiten, schapen en paarden. Voorwaarde is dat de dieren weidegang of uitloop hebben, of een

deels van strooisel voorziene vloer. Ook mest van vleeskalveren en vaste mest van scharrelvarkens zijn alleen onder deze voorwaarden toegestaan) toegestaan. Waarbij het percentage aanwending van gangbare (drijf)mest (dus B-meststof) maximaal 30% is, dat is toegestaan bij biologische (akkerbouw)bedrijven (*Skal*, z.d.). Het gebruik van de categorie C-meststoffen is verboden in de biologische landbouw (o.a. gangbare pluimveemest en gangbare champost). Gangbare meststoffen zijn op dit moment nog nodig, aangezien biologische mest beperkt beschikbaar is. Figuur 2 laat zien dat in 2016 0,6 miljoen kg N aan input gangbare mest is in de biologische sector. In het project 'Koplopers in Kringlooplandbouw' (Bouma et al., 2023) is de stand van zaken weergegeven over stikstofefficiëntie van biologische boeren. Daarin wordt vermeld dat, ondanks de groei van het biologische areaal, de grote lijnen van Figuur 2 nog steeds kloppen anno 2023. De auteurs concluderen dat wanneer de biologische sector als geheel de uitspoeling met 12 procent vermindert, het mogelijk is om het verlies aan gangbare mest op te vangen. Een andere route is het aandeel vlinderbloemigen (waarmee N-binding wordt verhoogt) landelijk te verhogen met 11%. Gangbare mest (type B) is niet toegestaan bij biodynamische landbouw (keurmerk Demeter, +/- 10 % van de biologische landbouw valt onder het Demeterkeurmerk van biodynamische landbouw) (Stichting Demeter, 2024).



Figuur 2 Stikstof biologische landbouw 2016 (mln kg) (Bionext et al., 2019).

4.2.2 Hoeveelheden en toepassing bemesting

De hoeveelheden bemesting, en daarbij dus de toepassing van stikstof, is gebaseerd op de bemestingsruimte voor fosfaat en stikstof. Het komt voort uit het 7e Actieprogramma Nitraatrichtlijn

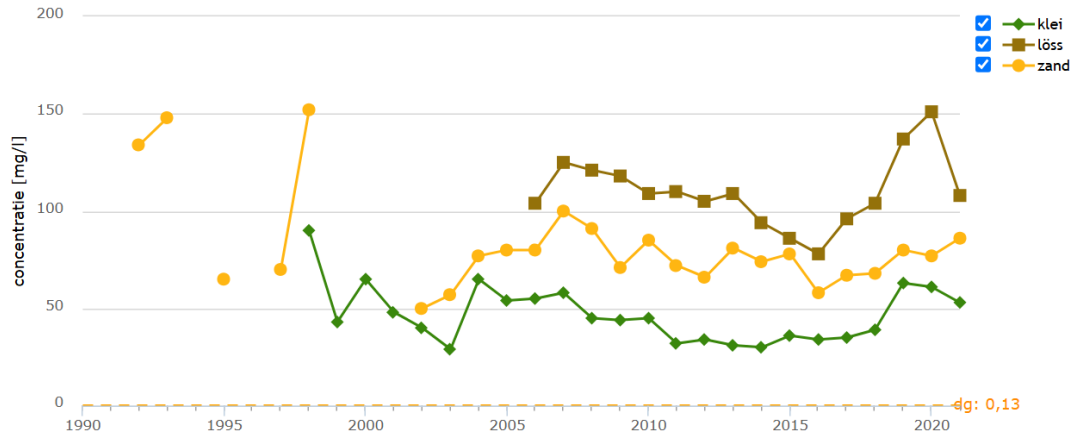
gebaseerd op de Europese Nitraatrichtlijn (91/676/EEG). Deze richtlijn is bedoeld om de waterkwaliteit in Europa te beschermen door verontreiniging met nitraat uit landbouwbronnen te voorkomen. 170 kg stikstof per hectare per jaar is de maximale hoeveelheid stikstof dat aan dierlijke mest gebruikt mag worden in de biologische sector, wat ook voor de gangbare sector geldt (Ministerie LVVN & Ministerie I&W, 2021). Dit verschilt met biodynamische landbouw (keurmerk Demeter) waarbij maximaal 112 kilo stikstof per hectare uit alle meststoffen als norm wordt gebruikt (Demeter, 2025). Daarnaast is de maximaal te geven hoeveelheid stikstof beperkt door de gebruiksnormen. Deze gelden zowel voor de biologische als de gangbare landbouw. De hoeveelheden zijn afhankelijk voor het gewas en grondsoort. De normen van verschillende gewassen of gewasgroepen worden ingedeeld op basis van wetenschappelijke inzichten, Europese regelgeving en nationale beleidsdoelen. Je berekent de stikstofgebruiksruimte door: *Aantal hectare landbouwgrond per gewas x de norm die bij uw gewas en grondsoort hoort.*
In de tabellen van RVO over Mestbeleid zijn de actuele stikstofgebruiksnormen ingedeeld op basis van 5 verschillende bodemtype (1. Klei; 2. Noordelijk, westelijk en centraal zand; 3. Zuidelijk zand; 4. Löss; 5. Veen). De huidige stikstofgebruiksnormen zijn op zandgrond en lössgronden voor veel teelten lager dan de stikstofbemestingsrichtlijn van 170 kg N/ha (RVO, 2025).
Omdat niet alle stikstof uit organische meststoffen beschikbaar komt voor het gewas, wordt gerekend met een stikstofwerkingscoëfficiënt. De stikstofwerkingscoëfficiënt is het percentage van de stikstof uit een organische meststof dat even goed zou werken als een snelwerkende kunstmeststikstof.
Agrarische bedrijven met landbouwgronden gelegen in nutriënten verontreinigde-gebieden (NV-gebieden) hebben een extra beperking als het gaat om N-toepassing. Per 2025 wordt er gekort met 20% op de stikstofgebruiksnormen (RVO, 2024b). Daarnaast moet de bemesting kloppen met de fosfaatgebruiksnormen. Deze fosfaatgebruiksnormen hangen af van het grondgebruik (grasland of bouwland) en de fosfaatgehalten van de bodem. Er mag meer fosfaat worden toegediend als de fosfaattoestand laag is.

Een andere maatregel uit het 7e Actieprogramma Nitraatrichtlijn is de uitrijdatum voor drijfmest of vloeibaar zuiveringsslib op bouwland. Voor 2023 was de uitrijdatum vanaf 1 februari. Dit is veranderd naar 1 maart. Hierdoor zal de bemesting dichter op de inzaai van het gewas plaatsvinden en wordt tussentijdse uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater verminderd. Omdat voor een aantal gewassen (bloemkool, aardappelen, granen, broccoli en bloembollen) vroege bemesting nodig is voor de ontwikkeling van de plant, worden deze teelten uitgezonderd van het bovenstaande verbod (RVO, 2024a). Het moment van inzaaien, poten of planten van een gewas dat eerder bemesting nodig heeft dan 15 maart, is vrijgelaten. Dit zijn veel gewassen die veel in de biologische akkerbouw worden geteeld en daardoor veel bio boeren vanaf 16 februari mest kunnen uitrijden bij vroege gewassen. Een andere uitzondering is strorijke mest. Dit is toegestaan om uit te rijden van 1 januari t/m 1 september voor zand & lössgronden en 1 december t/m 1 september voor kleigronden (Ministerie LVVN & Ministerie I&W, 2021). Deze uitrijdatums gelden voor zowel gangbaar als biologische landbouw.

4.3 Stikstofcyclus in de biologische akkerbouw

Onderzoek toont aan dat omschakeling naar biologische landbouw leidt tot verschillende positieve (maatschappelijke) effecten, zoals meer biodiversiteit, minder uitstoot van broeikasgassen en ook minder totale stikstofverliezen (Migchels et al., 2023). Stikstofverliezen vinden plaats in verschillende vormen: lachgasemissies (N_2O), ammoniakemissies (NH_3) en nitraat (NO_3^-). Het totale stikstofoverschot in de biologische akkerbouw werd in 2019 ingeschat op ongeveer 1.749 ton stikstof. Bij deze berekeningen zaten echter onzekerheden in de hoeveelheid stikstof die werd gebonden door vlinderbloemigen, de stikstofopbouw in de bodem en stikstofafvoer in de oogst (Bionext et al., 2019). In de rapportage is het aantal kg stikstof niet omgerekend naar hoeveelheden per hectare, waardoor niet met zekerheid te zeggen is welk landbouwareaal wordt meegenomen in de berekeningen voor akker- en tuinbouw. Als je uitgaat van het biologische areaal van 13 duizend hectare uit akkerbouwgrond en 3 duizend hectare uit tuinbouw (open grond) van het CBS in 2019, komt het neer op 109 kg N/ha (CBS, 2020). Ter vergelijking, in 2019 bedroeg het gemiddelde stikstofbodemoverschot op akkerbouwbedrijven binnen het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) 116 kg per ha (Agrimatie, 2024).

De nitraatuitspoeling op biologische akkerbouwbedrijven is over het algemeen lager dan op gangbare akkerbouwbedrijven (Sukkel et al., 2011), zo werd gemiddeld 50% reductie vergeleken met gangbaar gemeten bij Proefboerderij Vredepeel op zand (Schrama et al., 2018). Helaas wordt dit niet bevestigd door het meetnet van het RIVM, aangezien de data niet gespecificeerd is voor biologische akkerbouwbedrijven. Het RIVM rapporteert, samen met Wageningen Economic Research, de waterkwaliteitsresultaten van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (Claessens et al., 2024) per regio of per bedrijfstype binnen een regio (Figuur 3). Hierin wordt geen onderscheid gemaakt tussen gangbaar en biologisch.



Figuur 3 Nitraat (NO_3^-) in uitspoeling water in de akkerbouw per bodemtype (Claessens et al., 2024).

De andere stikstofemissie-route is naar de lucht in de vorm van ammoniak (NH_3). Hier is geen data van beschikbaar voor de biologische akkerbouw. De hypothese is dat deze route ook minder verliezen heeft van stikstof in de vorm van ammoniak, aangezien biologische rundveemest minder

stikstof bevat dat kan emitteren door een eiwitarmer rantsoen (Sukkel et al., 2011). Een andere route qua stikstofverliezen in de akkerbouw zijn de lachgasemissies (distikstof(mono)oxide, N_2O). Door geen N-kunstmestgebruik en betere bodemkwaliteit zijn er aanwijzingen dat lachgasemissies lager zijn ten opzichte van gangbare akkerbouw (Sukkel et al., 2011).

De stikstof-efficiëntie (NUE – Nitrogen Use Efficiency) is de verhouding tussen de nuttige afvoer van stikstof (in de vorm van gewassen, dierlijke producten, dierlijke mest) en de aanvoer van stikstof. De stikstof-efficiëntie (NUE) van de Nederlandse landbouwsector is tussen 1990 en 2020 toegenomen van 30% naar 50%. Dit is deels te verklaren door het veranderende meststoffenbeleid, maar ook door de toegenomen toepassing van veevoer uit het buitenland (dat niet meetelt), waardoor stikstofverliezen lager uitvallen. Voor de teelt van gewassen ligt het rond de 60% in 2020 (CLO, 2023). Voor apart de biologische akkerbouw zijn hier geen cijfers van. Wel voor de biologische melkveehouderij. Onderzoek toont aan dat de ammoniakemissie (in kg NH_3) voor biologische melkveehouderij per hectare ongeveer de helft lager ligt in vergelijking met een gemiddeld gangbaar bedrijf. Echter, per kilo melk is de ammoniakemissie van bio-boeren zo'n 30% hoger. Dit komt door een lagere melkopbrengst per koe en een lagere stikstof-efficiëntie (Migchels et al., 2023).

Een relatief ouder onderzoeksproject van 8 jaar (1998 tot 2001 en 2002 tot 2005) genaamd BIOM (Bio landbouw, Innovatie en OMschakeling) was opgezet met zo'n 40 bedrijven in verschillende regio's en heeft inzichten gegeven in o.a. de stikstofbalans op biologische akkerbouwbedrijven. De deelnemende bedrijven hadden over het algemeen lagere nitraatgehaltes in het drainwater, lagere stikstofoverschotten, een lagere stikstofaanvoer en een lagere voorraad minerale stikstof na oogst en aan het begin van het uitspoeling seizoen dan gangbare bedrijven in andere studies (Wijnands & Holwerda, 2003).

Voor alle (biologische) bedrijven geldt dat de stikstofuitspoeling en –efficiëntie bedrijfsspecifiek is en dus afhankelijk is van welke gewassen er worden geteeld, de bemesting en de (weers)omstandigheden.

5 Gewasbehoefte

5.1 Opbrengsten

Over het algemeen zijn de opbrengsten in de biologische landbouw lager dan in de gangbare landbouw. In Nederland, en in Noordwest Europa in het algemeen, is biologische opbrengst gemiddeld 75% van gangbare opbrengst (de Ponti et al., 2012). Dit verschilt echter sterk per gewas. De doorgaans lagere opbrengst in de biologische landbouw lijkt voor een groot deel veroorzaakt te worden door een tekort aan stikstof (Seufert et al., 2012). Hierbij gaat het niet alleen om de totale hoeveelheid stikstof, maar ook om de juiste hoeveelheid plant-beschikbare stikstof op het moment dat de stikstofbehoefte van het gewas groot is (Fontaine et al., 2024). Om die reden zijn de opbrengsten van stikstof-fixerende gewassen (vlinderbloemigen), zoals doperwten, bonen en grasklaver/luzerne vaak relatief hoog in biologische systemen. Stikstof is voor deze gewassen nauwelijks limiterend, waardoor deze gewassen het ook goed doen als biologische teelt (de Ponti et al., 2012). Voor biologische aardappelen en granen is het opbrengstverschil in Nederland ongeveer 20-40% vergeleken met gangbaar. Tegelijkertijd zijn dit ook de gewassen waarbij vaak grote stikstofverliezen door uitspoeling worden gemeten (De Notaris et al., 2018). Dit laat nogmaals zien dat het knelpunt vaak meer ligt bij het afstemmen van stikstoflevering en –opname dan bij de totale hoeveelheid toegediende stikstof in de biologische akkerbouw.
Ook is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de korte en lange termijn. Zo was de biologische opbrengst bij een proeflocatie in de Vredepeel relatief laag direct na omschakeling. Deze productie nam echter gedurende 10 jaar toe, waarbij in sommige gevallen vergelijkbare opbrengsten als gangbaar werden behaald. Tegelijkertijd was de stikstofuitspoeling in het biologische systeem 50% lager vergeleken met het gangbare systeem op dezelfde locatie (Schrama et al., 2018). Een mogelijke verklaring is een gestage toename van de bodemkwaliteit, wat van extra belang is in de biologische landbouw. Door de lagere toevoer van snelwerkende stikstofbronnen speelt het stikstofleverend vermogen uit mineralisatie een grote rol in de biologische akkerbouw (zie ook Hoofdstuk Stikstoflevering vanuit de bodem).

Tabel 2 Opbrengsten van een aantal gewassen, zowel biologisch als gangbaar (bron: WIN-AGV (WUR, 2022)).

Kg/ha	**Kleigronden**			**Zandgronden**		
Gewas	**Gangbaar**	**Biologisch**	**Verschil**	**Gangbaar**	**Biologisch**	**Verschil**
Consumptie aardappel	49.400	32.500	-34%	48.400	?	
Zaaiui	52.200	40.000	-23%	*48.000*	?	
Winterpeen	85.000	60.000	-29%	?	?	
Tarwe (winter)	9.500 (+ 4.700 stro)	7.500 (+3.500 stro)	-21% (-26% stro)	9.300	?	

Gegevens over de opbrengst van de biologische akkerbouw op zand- en lössgrond in Nederland, op zowel korte als lange termijn, ontbreekt veelal. De nieuwste editie van de KWIN-AGV (WUR, 2022) toont opbrengsten van enkele biologische gewassen, echter zijn de meeste gegevens afkomstig van kleigronden (Tabel 2).

5.2 Stikstofopname van gewassen in de biologische akkerbouw

Om te komen tot een gedegen bemestingsstrategie, die uitspoeling voorkomt en tegelijkertijd een goede opbrengst veilig stelt, is het belangrijk om een overzicht te hebben van de stikstofopname van verschillende gewassen. Per gewas verschilt de totale stikstofbehoefte, evenals hoe de stikstof wordt opgenomen gedurende het seizoen. De opname hangt vooral af van de mate van groei van het gewas en de opbrengst. De meeste gewassen worden gekenmerkt door een periode van hoge stikstofopname gedurende de vegetatieve fase, wanneer het gewas de snelste groei ondergaat (Sadras et al., 2016). Stikstofopname neemt doorgaans af naarmate het gewas afrijpt. Vlinderbloemige gewassen, zoals veldboon of erwten, verzorgen een groot gedeelte van hun stikstofopname zelf doormiddel van stikstoffixatie. Deze gewassen zijn dus minder afhankelijk van stikstof uit mineralisatie of bemesting.

Gegevens over de (verwachte) opbrengst en het stikstofgehalte in het gewas zijn nodig om een inschatting te maken van de stikstofopname (de Haan et al., z.d.). Zoals eerder benoemd zijn er weinig gegevens beschikbaar over de opbrengst van biologische gewassen. Een inschatting van de verwachtte opbrengst komt dus vaak voort uit de ervaring van de teler. Over het stikstofgehalte van biologische gewassen is eveneens weinig bekend. Het Handboek Bodem en Bemesting geeft weliswaar een overzicht van mineralengehalten (N, P_2O_5 en K_2O) in geoogste producten voor verschillende gewassen, echter wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen bio en gangbaar. Daarnaast geeft deze tabel geen overzicht over N-gehaltes in gewasresten, wat ook bijdraagt aan de totale N-opname. De stikstofgehalten in deze tabel zijn deels gebaseerd op een onderzoek van (Ruijter et al., 2020), waarbij er wel onderzoek is gedaan op biologische bedrijven, maar waar deze informatie niet apart geanalyseerd is door een te laag aantal waarden.
Op de WUR-proefboerderij de Vredepeel op zuidelijke zandgronden zijn de stikstofgehaltes van de oogst van biologische gewassen gedurende 16 jaar gemeten, zie
Tabel 3. Deze stikstofgehaltes zijn vergeleken met referentie gehaltes uit Handboek Bodem & Bemesting. Hieruit is op te maken dat het stikstofgehalte van de biologische producten, afhankelijk van het gewas, in meer of mindere mate verschilt van de referentie gehaltes.

Dit geeft al een redelijke inschatting, al zullen de gehaltes per locatie en beheer kunnen afwijken. Daarnaast is er geen inzicht over de hoeveelheid stikstof in de gewasresten. Verder onderzoek naar de N-hoeveelheid in het geoogste product en de gewasresten op verschillende locaties is

dus gewenst om een goed overzicht te krijgen van de totale stikstof opname van biologische gewassen.

Tabel 3: Gemeten N-gehaltes van vers geoogst product op de WUR-proefboerderij de Vredepeel tussen 2000-2016 (Haan et al., 2018) Referentie gehaltes op basis van Handboek Bodem en Bemesting.

Gewas	Gemeten N-gehaltes biologisch systeem (vers geoogst product, kg/ton)	Referentie gehaltes (vers geoogst product, kg/ton)	Verschil
Aardappel	2,4	3,3	-0,9
Zomergerst	14,3	13,0	+1,3
Prei	2,3	3,0	-0,7
Korrelmaïs	12,4	11,5	+0,9
Snijmaís	2,5	4,1	-1,6
Luzerne	4,7	5,8	-1,1
Suikerbiet	1,2	1,1	+0,1
Peen	1,2	1,2	0
Waspeen	1,0	1,5	-0,5
Broccoli	3,9	4,7	-0,8
Conservenerwt	9,5	7,5	+2
Stamslaboon	3,2	3,6	-0,4

5.3 Stikstofopname gedurende het groeiseizoen

De stikstofopname kan per jaar, locatie en beheer sterk verschillen. Ook bestaan er verschillen in stikstofopname tussen rassen van hetzelfde gewas (Ivić et al., 2021; Lammerts van Bueren & Struik, 2017; Zebarth et al., 2004). Verschillende factoren beïnvloeden namelijk de stikstofopname van het gewas gedurende het groeiseizoen zoals temperatuur, beschikbaarheid van water en nutriënten. Zo nemen gewassen doorgaans minder stikstof op in droge jaren, waardoor meer stikstof in de bodem kan achterblijven, met een hoger risico op stikstofuitspoeling als gevolg. Dit was bijvoorbeeld het geval in 2022, toen er grote stikstofoverschotten ontstonden door de droge omstandigheden in de zomer (CBS, 2022).

In de biologische sector is een gebrek aan voldoende stikstof in het voorjaar een vaak voorkomend probleem, aangezien de bemesting volledig afhankelijk is van mineralisatie (Zie **Box 1: Wat is mineralisatie?**). De mate van mineralisatie is sterk afhankelijk van de temperatuur in de bodem, en door de doorgaans lage temperaturen in het voorjaar is de mineralisatie nog niet voldoende op gang om gewassen van voldoende stikstof te voorzien (Zanen et al., 2003). In de biologische sector worden sommige gewassen vroeger gezaaid dan in de gangbare sector, wat het belang van voldoende stikstof in het voorjaar verder vergroot. Zo wordt bijvoorbeeld voor de aardappelteelt meestal een vroeg rijpend aardappelras gekozen om een goede oogst te behalen voordat fytoftora een probleem wordt later in de zomer. In deze teelt komt een stikstoftekort in het voorjaar dan ook vaak voor, met lagere opbrengsten als gevolg. Bij gewassen die lang op het veld staan, zoals spruitkool, kan hetzelfde probleem zich voordoen in het najaar (Zanen et al., 2003). Een goede staat van de bodem kan de mineralisatie in deze momenten verhogen, denk aan de juiste pH,

weinig verdichting en een goede staat van het bodemleven (Elrys et al., 2021). Echter zal mineralisatie in dit geval bijna altijd afgeremd worden door de lage temperatuur, en zijn er qua bemesting maar beperkt mogelijkheden om snel stikstof toe te dienen (Zie hoofdstuk Mest).

Een vroegere zaai- en oogstdatum van biologische gewassen kan voor het verminderen van stikstofuitspoeling juist positief uitpakken doordat er ruimte ontstaat in het bouwplan om een groenbemester als vanggewas te telen. Na de vroege oogst van biologische aardappelen kan bijvoorbeeld goed een vanggewas geteeld worden, terwijl dit na de late oogst bij de gangbare aardappelteelt moeilijk of niet mogelijk is. Het groen houden van de bodem in het najaar is één van de belangrijkste maatregelen die genomen kan worden om uitspoeling te voorkomen, zoals verder uitgelegd zal worden in de sectie Vanggewassen.

5.4 Ervaringen van akkerbouwer Maarten Robben

In Noord-Brabant nabij Haps ligt het bedrijf van Maarten Robben. Dit bedrijf van 170 hectare is opgesplitst in twee takken: een gangbare en een biologische tak. Robben wil zijn biologische tak de komende tijd verder uitbreiden: "Dicht bij huis, op eigen grond willen we alles biologisch gaan telen. We zitten nu op 17 hectare biologisch, in de toekomst willen we dat verhogen naar 35 hectare". We houden een gewasrotatie aan van minimaal 1 op 8 aan te houden met o.a. wintergerst, pompoenen, mais, rettich, peulvruchten, wortel en rozen.

- **Hoe stel jij een bemestingsplan op voor biologische teelten?**

"Veel informatie komt uit mijn eigen ervaring. Ik ben 12 jaar teeltadviseur geweest, dus ik heb een redelijke basis. De rest van de informatie zoek ik zelf op. Zo heb ik contact met een bio-adviseur uit

de regio. Ook met mijn gangbare adviseur heb ik veel contact voor mijn bio teelten. Ik krijg informatie uit mijn grondmonsters, en ik weet een klein beetje wat mijn gewas nodig heeft. De gewasbehoefte zoek ik zelf op. Vaak kijk ik naar stikstofopname van gangbare gewassen, ook voor mijn biologische teelten. Daarover is genoeg informatie te vinden, en je moet toch iets aanhouden. Ik meet ook wel eens in het seizoen, om in te schatten hoeveel plant-beschikbare nutriënten er in mijn bodem zitten."

- **Welke meststoffen gebruik je vooral?**

"Ik gebruik veel rundvee drijfmest van een veehouder uit de buurt. Die bevat relatief lage gehaltes, doordat er veel spoelwater in zit. Ik rijd de drijfmest het liefst met de sleepslang uit om bodemverdichting te voorkomen. Twee jaar geleden heb ik een keer een A-meststof toegediend, dat waren geperste kippenmestkorrels. Maar in principe doe ik niet veel aan bijmesting. Ik denk dat de truc is om minder te brengen dan wat de voorgeschreven gewasbehoefte is om de gewassen vitaal te houden. Qua stikstofgift zitten we heel laag, we hebben altijd ruimte over."

- **Heb je wel eens problemen met nutriëntentekorten door trage mineralisatie?**

"Dat is eigenlijk bij iedereen wel een probleem. Vooral afgelopen jaar was trage mineralisatie iets waar we tegenaan liepen. In het voorjaar geef ik elk perceel een cijfer op een schaal van 1 tot 10. Het laatste jaar waren alle percelen maximaal een 6. Het enige wat je kan doen is de bodem droog en los houden, zodat de omstandigheden zo goed mogelijk zijn om de mineralisatie op gang te brengen. De basis is in dat geval gewoon goed, dan weet je eigenlijk al dat je tegen weinig problemen aan gaat lopen met de mineralisatie. Maar voor de rest kan je in zo'n geval niet veel doen behalve rustig afwachten, de natuur herstelt zichzelf wel weer."

- **Heb je een idee hoe het zit op je bio percelen qua stikstofoverschot en uitspoeling?**

"Ik denk dat het overschot meevalt, maar naar de uitspoeling ben ik echt wel benieuwd. We zitten hier op grof zand, dus ik zou daar wel graag inzicht in willen hebben. Ik denk dat er ook grote verschillen zijn tussen percelen. Ik heb bijvoorbeeld een perceel die wat hoger ligt, de gewassen groeien daar eigenlijk altijd goed. De grond is daar hoger en warm, dus het mineraliseert daar wat sneller en de gewassen groeien wat vlotter weg. Daardoor denk ik dat er daar weinig stikstof uitspoelt. Maar misschien vindt er juist uitspoeling plaats door die hoge mineralisatie, daar heb ik geen zicht op."

- **Wat zou je helpen bij de bemesting van je biologische teelten?**

"Het zou wel mooi zijn om een simpele tool te maken waarmee je de nalevering van stikstof door groenbemesters kan inschatten. Dat je bijvoorbeeld invult of de groenbemester geslaagd, redelijk of onderontwikkeld is, en dat je daar dan wat getallen aan kan hangen. Dan heb je als teler daar wat meer handvaten om te gebruiken voor je bemesting."

6 Stikstoflevering vanuit de bodem

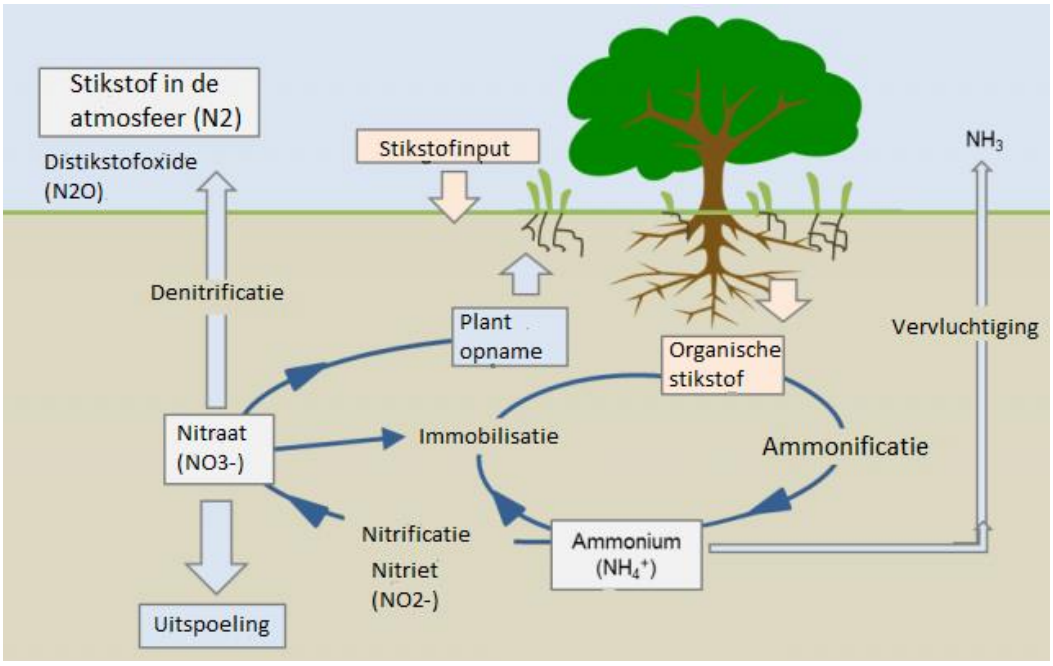
Uit onderzoek blijkt dat slechts 40-50% van de stikstofopname door gewassen afkomstig is van bemesting van dat jaar. Zelfs bij een ruime toediening van stikstof in de vorm van (kunst)mest, blijft een aanzienlijk deel van de stikstofvoorziening afkomstig van de mineralisatie van organisch stof in de bodem (Bloem et al., 2024; Yan et al., 2020; Zhang et al., 2015). Deze stikstofvoorziening vanuit de bodem wordt ook wel het stikstofleverend vermogen (NLV) van de bodem genoemd. Uit onderzoek blijkt zodoende dat het NLV een cruciale rol speelt in de stikstofopname van gewassen. In de praktijk blijkt het echter lastig om het NLV nauwkeurig te bepalen, waardoor het NLV vaak nog onvoldoende wordt meegenomen in de bemesting strategie (Daly et al., 2021, Grandy et al., 2021).

Deels komt dit door de complexiteit van de onderliggende processen van het NLV. Door de historische focus op directe toevoer van anorganische vormen van stikstof (nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+)) werden belangrijke bodemprocessen die de mineralisatie (zie Box 1: Wat is mineralisatie?) van stikstof in de bodem bepalen vaak over het hoofd gezien. Door nieuwe inzichten in de wetenschap wordt het steeds duidelijker dat er complexe wisselwerkingen bestaan tussen planten, het bodemleven en fysieke bodemeigenschappen. Ook bij de N-kringloop en de levering van stikstof vanuit de bodem spelen deze interacties een grote rol (Daly et al., 2021; Grandy et al., 2022).

Het stikstofleverend vermogen (NLV) van de bodem kan dus niet los worden gezien van al deze factoren en interacties. Het is daarom ook moeilijk om te voorspellen door metingen; het NLV is niet een losse eigenschap van de bodem, maar een effect dat ontstaat door een interactie tussen meerdere bodemeigenschappen (Grandy et al., 2022). In de wetenschap wordt veel onderzoek gedaan naar deze processen, maar de bevindingen worden nog te weinig vertaald naar de praktijk. Hier ligt een grote uitdaging: het is duidelijk dat het NLV een zeer grote rol speelt in de stikstofopname van het gewas, maar er wordt nog onvoldoende rekening gehouden met het NLV bij keuzes rondom bemesting (Daly et al., 2021). Er zijn enkele methodes om het NLV in te schatten, maar het is nog onduidelijk welke methode het meest nauwkeurig is (van 't Hoff, 2024). Echter lijkt een modellering van het NLV, (bijvoorbeeld het stikstofmodel NDICEA) het meest veelbelovend, omdat het verschillende factoren kan combineren, zoals bodemkenmerken, weersomstandigheden, en beheerpraktijken. Dit maakt het mogelijk om complexe interacties en variaties in tijd en ruimte mee te nemen, wat met directe metingen niet of nauwelijks mogelijk is.

Om relevante onderzoeksvragen rondom het NLV te identificeren zullen enkele belangrijke factoren in de NLV-processen besproken worden: Eigenschappen van de bodem, het gewas ofwel Bodem-plant-interacties en het Bodemleven.

Box 1: Wat is mineralisatie?



Figuur 4: Schematische weergave van mineralisatie in de bodem (DPIRD, 2017, vertaling door auteurs).

Stikstofmineralisatie is het proces waarbij organische stikstof uit organisch materiaal door micro-organismen wordt omgezet in anorganische stikstofvormen (zoals ammonium en nitraat) die planten kunnen opnemen. Dit proces bestaat uit twee stappen:

1. Ammonificatie: Micro-organismen breken organische stikstof af tot ammonium (NH_4^+).
2. Nitrificatie: Bacteriën zetten ammonium om in nitraat (NO_3^-) via nitriet (NO_2^-) als tussenstap.

De snelheid van stikstofmineralisatie wordt o.a. beïnvloed door temperatuur, bodemvocht, pH en de verhouding tussen koolstof en stikstof in het organische materiaal. Deze factoren hebben namelijk een invloed op de mate waarin micro-organismen het organisch materiaal kunnen verteren. Zo is mineralisatie bijvoorbeeld minimaal (maar niet afwezig) bij temperaturen onder 10C° (Guntiñas et al., 2012).

Stikstofvoorziening binnen de biologische akkerbouw is grotendeels afhankelijk van dit proces doordat anorganische stikstof (NO3 en NH4) slechts in zeer beperkte mate direct toegediend mogen worden. Een efficiënte mineralisatie is dus essentieel, echter is er ook een risico op uitspoeling als mineralisatie en plantopname niet goed op elkaar afgestemd zijn.

6.1 Eigenschappen van de bodem

Bodemeigenschappen spelen een belangrijke rol bij de mineralisatie van organisch materiaal en daarmee bij de beschikbaarheid van stikstof. Deze eigenschappen kunnen inherent zijn aan de bodem, zoals textuur, of beïnvloedbaar door beheer, zoals de pH-waarde. Sommige bodemeigenschappen hebben een direct effect op stikstoflevering. Bijvoorbeeld, zandige bodems hebben doorgaans een hogere mate van waterinfiltratie, wat kan leiden tot stikstofverliezen door uitspoeling.
Echter, de voornaamste effecten van bodemeigenschappen op het NLV lijken te verlopen via hun invloed op micro-organismen en ander bodemleven (Lavallee et al., 2020; Z. Li et al., 2019). Eigenschappen zoals pH, textuur en bulkdichtheid beïnvloeden, direct of indirect, de activiteit en samenstelling van de microbiële gemeenschap in de bodem. *Via* dit effect op het bodemleven wordt ook het NLV beïnvloed. Zo heeft een lagere pH over het algemeen een negatief effect op de activiteit van het bodemleven, wat een lagere NLV als gevolg kan hebben (Constancias et al., 2015). Ook textuur lijkt de vertering van organisch materiaal vooral te beïnvloeden via het effect op bodemleven. Organisch stof kan namelijk binden aan kleideeltjes en zo "beschermd" worden voor vertering door het bodemleven (Lavallee et al., 2020). Op zandgronden is het organisch materiaal dus over het algemeen sneller beschikbaar voor bodemorganismen door het gebrek aan kleideeltjes, wat het NLV mogelijk beïnvloedt. Echter is er nog niet veel kennis over de mate waarin het NLV verschilt tussen verschillende bodemtypes, zoals zand, löss en kleigronden.

6.2 Bodem-plant-interacties

Planten zijn geen passieve spelers in de nutriëntenkringloop; via verschillende processen beïnvloeden ze actief de stikstoflevering vanuit de bodem. Zo kunnen planten via hun wortels stoffen uitscheiden die micro-organismen in de bodem stimuleren om stikstof vrij te maken uit organisch materiaal (Grandy et al., 2022), en kunnen ze in symbiose met bepaalde bodemschimmels suikers leveren aan de schimmel in ruil voor voedingstoffen uit de bodem. Daarnaast nemen planten niet alleen stikstof op in de anorganische vorm (nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+)), maar kunnen ze ook bepaalde vormen van organisch stikstof direct opnemen. Deze organische stikstofvoorraad blijkt een belangrijkere stikstofbron voor planten dan voorheen gedacht (Daly et al., 2021; Farzadfar et al., 2021). Het blijft echter onduidelijk in welke mate de directe opname van organische vormen van stikstof bijdraagt aan de totale stikstofopname van planten, en hoe dit verschilt per gewas en beheer. Vooral voor de biologische landbouw is het van belang om hier meer inzicht in te krijgen, gezien de hoge toevoer van stikstof in de organische vorm (Moreau et al., 2019).

Afhankelijk van de stikstofstatus in de bodem passen planten hun strategie aan om zo efficiënt mogelijk stikstof op te kunnen nemen. In gevallen waar stikstof limiterend is, investeren planten relatief meer in het wortelstelsel en stimuleren ze micro-organismen in de bodem om stikstof vrij te maken (Congreves et al., 2021; Moreau et al., 2019). Als er daarentegen te veel stikstof direct

beschikbaar is voor de plant, zoals door de toediening van veel (kunst)mest, investeert de plant minder in deze alternatieve strategieën (Daly et al., 2021; Grandy et al., 2022). Het wordt gedacht dat planten die meerdere strategieën benutten om stikstof op te nemen efficiënter omgaan met stikstof, met lagere stikstofverliezen als gevolg. Daarnaast zou het gewas gedurende het groeiseizoen stikstof kunnen opnemen uit verschillende bronnen en is het minder afhankelijk van één enkele stikstofbron (Grandy et al., 2022). Het is aannemelijk dat het per gewas verschilt hoeveel stikstof wordt opgenomen vanuit het NLV van de bodem (Farzadfar et al., 2021). Zo neemt mais gemiddeld 41% van de totale stikstofopname op uit de bodem, terwijl dit bij granen rond de 37% ligt (Yan et al., 2020). Voor andere gewassen is het nog onduidelijk hoeveel van de opname gebeurt door mineralisatie vanuit de bodem.

6.3 Bodemleven

Het is al lang bekend dat het bodemleven een cruciale rol speelt in de stikstofkringloop. Microbiële activiteit wordt vaak zelfs gezien als de belangrijkste factor in de levering van plantbeschikbare stikstof in de bodem (Kuypers et al., 2018; Lavallee et al., 2020; Z. Li et al., 2019). Invoer van organisch materiaal in de bodem wordt verteerd door microben, schimmels en ander bodemleven waarbij, afhankelijk van factoren zoals C/N ratio, stikstof vrijkomt voor planten of juist tijdelijk wordt vastgehouden in de bodem (WUR, 2019b). Uit een recente studie blijkt dat de microbiële biomassa in de bodem de beste indicator was voor N-mineralisatie, meer dan bijvoorbeeld de totale bodem-N voorraad. Dit was het geval voor landbouwbodems op zowel globale als regionale schaal (Z. Li et al., 2019).

Naast de totale biomassa is ook de samenstelling van het bodemleven van belang. Bodemmicroben kunnen onderling enorm van elkaar verschillen in functie, efficiëntie en hun voorkeur voor leefomstandigheden (Kaiser et al., 2016). De samenstelling en hoeveelheid van bodemmicroben worden beïnvloed door onder andere de pH van de bodem, gewasrotatie, de soort en hoeveelheid bemesting, de grondbewerking en factoren zoals bodemvocht en temperatuur (Francioli et al., 2016; Kaiser et al., 2016; Z. Li et al., 2019). Mineralisatie kan dus ook bevorderd worden door de omstandigheden voor mineralisatie in de bodem zo optimaal te houden, bijvoorbeeld door op het juiste moment te irrigeren. Uit onderzoek blijkt dat mineralisatie op korte termijn sterk toeneemt na het irrigeren van een verdroogde bodem. Deze mineralisatie is op korte termijn vaak zelfs hoger dan wanneer de bodem constant vochtig wordt gehouden. Echter compenseren deze pieken in mineralisatie niet voor de vertraging van mineralisatie die plaatsvindt onder droge omstandigheden, en lijkt de totale cumulatieve mineralisatie hoger als bodemvocht optimaal wordt gehouden (Borken & Matzner, 2009). Irrigatie, en mogelijk andere bewerkingen zoals grondbewerking en het toebrengen van kalk, kunnen manieren zijn voor telers om de mineralisatie te beïnvloeden.

Over het algemeen is biologisch beheer heel gunstig voor het bodemleven, en is het aangetoond dat microbiële biomassa en activiteit toeneemt bij biologisch beheer (Lori et al., 2017). Mogelijk

heeft dit dus ook gevolgen voor de hoeveelheid stikstof die geleverd wordt via het NLV van de bodem. Zo blijkt uit een lange termijn onderzoek uit Duitsland dat organische bemesting leidde tot een hogere microbiële biomassa dan bemesting met kunstmest. Daarnaast bevorderde organische bemesting de aanwezigheid van enkele soorten bacteriën die gunstig zijn voor het afbreken van organisch materiaal (Francioli et al., 2016). Daarnaast kan het verbeteren van het bodemleven ook indirect een positief effect hebben op de oogst en stikstofopname. Het is bijvoorbeeld aangetoond dat het toevoegen van organische meststoffen (zoals compost)de veerkracht tegen plantenziekten kan verbeteren door de aanwezigheid van nuttige micro-organismen te bevorderen (Lehmann et al., 2020). De samenstelling en aanwezigheid van gunstige bodemschimmels wordt sterk beïnvloed door de mate van grondbewerking (Y. Li et al., 2020; Sommermann et al., 2018) en pH blijkt één van de voornaamste invloeden op de samenstelling van bodemmicroben (Kaiser et al., 2016; Z. Li et al., 2019).

Kortom, het bodemleven is een essentiële, en wellicht zelfs de meest bepalende factor voor het NLV van de bodem. Daarnaast wordt het bodemleven sterk beïnvloed door beheer. Toch wordt deze factor nog vaak over het hoofd gezien. Daarnaast is het nog niet duidelijk hoe de staat van het bodemleven meegenomen kan worden in keuzes rondom het NLV en bemesting.

7 Groenbemesters en vanggewassen

Een biologisch bouwplan wordt veel gebruikt gemaakt van groenbemesters en rustgewassen, die van groot belang zijn voor de stikstoflevering. Ook het inwerken van gewasresten kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de stikstoflevering in het opvolgende jaar. Daarnaast is op zand- en lössgrond het telen van een vanggewas in het najaar verplicht. In deze sectie zal voornamelijk worden ingegaan op de stikstoflevering en het voorkomen van uitspoeling als gevolg van het telen van (vlinderbloemige) groenbemesters, vanggewassen en rustgewassen.

7.1 Stikstoftoevoer door middel van groenbemesters en gewasresten

In een biologisch bouwplan vormt stikstoflevering door groenbemesters en rustgewassen een belangrijk onderdeel van de bemestingsstrategie. Vlinderbloemige groenbemesters zoals klaver, luzerne of wikke fixeren stikstof uit de lucht. Organisch materiaal van vlinderbloemigen heeft daardoor over het algemeen een (zeer) hoog stikstofgehalte. Het grootste gedeelte van deze stikstof zit in het bovengrondse materiaal, maar ondergrondse biomassa kan ook veel stikstof bevatten. Zo bleek uit een experiment dat de wortels van bonte wikke, inkarnaat klaver en rode klaver gemiddeld 45% van de totale stikstof bevatten (Yang et al., 2020). Niet-vlinderbloemigen, zoals kruisbloemigen, gras- en graansoorten fixeren geen stikstof, maar kunnen stikstof binnen het systeem houden door eventuele stikstofoverschotten op te nemen (WUR, 2019a).
Ook het inwerken van gewasresten na de oogst kan een flinke inbreng van stikstof in de bodem zijn (Chen et al., 2014). In een pilot bij vijf Limburgse preitelers voor het WUR-project "stikstofuitspoeling meten" werden op sommige percelen bijvoorbeeld opmerkelijk hoge nitraat concentraties gemeten. Dat bleek om percelen te gaan waar veel gewasresten waren uitgereden (Dodde, 2022). Na het inwerken van de groenbemester of de gewasresten wordt een deel van het organisch materiaal verteerd door het bodemleven, waarbij stikstof vrijkomt. Deze stikstof kan worden benut door het volggewas, waardoor minder mest toegediend hoeft te worden. Echter bestaat er ook een risico op uitspoeling als de stikstoflevering niet goed aansluit op het moment dat de stikstofbehoefte van het volggewas hoog is, of als er veel neerslag valt na het inwerken. Het risico op uitspoeling is met name hoog als N-rijke gewasresten worden ingewerkt, zoals de gewasresten van vlinderbloemigen (Biernat et al., 2020).

Een deel van de stikstof komt pas na het eerste jaar na inwerking vrij. Hoeveel vrijkomt in het eerste jaar is onder andere afhankelijk van de eigenschappen van het organisch materiaal en het moment van inwerken, maar vaak wordt aangenomen dat minder dan 50% van de stikstof in het eerste jaar na inwerking vrijkomt (Sullivan, 2014). De overige stikstof wordt dus tijdelijk opgeslagen in de bodem, en komt geleidelijk over meerdere jaren vrij. Zo vormt het telen van een groenbemester en het inwerken van gewasresten ook een belangrijke bron voor het NLV van de bodem (van der Burgt, 2022).

Vanwege de bewezen voordelen, passen bijna alle bio-boeren groenbemesters al toe. Echter is het vaak onduidelijk hoeveel stikstof nalevering ontstaat als gevolg van het telen van de groenbemester, en welke factoren dit beïnvloedden. De onzekerheid rondom de hoeveelheid stikstof die wordt geleverd door vlinderbloemigen is al eerder benoemd (Bionext et al., 2019; de Haan & Verstegen, 2015). Hoeveel en hoe snel stikstof vrijkomt na het telen van een groenbemester is grotendeels afhankelijk van het verteringsproces in de bodem. De factoren zoals besproken in Hoofdstuk 6 Stikstoflevering vanuit de bodem spelen dus ook een grote rol in de stikstoflevering van groenbemesters. Echter zijn er ook bepaalde factoren die specifiek voor stikstoflevering van groenbemesters van belang zijn, namelijk:

1. De methode van inwerken Inwerken van de groenbemester: timing, oppervlakkig of ondergronds ingewerkt, gehakseld, etc.) (paragrafen 7.1.1 en 7.1.2)
2. De eigenschappen van het organisch materiaal van de groenbemester (paragraaf 7.1.3).

7.1.1 Inwerken van de groenbemester: timing

Zodra een groenbemester is ingewerkt komt de vertering van de gewasresten op gang en komt stikstof vrij. Hoe, en met name wanneer, de groenbemester wordt ingewerkt is dus van groot belang voor de nalevering van stikstof. Over het algemeen geldt de regel dat het voordelig is een groenbemester zo lang mogelijk te laten staan, behalve als er specifieke redenen zijn voor een vroege inwerking, zoals bij een hoge onkruiddruk of om zaadvorming voor te zijn (WUR, 2019b).

Bij inwerking in het najaar is het risico op uitspoeling het grootst: door de doorgaans hoge neerslag in de winter en de geringe stikstofopname kan na inwerking een stikstofoverschot ontstaan met een grote kans op uitspoeling. Vooral na het inwerken van een 1- of 2-jarig rustgewas zoals grasklaver komt zeer veel stikstof vrij (Biernat et al., 2020). Het telen van een vanggewas of wintergewas kan dit risico verkleinen, al is de stikstofopname in het najaar (+- 8.9 kg N per hectare voor wintertarwe bijvoorbeeld) vaak niet genoeg om aanzienlijke verliezen te voorkomen (Biernat et al., 2020). Ook is de stikstof die is uitgespoeld gedurende de winterperiode logischerwijs niet meer beschikbaar voor het volggewas in het voorjaar, waardoor de stikstofnalevering van de groenbemester voor de cashcrop verminderd wordt. Door het hoge risico op uitspoeling bij inwerking in het najaar moet er op zandgronden een vanggewas geteeld worden tot tenminste 1 februari. Inwerking in het najaar gebeurt daarom ook voornamelijk op kleigronden.

Inwerking in het voorjaar vermindert de kans op stikstofuitspoeling aanzienlijk, aangezien de stikstoflevering van de groenbemester beter aansluit op de stikstofopname van het volggewas (Lynch et al., 2012). Daarnaast zorgt het overwinteren van een groenbemester voor bodembedekking in het najaar, wat de belangrijkste factor is om uitspoeling te voorkomen (De Notaris et al., 2018; Hansen et al., 2019). Winterharde groenbemesters lijken beter in staat om uitspoeling te voorkomen dan vorstgevoelige soorten, doordat ze stikstof blijven opnemen gedurende de winter en het vroege voorjaar en omdat gewasresten van vorstgevoelige groenbemesters al beginnen te verteren gedurende de winter (Friedel et al., 2020; Gollner et al.,

2020). Bij inwerking in het voorjaar is er wel een groter risico op hergroei van de groenbemester of opkomst van onkruid (WUR, 2019b) ook omdat geen chemische middelen gebruikt worden om de groenbemester te doden. Daarnaast komt de mineralisatie in het voorjaar, zoals eerder beschreven, traag op gang. Dit kan leiden tot een trage vertering van de gewasresten van de groenbemester en stikstoftekorten in de beginfase van het groeiseizoen.

7.1.2 Inwerken van de groenbemester: verschillende manieren

Er bestaan veel verschillende methodes om groenbemesters te bewerken. De methode die wordt gebruikt beïnvloedt hoe de vertering van de plantenresten verloopt. Zo verloopt de vertering over het algemeen sneller wanneer de groenbemester ondergronds wordt ingewerkt dan bij een oppervlakkige inwerking (Jahanzad et al., 2016). Ook het maaien of klepelen van de groenbemester voor inwerking versnelt de vertering en zorgt dat de groenbemester beter door de grond gemengd kan worden (WUR, 2019b). Over het algemeen geldt: hoe kleiner de gewasresten, en hoe meer deze gewasresten zijn ingemengd in de bovenste bodemlaag, hoe sneller de vertering en dus levering van stikstof verloopt. In hoofdstuk 10 van het "Handboek groenbemesters" wordt in algemene zin beschreven wat het effect van verschillende bewerkingen is op o.a. stikstofnalevering van groenbemesters (WUR, 2019b).
Ook kunnen groenbemesters worden gebruikt als "maaimeststof'. Hierbij wordt de bovengrondse biomassa van groenbemesters geoogst, tijdelijk opgeslagen en toegediend als groene meststof (G.-J. van der Burgt et al., 2021). Zie ook Box 3: Maaimeststoffen.

7.1.3 Eigenschappen van het organisch materiaal

Groenbemesters met een lage C/N waarde en een hoog stikstofpercentage zoals vlinderbloemigen verteren sneller dan groenbemesters met een hoge C/N waarde (Sullivan, 2014). Bij het inwerken van groenbemesters met een lage C/N waarde komt vrij snel veel stikstof vrij (WUR, 2019b). Hiervan kan worden geprofiteerd door de inwerking op te volgen met een stikstof behoevend gewas (zoals kool). Echter, als deze groenbemesters wordt ingewerkt in het najaar of de stikstofopname van de volgteelt niet goed aansluit met de stikstoflevering kunnen grote stikstofverliezen optreden (Biernat et al., 2020).
Om uitspoeling na het inwerken van een groenbemester te voorkomen kunnen soorten met een hogere C/N waarde, zoals gras en graansoorten, in combinatie met vlinderbloemigen worden geteeld. In een experiment uitgevoerd op zandgronden in Denemarken bedroeg de stikstofuitspoeling 44 kg N per hectare wanneer zomertarwe werd geteeld na het inwerken van grasklaver of luzerne in het voorjaar. In hetzelfde experiment was de stikstofuitspoeling na de teelt van zomertarwe 34% lager (15 kg N per hectare) na het inwerken van een groenbemester mengsel met granen en vlinderbloemigen. In dit soort gevallen kan een mengsel met vlinderbloemigen en C-rijke soorten dus het risico op uitspoeling flink verlagen.

Box 2: Stikstofnalevering van groenbemesters

Om de stikstof van een groenbemester zo goed mogelijk te benutten moet de stikstoflevering na het inwerken goed aansluiten met de stikstofopname van het volggewas. Hier zijn twee gegevens voor nodig: de stikstofbehoefte van het volggewas gedurende het groeiseizoen (Hoofdstuk Gewasbehoefte) en de snelheid en hoeveelheid waarmee stikstof vrijkomt na het inwerken van de groenbemester.

Om de stikstoflevering van groenbemesters goed in te schatten zal een model waarschijnlijk de beste uitkomsten geven. Een model kan immers rekening houden met factoren zoals het weer, bodemeigenschappen en de groei van het gewas. Echter is er in de praktijk vaak behoefte aan een methode die gemakkelijker en sneller uit te voeren is. Een oude publicatie van het NMI, LBI en CLM geeft een inschatting van N-nalevering van enkele groenbemesters op basis van de gewashoogte en tijdstip van inwerking. Tabel 3 geeft hiervan een overzicht. De gegevens in deze tabel geven een gemiddelde inschatting weer, daadwerkelijke N-levering kan sterk variëren afhankelijk van bijvoorbeeld bodemtemperatuur en neerslag. Zoals te zien is in Tabel 4 zijn deze gegevens maar voor enkele groenbemesters beschikbaar, een verdere uitbreiding zou gewenst zijn. Daarnaast zijn de effecten van weersomstandigheden en andere teeltomstandigheden niet meegenomen in deze kengetallen.

Tabel 4 Stikstofinhoud en -levering van enkele groenbemesters (NMI et al., z.d.)

Gewas	**N-levering (kg N / ha)**			
	Lengte gewas (cm)	*Inwerking in voorjaar*	*Inwerking in najaar*	*N-inhoud (kg N / ha)*
Witte klaver	10	17	9	34
	20	34	17	68
	30	51	26	102
Wikke	20	30	15	60
	40	60	30	120
	60	90	45	179
Gele mosterd	20	15	8	30
	40	30	15	60
	60	45	23	91
Afrikaantje	15	15	8	30
	30	30	15	61
	45	45	23	91
Bladrammenas	20	15	8	30
	40	30	15	61
	60	45	23	91
Italiaans raaigras	15	18	9	34
	30	34	17	69
	45	52	26	103
Westerwolds raaigras	15	10	5	21
	30	21	11	42
	45	31	16	63

Soorten met een hoge C/N waarde zoals grassen, granen en andere houtachtige groenbemesters verteren namelijk langzamer, waardoor stikstof trager vrijkomt. Bij een C/N waarde boven de 30 wordt stikstof eerst vastgelegd en komt de levering van stikstof later tot stand, waardoor een N-tekort voor het volggewas zou kunnen ontstaan. Ook hier kan een mengsel met vlinderbloemigen een uitkomst bieden; door vlinderbloemigen toe te voegen is de stikstoflevering hoger en komt die eerder op gang.

7.2 Vanggewassen

Een vanggewas is een groenbemester die wordt geteeld met het hoofddoel om stikstofoverschotten op te vangen en uitspoeling te verminderen. Een vanggewas neemt een gedeelte van de stikstof op dat overblijft in de bodem na de oogst van het hoofdgewas. Het telen van een vanggewas is één van de belangrijkste maatregelen die genomen kan worden om stikstofuitspoeling te voorkomen. Meerdere publicaties tonen een substantiële afname van stikstofuitspoeling door het telen van een geslaagd vanggewas. Zo verminderde de teelt van een vanggewas op zandgronden in Denemarken en Zweden de stikstofuitspoeling met gemiddeld 50-60% (Askegaard et al., 2011; De Notaris et al., 2018; Torstensson & Aronsson, 2000). Vanggewassen hebben het grootste effect als grote stikstofoverschotten kunnen ontstaan, bijvoorbeeld na de teelt van gewassen die vroegtijdig stoppen met hun stikstofopname, zoals aardappel en ui, of gewassen die worden geoogst op het moment dat de plant veel stikstof opneemt, zoals sla of spinazie (WUR, 2019a). Na een mislukte oogst is het effect van vanggewassen nog groter; na een mislukte aardappeloogst door een fytoftora-uitbraak verminderde vanggewassen de stikstofuitspoeling met maar liefst 90-95% (De Notaris et al., 2018; Hansen et al., 2019).
Voor een zo effectief mogelijk vanggewas is een goede groei cruciaal, een geslaagd gewas neemt namelijk veel meer stikstof op. Op zandgronden in Denemarken bedroeg de stikstofuitspoeling na een aardappelteelt gemiddeld 11 kg N per hectare als de biomassa van het vanggewas boven de 1,5 ton per hectare was. Was de biomassa echter minder dan 1,5 ton per hectare, dan bedroeg de uitspoeling maar liefst 80 kg N per hectare, oftewel een 8x zo hoge uitspoeling dan na een geslaagd vanggewas (De Notaris et al., 2018). Bij een late inzaai heeft het vanggewas weinig tijd om te ontwikkelen, en zal er meer uitspoeling plaatsvinden. Over het algemeen is een zo vroeg mogelijke inzaai van het vanggewas dus aangeraden. Ook zijn winterharde vanggewassen over het algemeen beter in staat om uitspoeling te verminderen dan vorstgevoelige soorten. Deze soorten blijven stikstof opnemen en de gewasresten van vorstgevoelige soorten beginnen al te verteren gedurende de winter, waarbij stikstof vrijkomt. (D'Haene & Georges, 2020; Gollner et al., 2020). Daarnaast is het in sommige gevallen mogelijk om groenbemesters als onderzaai van het hoofdgewas te telen. Dit kan de groei van de groenbemester bevorderen, met een hogere biomassa in het najaar als gevolg (Valkama et al., 2015). In Nederland wordt onderzaai voornamelijk uitgevoerd bij de teelt van mais. Onderzaai bij andere gewassen zoals bijvoorbeeld zomertarwe of gerst heeft potentie getoond in buitenlandse experimenten, en zou mogelijk ook in Nederland op grotere schaal toegepast kunnen worden

(Valkama et al., 2015; G.-J. van der Burgt et al., 2021). Ook onderzaai van vlinderbloemigen is veelbelovend gebleken (Hauggaard-Nielsen et al., 2012).

7.3 Ervaringen van akkerbouwer Jeroen Nieuwhof

Op de zandgronden nabij Slootdorp, Noord-Holland, ligt het akkerbouwbedrijf van Jeroen Nieuwhof. Sinds 2018 is hij deels overgeschakeld naar biologisch: van de 80 hectare van het bedrijf wordt 25 hectare biologisch beheerd. Jeroen heeft ook bewust gekozen om grond te verkopen, zodat hij zich beter kan focussen op zijn biologische teelten. Het bedrijf ligt in een nutriënten verontreinigd (NV) gebied, wat betekent dat de stikstofgebruiksnormen met 20% zijn verlaagd ten opzichte van 2023. Een grote uitdaging voor Jeroen en zijn bedrijf: "Zoals we het altijd deden gaat niet meer, voor zowel gangbaar als bio. Uiteindelijk staat of valt alles met je opbrengst, dus ik moet stikstof heel efficiënt gaan gebruiken om een positief saldo te halen".

- **Wat is de impact van de verlaging van de stikstof- en fosfaatruimte op je bedrijfsvoering?**

"De puzzel was al ingewikkeld, maar die wordt nu bijna onmogelijk. Als je het landbouwkundig optimaal wil oplossen dan kom je er niet uit. Laten we zomergerst als voorbeeld nemen, die kan ik nu maar 60% van de gewasbehoefte aan stikstof geven, omdat er niet genoeg stikstofruimte is. Daarmee ga ik niet een volledige opbrengst halen, en ook de kwaliteit van het product gaat omlaag, waardoor ik het mogelijk niet als brouwersgerst kan afzetten.
Het zal ook effect hebben op de bodem; ik zal nu op mijn bodemvoorraad gaan interen. Voor de eerste paar jaar gaat dat nog wel, maar op een gegeven moment is de bodem ook leeg. Ik moet dus heel erg gaan letten op mijn bemesting en die zo effectief mogelijk gaan inzetten. Dat betekent inzicht hebben in de gewasbehoefte, en dat leveren met zo min mogelijk mest. De kwaliteit van de mest en de methode van bemesting spelen nu een grote rol. "

- **Waar haal jij informatie over de gewasbehoefte vandaan?**

"Ik doe mee aan een proef bij mijn suikerbietenteelt, waarbij er metingen worden uitgevoerd in het voorjaar en na de teelt om in te schatten hoeveel stikstof de bieten opnemen. Dit geeft me hopelijk meer handvatten om de bemesting bij te sturen om goed aan te sluiten met de behoefte van het gewas. Daarnaast doe ik plantensapanalyses tijdens de teelt om inzicht te krijgen in de opname van nutriënten door de gewassen. Daardoor krijg ik een idee hoeveel stikstof een gewas opneemt, en ook of er tekorten zijn aan micronutriënten.
De stikstofbehoefte van een biologisch gewas baseer ik meestal op de kengetallen die bekend zijn van gangbare gewassen en het advies van mijn adviseur. In sommige gevallen zou het me wel helpen als er meer bekend is over opname van biologische gewassen. Ik denk dat er veel op gevoel gaat, maar nu de normen steeds krapper worden zal de bemesting wel zo optimaal mogelijk gedaan moeten worden. "

- **Welke meststoffen gebruik je in je biologische teelten?**

"Ik weet dat deze grond niet makkelijk mineraliseert. Dus ik ben voorzichtig grote hoeveelheden mest in een keer brengen. Want je weet niet wanneer en óf het allemaal vrijkomt.
Ik denk eigenlijk ook wel dat je je mest moet bewerken voordat je het in de grond stopt. Mijn vaste mest laat ik bijvoorbeeld eerst fermenteren. Dat verhoogt de kwaliteit, door het fermenteren is zijn de nutriënten naar mijn idee sneller opneembaar. Bijsturen doe ik vooral met kippenmestkorrel, en vorig jaar deed ik het met een mix van verenmeel en beendermeel. Vaak is het ook een kwestie van wat op korte termijn beschikbaar is. Ik heb het nooit gemeten, maar gevoelsmatig denk ik dat er verschil in uitspoeling is tussen biologische en gangbare percelen. Doordat in bio de mest in organische vorm de stikstof tenminste gebonden zit, en bij kunstmest het sneller kan vervliegen."

- **Welke kennis zou jou kunnen helpen bij het verminderen van stikstof uitspoeling?**

"Ik denk dat er nog veel mogelijkheden zijn om optimaler te bemesten. Met de strengere fosfaat en stikstofnormen kan ik minder mest toebrengen en moet ik dus efficiënter met mijn nutriënten omgaan. Ik denk dat er nog veel kennis ontbreekt hoe dat het beste kan, vooral omdat de situatie per bedrijf anders is. Vooral boeren die recent zijn omgeschakeld naar bio hebben behoefte aan praktische kennis rondom bemesting. Bijvoorbeeld, hoe kunnen we de mest het beste aanbrengen, en welke methodes passen het beste bij welke teelt? En hoe verhogen we de mestkwaliteit door bijvoorbeeld fermentatie? Het zijn eigenlijk algemene kennisvragen over wat mest doet met je bodem en hoe je bemesting zo effectief mogelijk inzet in je bouwplan".

8 Mest

In de biologische akkerbouw worden organische meststoffen gebruikt, en zijn de mogelijkheden voor bijmesting met snelwerkende meststoffen gelimiteerd. Daardoor zijn er zorgvuldige overwegingen nodig om de mesttoevoegingen zo optimaal mogelijk te kunnen benutten. Het grootste gedeelte van de stikstof in deze meststoffen komt vrij tijdens de mineralisatie van de organische mest door het bodemleven. In het ideale, theoretische geval komt deze mineralisatie overeen met de N-behoefte van het gewas. In de praktijk is dit echter vaak niet het geval, en komen vaak N-tekorten of N-overschotten voor. In sommige situaties is er een tekort aan stikstof in het begin van het groeiseizoen, terwijl later in het groeiseizoen juist N-overschotten ontstaan.

De primaire focus bij een biologische bemesting strategie ligt op het onderhouden en verbeteren van de bodemkwaliteit, zodat op lange termijn de nutriëntenlevering vanuit mineralisatie onderhouden kan worden. Organische meststoffen hebben namelijk een belangrijke functie als bodemverbeteraar en voeding voor het bodemleven. Vooral C-rijke, langzaam werkende meststoffen zoals compost of vaste mest brengen veel organisch stof toe aan de bodem, wat de bodemkwaliteit op lange termijn kan verbeteren. Mogelijk neemt ook het NLV van de bodem toe als deze meststoffen op lange termijn worden toegepast.

Ondanks deze focus is in sommige gevallen een bijmesting van snelwerkende meststoffen nodig zijn om aan een N-tekort te voorkomen. N-tekorten kunnen op de volgende manieren ontstaan (Zanen et al., 2003):

- Een te lage N-mineralisatie t.o.v. de N-behoefte.
- Een onjuiste timing van de N-mineralisatie, waardoor de N uit mineralisatie te vroeg of te laat beschikbaar komt voor het gewas
- Tussentijdse verliezen, waardoor de N die is vrijgekomen uit mineralisatie verloren gaat voordat het opgenomen kan worden door het gewas

8.1 Samenstelling en eigenschappen van de mest

8.1.1 Overzicht van verscheidene meststoffen

Tabel 5 toont een overzicht van de samenstelling van enkele organische hulpmeststoffen, waaronder de relatieve hoeveelheid N die 2 weken na toediening van deze meststof over het algemeen beschikbaar is (Zanen & Cuijpers, 2008). Ook zijn eigenschappen van compost en bokashi toegevoegd (Postma, 2021).

*Tabel 5: Samenstelling van hulpmeststoffen in % van het verse product. * = Bron: Productie en karakterisering van Bokashi Postma, 2021.*

Hulpmeststof	DS	OS	N-tot	N-min	P_2O_5	K_2O	MgO	C/N	% N na 2 weken
Protamylasse	54	36	2.7	1.7	1.4	9.6	0.6	7.1	50%
Vinasse	43	36	3.2	17.0	0.3	2.1	0.1	7.6	46%
Verenmeel	93	76	11.0	3.1	1.4	1.4	0.2	3.7	32%
Ricinusschroot	90	83	4.5	0.2	2.0	1.1	1.6	7.5	30%
Digestaat co-vergisting	10	8	0.5	1.5	0.2	0.6	0.1	15.5	29%
Kippenmest vers	37	25	1.9	0.4	1.7	1.1	0.4	13.3	20%
Koolzaadschroot	90	85	4.5	0.1	1.9	1.2	0.7	9.1	13%
Monterra Malt	88	74	4.5	0.2	1.2	5.2	0.2	8.2	11%
Maïsdigestaat	8	7	0.5	1.9	0.2	0.6	0.1	10.6	11%
Kippenmest bewaard	57	26	1.7	0.4	2.9	1.7	0.7	10.0	8%
Luzernebrok	90	76	3.0	0.4	0.8	3.8	0.4	11.5	4%
Bodemverbeteraars*									
GFT-compost	70	24	0.9	-	0.4	0.8	-	-	-
Groencompost	60	18	0.5	-	0.2	0.4	-	-	-
Bokashi	38	18	0.4	-	0.2	0.4	-	-	-

Zoals te zien is in Tabel 5 zijn er tussen meststoffen grote verschillen wat betreft de snelheid waarmee stikstof vrijkomt en de hoeveelheid stikstof die geleverd wordt. Over het algemeen hebben meststoffen met een lage C/N en een hoog N-gehalte een snelle werking. Veel van de gegevens uit deze tabel zijn echter gedateerd, en bovendien worden weersomstandigheden en andere teeltomstandigheden niet meegenomen in de kengetallen. De gegevens over compost en bokashi zijn recenter, al blijkt uit overige bronnen dat er grote variatie bestaat tussen soorten compost. De gegevens in de tabel geven een indicatie, maar daadwerkelijke eigenschappen van compost kunnen sterk verschillen (Cassity-Duffey et al., 2020). Vooral voor relatief snelwerkende meststoffen is het van belang om een beter inzicht te krijgen in het verloop van stikstoflevering in verschillende omstandigheden, aangezien deze meststoffen voornamelijk worden ingezet om aan de korte termijn stikstofbehoefte van een gewas te voorzien. In combinatie met een verbeterde kennis over stikstofopname van verschillende biologische gewassen (Hoofdstuk Gewasbehoefte) zal deze kennis een efficiëntere bemesting, met lagere verliezen, mogelijk maken.

8.1.2 Bodemverbetering: Effectieve organische stof (EOS)

Effectieve organische stof (EOS) is het deel van de organische stof dat een jaar na toediening van mest, compost of gewasresten nog over is in de bodem (Zwart et al., z.d.). In het eerste jaar wordt namelijk een groot gedeelte van de organische stof in van meststoffen of gewasresten al verteerd, doordat dit gedeelte makkelijk afbreekbaar is. Deze snel verterende fractie is een belangrijke voedingsbron voor het bodemleven, en bij het verteren komt veel stikstof vrij. Echter

voegt deze labiele fractie niet veel toe aan het gehalte organisch stof in de bodem (Zwart et al., z.d.). Het toevoegen van EOS heeft op de lange termijn een positief effect op de activiteit van het bodemleven en de nutriënten levering van de bodem (Grandy et al., 2022). Het EOS-gehalte geeft dus een goede indicatie hoeveel een bepaalde meststof bijdraagt aan het verhogen van het organische stof gehalte op de lange termijn. Relatief C-rijke, langzaam werkende meststoffen zoals compost bevatten een hoog EOS gehalte en voegen dus veel organisch materiaal toe aan de bodem, terwijl snelwerkende meststoffen en verse gewasresten grotendeels in het eerste jaar na toediening worden verteerd. In het Handboek Bodem en Bemesting staat een uitgebreid overzicht van het EOS-gehalte van verscheidene meststoffen en gewasresten van verschillende gewassen. Tabel 6 & Tabel 7 tonen een kleine selectie van deze gegevens, voor het volledige overzicht kan het handboek geraadpleegd worden (Link: Kengetallen organische stof)

Tabel 6 Overzicht van het EOS-gehalte van enkele meststoffen. H.C = humificatiecoëfficient: de fractie die na één jaar nog over is in de bodem Bron: Handboek Bodem en Bemesting

Organische mest	OS (kg/ton)	EOS (kg/ton)	H.C fractie	C/N
Dierlijke mest				
Rundvee drijfmest	71	50	0.70	17
Rundvee grupstalmest	155	109	0.70	12
Pluimvee	416	137	0.33	8
Compost				
GFT-compost	242	218	0.90	13
Groencompost	179	161	0.90	18

Tabel 7 Overzicht van het EOS-gehalte van de gewasresten van enkele gewassen en groenbemesters. H.C = humificatiecoëfficient: de fractie die na één jaar nog over is in de bodem Bron: Handboek Bodem en Bemesting

Gewas	OS (kg/ha)	EOS (kg/ha)	H.C fractie	C/N
Gewasresten				
Wintertarwe (stro op land gelaten)	9850	3100	0.31	61
Wintertarwe (stro afgevoerd)	6550	2100	0.32	61
Winterpeen	2400	700	0.24	28
Zaaiui	1400	300	0.21	20
Groenbemester				
Rode klaver	4100	1100	0.27	16
Witte klaver	3100	850	0.27	14
Bladrammenas	3800	875	0.23	20
Engels raaigras	4250	1155	0.27	23

8.1.3 Groene middelen / biostimulanten

Biostimulanten zijn hulpstoffen in de landbouw die gemaakt zijn van o.a. zeewierextract, organische zuren en plantengroeibevorderende micro-organismen. De werking van veel van deze producten zijn groot, volgens de producten. Een greep uit wat er op etiketten te lezen valt: gebalanceerde nutriëntenvoorziening, verhoging van het organische stofgehalte van de bodem, versterking fysiologische reacties, verbeterde bloei, toename opbrengst, verbeterde wortelontwikkeling. Een indirect effect dat wordt beschreven is het verhoging van stikstofbeschikbaarheid door *Azospirillum* bacteriën (microbiële) en sommige *Rhizobium* soorten helpen planten bij de stikstofopname. Veel claims van biostimulanten zijn nog lastig te verifiëren, wat het lastig maakt om ze betrouwbaar te maken en ook verschilt het sterk per gewas, locatie, weer en bodemtype wat de werking is van deze middelen (Long et al., 2021) Niet alle biostimulaten zijn toegelaten voor de biologische sector. In 2022 staan er op de SKAL-inputlijst 261 producten die mogelijk als plantbiostimulant op de markt worden gezet (Schöll et al., 2022).

8.2 Bodem, plant of allebei bemesten?

Niet alle voedingsstoffen worden uit mest wordt direct opgenomen door het gewas. Stikstof en koolstof kan nog lange tijd gebonden zijn aan het organische materiaal en zo bijdragen aan het organisch stof gehalte in de bodem. Een gezonde bodem levert allerlei voordelen op zoals betere vochthuishouding, verbeterde bodemstructuur en een actiever bodemleven (Adhikari & Hartemink, 2016). Daarnaast zou een hogere organisch stof gehalte en verhoogde microbiële activiteit tot een hogere NLV kunnen leidden (Grandy et al., 2022). Er is daarom ook steeds meer belang voor de rol van bemesting om de levering van stikstof vanuit de bodem vast te houden en te vergroten (Grandy et al., 2022).

In een langdurig project van het LBI is gekeken naar het effect van bemesting types op gewasopbrengsten en uitspoeling (Bakker et al., 2020). Dit project vond plaats op een lichte zavelgrond in de Flevopolder op een biologisch bedrijf, waarbij drie verschillende bemesting strategieën met elkaar werden vergeleken: een plant-gerichte bemesting strategie (snelwerkende meststoffen, waaronder drijfmest) een bodem-gerichte bemesting strategie (alleen langzaam werkende meststoffen zoals compost) en een strategie waarbij de focus op zowel de plant als de bodem lag (meststoffen zoals potstalmest). Uit de resultaten bleek dat de hoogste gewasopbrengst werd behaald bij de strategie waarbij de focus op zowel de bodem als de plant lag. Daarnaast namen de opbrengsten bij deze strategie gedurende 20 jaar toe, wat lijkt te duiden op een verhoging van de bodemvruchtbaarheid. Daarentegen laat de plantgerichte strategie geen stijging zien in de opbrengst, en nam de opbrengst af bij de bodembemesting strategie. Dit laat duidelijk zien dat juist de combinatie van bodem en plantgerichte meststoffen nodig is om aan de N-behoefte van het gewas te voldoen en tegelijkertijd de bodemvruchtbaarheid te vergroten.

Echter is een soortgelijke proef nog niet uitgevoerd op zandgronden, waar het risico op stikstofverliezen groter is dan op de zavelgrond van deze proef. Juist op zandgronden is het van belang om goed te begrijpen hoe verschillende meststoffen, en combinaties van meststoffen, de gewasopbrengst beïnvloeden en hoe zich dit verhoudt tot stikstofuitspoeling.

In het onderdeel 6 Stikstoflevering vanuit de bodem is het belang van een gezond bodemleven voor de mineralisatie beschreven. Uit experimenten is bekend dat bemesting een zeer groot effect heeft op het bodemleven en zo de nutriënten cyclus in de bodem beïnvloedt (Francioli et al., 2016). Een overzicht van het effect van verschillende organische meststoffen op het bodemleven ontbreekt echter. Dit wordt ook benoemd als kennisvraag in de Kennisagenda biologische productie. Daarnaast is er voor biologische telers vaak een lage beschikbaarheid van biologische dierlijke mest, en is er behoefte aan kennis over mogelijkheden om de nutriëntenvoorziening op peil te houden ondanks dit tekort (Ministerie LVVN, 2023).

8.3 Bemesting: timing en methode

Het moment van bemesting en de manier waarop deze mest wordt toegebracht heeft een groot effect op de stikstof efficiëntie. Zoals eerder beschreven verloopt de mineralisatie sneller bij hoge temperaturen en wanneer het bodemvocht gehalte niet te hoog of te laag is. Stikstoflevering in het (vroege) voorjaar is voor veel biologische telers dan ook een knelpunt. In het vroege voorjaar is de gewasbehoefte weliswaar laag, toch kan deze behoefte voor sommige gewassen snel toenemen. Er kan een situatie ontstaan waarin mineralisatie door de lage temperaturen dan nog niet genoeg op gang is gekomen om aan deze behoefte te voldoen, waardoor er een N-tekort ontstaat. De meeste meststoffen in Tabel 6 hebben een laag N-mineraal gehalte, waardoor deze meststoffen weinig stikstof kunnen leveren als de mineralisatie traag verloopt. Uitzonderingen zijn Vinasse en digestaat, die wel een grote hoeveelheid direct beschikbare N-mineraal bevatten. In een vervolgproef bleek ook kippenmest een snelle stikstoflevering te hebben (Zanen et al., 2008).

Daarnaast moet aandacht besteed worden aan de manier hoe mest wordt toegebracht en verwerkt. Vergelijkbaar met de bewerking van groenbemesters komt de stikstoflevering over het algemeen sneller op gang wanneer meststoffen (ondiep) worden ingewerkt in de bodem vergeleken met meststoffen die oppervlakkig worden gestrooid. Vooral bij meststoffen in korrelvorm kan de mineralisatie zeer traag verlopen als deze meststoffen niet worden ingewerkt (van Zanen et al., 2008). Daarnaast is er een groter risico op ammoniak vervluchtiging bij het niet of incorrect inwerken van meststoffen (Handboek Bodem & Bemesting, 2015). Hoe de methode van toediening de stikstoflevering van mest kwantitatief beïnvloedt, is een relevant kennisvraag om efficiënter om te gaan met mest. Hetzelfde geldt voor het mestverwaarding en toepassing in de biologische akkerbouw, zoals bijvoorbeeld het scheiden van de dikke en dunne fractie van drijfmest en verwerkingen zoals fermentatie.

Box 3: Maaimeststoffen

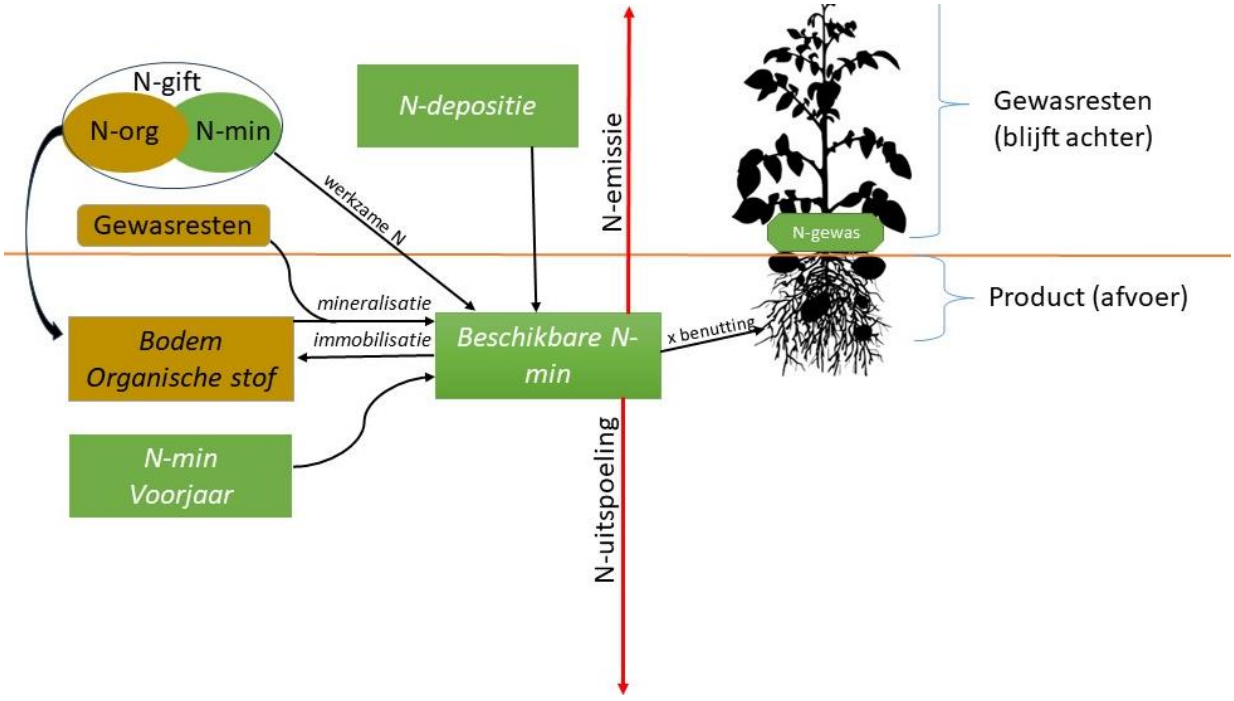
Maaimeststoffen zijn gewassen die worden gemaaid, gehakseld, en als plantaardige meststof gebruikt op ander perceel dan waar ze groeiden. Ze worden dus niet ingewerkt of achtergelaten op het perceel waar ze zijn gezaaid. Vooral vlinderbloemige gewassen zijn hiervoor geschikt. Tot nu toe zijn grasklaver, rode klaver en luzerne de belangrijkste toegepaste gewassen.

Een langdurig onderzoek van 9 jaar, Planty Organic, op het proefbedrijf SPNA in Kollumerwaard onderzocht in welke mate het mogelijk is om in een biologische vruchtwisseling de volledige stikstofinvoer uit maaimeststoffen van eigen land te halen. De uitkomsten waren dat Planty Organic zeer hoog scoorde in N-efficiëntie en maatschappelijke opgaven t.o.v. gangbare praktijk. De stikstofverliezen door uitspoeling en vervluchtiging waren daardoor ook zeer laag. De opbrengsten in dit systeem waren weliswaar lager dan de gangbare praktijk, maar zaten wel in dezelfde grootteorde als het biologische systeem (van der Burgt et al., 2021). Maaimeststoffen lijken dus een veelbelovende aanvulling op de huidige biologische praktijk. Hoe de resultaten uit deze proef zich vertalen naar de praktijk en in welke gevallen maaimeststoffen een waardevolle aanvulling kunnen zijn vraagt om meer toepassing en onderzoek.

Veganistische (vegan, no-shit) akkerbouw
De Zonnegoed (Joost van Strien, Flevoland) en Strokenboerderij (Isaac Bos, Noord-Holland) zijn naast SPNA Planty Organic voorbeelden van bedrijven die zonder dierlijke mest hun gewassen telen.

9 Balansmethode

In het project PPS BAAT (BemestingsAdvies Akkerbouw Toekomstgericht) wordt er gekeken naar nieuwe bemestingsadviezen in de akkerbouw. Hierbij wordt meer rekening gehouden met perceels- en gewaseigenschappen en maatschappelijke opgaven worden meegenomen. Dit bouwt voort op de aanpak beschreven in Postma et al. (2018). Er wordt een balansmethode uitgewerkt voor de gangbare akkerbouw. Een mogelijkheid is om hierop aan te sluiten en hieronder wordt kort ingegaan op de mogelijkheden voor de BAAT-methode in de biologische akkerbouw. In Figuur 5 wordt schematisch weergeven met welke posten er rekening worden gehouden (PPS BAAT tussenrapportage, unpublished). N-inputs voor het gewas zijn: de N-min dat zich al in de bodem bevond tijdens het voorjaar, de N-depositie gedurende het groeiseizoen, de N-min die vrijkomt bij de mineralisatie van bodem organische stof en gewasresten, en ten slotte het deel van de N-bemesting dat tijdens het groeiseizoen beschikbaar komt voor de plant. Bij bemesting met organische mest kan het daarbij zo zijn dat een gedeelte van de aanwezige N niet direct beschikbaar komt voor de plant, maar onderdeel wordt van de bodem organische stof.



Figuur 5. Schematische weergave van de balansmethode. Nwz-gift; werkzame stikstofgift, N-org: werkzame stikstof uit organische mest/compost, N-kunst: werkzame stikstof uit kunstmest. Rode pijlen geven verliesposten aan (PPS BAAT tussenrapportage, unpublished).

Met de balansmethode kan op de volgende manier de optimale N-gift bepaald worden (aangepast van Postma et al., 2018):

Nwz-gift = N-opname / R – (DEP+ Nmin voorjaar + MINbod + MINvv)

Met:

- Nwz-gift = gift aan werkzame N met minerale en organische meststoffen (eerstejaars werking);
- N-opname = totale N-opname door het gewas (oogstproduct + gewasrest);
- R = de efficiëntie of recovery waarmee beschikbare N uit de bodem opgenomen kan worden, hierna de N-benuttingsindex genoemd;
- DEP = N-depositie
- Nmin voorjaar = N-min hoeveelheid in het voorjaar;
- MINbod = N-mineralisatie uit oude bodem organische stof (bodem N-levering);
- MINvv = N-mineralisatie uit voorvrucht en/of groenbemester (nalevering);

In de PPS BAAT is er een literatuuronderzoek gedaan naar de stand van kennis voor de balansmethode (PPS BAAT tussenrapportage, unpublished). De onzekerheden voor de gangbare akkerbouw die gevonden zijn om de balansmethode toe te passen zijn:

1. De te verwachten hoeveelheid opgenomen stikstof door het gewas (N-opname, oogstproduct en gewasrest) en de afgevoerde stikstof met oogstproduct.
2. Voor het gewas beschikbare N uit mineralisatie van de gewasresten van de voorvrucht (MINvv).
3. Voor het gewas beschikbare N uit mineralisatie van bodem organische stof (MINbod).
4. N benuttingsindex (R).
5. Stikstof depositie (DEP).

In de PPS BAAT worden komende jaren deze onzekerheden onderzocht om hier meer informatie over te krijgen. Afronding van het project is in 2027, waarbij een inzetbare Balansmethode 2.0 het streven is.

De bovengenoemde onzekerheden worden ook in dit literatuuronderzoek gevonden. Waar het grote verschil in zit ten opzichte van gangbare balansmethode is dat in de biologische akkerbouw de onzekerheden over bodemgerelateerde vraagstukken belangrijker zijn, aangezien er minder bijsturingsmogelijkheden (kunstmest) en meststoffen beschikbaar zijn. Biologische akkerbouwers zijn veelal afhankelijker van stikstof uit mineralisatie.

10 Conclusie en aanbevelingen

Stikstofuitspoeling per hectare is over het algemeen lager bij biologische akkerbouw vergeleken met gangbaar. Het bouwplan geeft meer ruimte voor bodembedekking door vang- en rustgewassen en er wordt doorgaans minder stikstof toegebracht dan in de gangbare akkerbouw, wat uitspoeling vermindert. Desondanks blijft stikstoflevering en -uitspoeling een grote uitdaging voor biologische telers, met name op zand- en lössgronden. De stikstofvoorziening uit mineralisatie sluit vaak niet aan met de stikstofbehoefte van het gewas, met risico op N-tekorten of juist overschotten.

Een uitgekiend bouwplan en efficiënte bemesting kunnen het risico op uitspoeling sterk verlagen. Om te kunnen bemesten naar behoefte heeft een teler inzicht nodig in de verschillende "bouwstenen" van de bemesting strategie: N-opname en afvoer door het gewas, de N-levering vanuit de bodem, de nalevering en opname door groenbemesters en de levering vanuit organische meststoffen. Deze inzichten kunnen toegepast worden binnen de balansmethode voor bemesting.

Terwijl er al veel onderzoek is en wordt gedaan naar deze onderdelen van de stikstofcyclus zijn er nog veel onopgeloste vraagstukken. Dit rapport geeft een overzicht van de bestaande kennis en de kennishiaten voor een doordachte bemestingsstrategie. Hier is een kort overzicht van te vinden in Tabel 8. Hieruit volgen veel mogelijkheden tot doorontwikkeling, waarvan een paar worden benoemd en verder toegelicht.

Tabel 8: Overzicht van bestaande kennis en mogelijkheden voor doorontwikkelingen

Onderdeel	**Invulling/inzichten per onderdeel**	**Aanbevelingen en lacunes in informatie**
Actuele wet- en regelgeving in biologische sector	Bemesting met B-meststoffen: maximaal 30%	
	Vanggewas op zand- en lössgrond in het najaar verplicht	
Gewas	Oogst biologische gewassen verschilt sterk per gewas.	KWIN: uitbreiding opbrengstdata voor bio, vooral voor zand/löss gronden
	N-opname en N-beschikbaarheid zijn vaak niet in balans	Verkrijg inzicht in N-opname verloop van bio gewassen
	Onvoldoende kennis over N-gehaltes in oogst en gewasresten.	Verkrijg inzicht in N-allocatie in oogst en gewasresten
Bodem	NLV zeer grote bijdrage aan stikstoflevering	Bestudeer de bijdrage van het NLV aan de stikstofopname van bio gewassen
	Complexiteit inschatting NLV: modellen bieden uitkomst	Wat is het kwantitatieve effect van bodemleven op NLV
	Bodemleven speelt centrale rol	Onderzoek het effect van beheer op NLV

Onderdeel	Invulling/inzichten per onderdeel	Aanbevelingen en lacunes in informatie
Groenbemesters	Aanzienlijke N-levering door groenbemesters en gewasresten	Uitbreiding kengetallen N-nalevering van groenbemesters en gewasresten
	Vang- en rustgewassen cruciaal voor verminderen van uitspoeling.	Onderzoek het kwantitatief effect van management op nalevering.
		Onderzoek alternatieve verwerking zoals maaimeststoffen
Mest	Combinatie van plant- en bodemgerichte meststoffen optimaal	Behoefte aan snelwerkende meststoffen bij trage mineralisatie
	Uitgebreid overzicht van EOS van meststoffen en gewasresten is beschikbaar	Verkrijg inzicht op het effect van meststoffen op bodemleven.
		Een lange termijn studie over bemesting op zandgrond ontbreekt.

10.1 Aanbevelingen

- *Vergroot de kennis over stikstofopname van biologische gewassen.*

Kennis over de opbrengst en stikstofopname van biologische gewassen, met name op zand en lössgronden is nodig. Daarnaast kunnen stikstof gehaltes in de oogst en gewasresten inzicht geven in hoeveel stikstof wordt opgenomen, afgevoerd en hoeveel op het land achterblijft. Onderzoek op verschillende locaties en met verschillend beheer zijn nodig voor een goed onderbouwde inschatting.

- *Bestudeer de bijdrage van het NLV aan de stikstofopname van verschillende gewassen.*

De mate waarin stikstof mineralisatie vanuit de bodem bijdraagt aan de stikstofopname van gewassen is in veel gevallen nog onduidelijk. Hiervoor is ten eerste kennis nodig over de hoeveelheid stikstof die vrijkomt door mineralisatie van organisch materiaal in de bodem, en hoe beheer zoals gewasrotatie en bemesting dit beïnvloedt. Het effect van weersextremen op de mineralisatie is een mogelijke doorontwikkeling met het oog op klimaatverandering.
Hoeveel stikstof gewassen in verschillende perioden van het groeiseizoen opnemen vanuit de bodem, en of dit verschilt per gewas is ook een belangrijke kennisvraag.

- *Actualiseer en breid de kengetallen over stikstofnalevering door groenbemesters uit, en onderzoek het kwantitatieve effect van management op de nalevering van stikstof.*

Een recente bron met kengetallen over stikstofnalevering door groenbemesters ontbreekt. Daarnaast is een uitbreiding van de kengetallen voor verschillende groenbemester soorten- en mengsels gewenst. Ook kennis over de kwantitatieve effecten van management (hakselen, onderwerken, laten overwinteren, tijdstip van onderwerken etc.) op de nalevering is nodig.

- *Breng in kaart wat de meerwaarde is van biologische bedrijven met het gericht toepassen van vang- en rustgewassen.*

Bodembedekking in het najaar is één van de belangrijkste factoren om uitspoeling te verminderen. Biologische akkerbouwbedrijven maken veel gebruik van vanggewassen en meerjarige rustgewassen, wat zorgt voor een goede bodembedekking. Het is belangrijk om in kaart te brengen in welke mate deze hoge bodembedekking stikstofuitspoeling vermindert, en hoe effectief verschillende vanggewassen zoals wintervaste of vorstgevoelige soorten zijn in het opvangen van stikstof. Daarnaast is het van belang beter te begrijpen hoe uitspoeling na het inwerken van deze rust- en vanggewassen voorkomen kan worden en dit te koppelen aan maatschappelijk diensten en waarden.

- *Verken mogelijkheden voor bemesting bij een trage mineralisatie, en het optimaal benutten van mest.*

Op momenten dat mineralisatie traag verloopt, zoals het vroege voorjaar en het najaar, spelen vaak stikstoftekorten op in de biologische akkerbouw. Effectieve manieren om hier mee om te gaan zijn nog beperkt. Mogelijkheden zijn het verder verkennen van snelwerkende meststoffen met een relatief hoog N-min gehalte, of manieren om de mineralisatie op gang te helpen zoals het optimaliseren van het bodembeheer. Ook hoe mest optimaal benut kan worden in de biologische akkerbouw, door bijvoorbeeld de methode en timing van toediening, en bewerking om de kwaliteit van de mest te verhogen, is een relevante kennisvraag.

- *Zet in op lange termijn onderzoek over beheer op zandgronden.*

Onderzoek over het lange termijn effect van het type bemesting op de stikstofcyclus en de bodemkwaliteit is uitgevoerd op kleigrond, maar nog niet op zandgronden. Het effect van organische bemesting wordt vaak pas op de lange termijn zichtbaar. Onderzoek op de korte termijn kan deze effecten dus niet goed aantonen. Mogelijke kennisvragen zijn het lange termijn effect van bemesting op de productie, het bodemleven, het NLV vanuit de bodem en het risico op uitspoeling.

11 Literatuur

Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services—A global review. *Geoderma*, *262*, 101-111. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009

Agrimatie. (2023). *Biologische akkerbouwbedrijven*. https://www.agrimatie.nl/lmm/bedrijfstypen/akkerbouwbedrijven/biologische-akkerbouwbedrijven/

Agrimatie. (2024). *Stikstofbodemoverschot op akkerbouwbedrijven*. https://www.agrimatie.nl/lmm/bedrijfstypen/akkerbouwbedrijven/stikstofbodemoverschot-op-akkerbouwbedrijven/

Askegaard, M., Olesen, J. E., Rasmussen, I. A., & Kristensen, K. (2011). Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *142*(3), 149-160. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.04.014

Bakker, N. L., Koopmans, C. J., & van der Burgt, G. J. (2020). *Evaluatie van de méérjarige effecten van verschil- lende typen organische stof op de opbrengststabi- liteit, mineralenbalansen en uitspoelingsverliezen*.

Berkhout, P., Van Der Meulen, H., & Ramaekers, P. (2024). *Staat van landbouw, visserij, voedsel en natuur*. Wageningen Economic Research. https://doi.org/10.18174/677360

Biernat, L., Taube, F., Vogeler, I., Reinsch, T., Kluß, C., & Loges, R. (2020). Is organic agriculture in line with the EU-Nitrate directive? On-farm nitrate leaching from organic and conventional arable crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *298*, 106964. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106964

Bionext, Kaptijn, G., van Bree, M., & Buitenkamp, M. (2019). *Verbetering Sluiting Kringlopen*.

Bloem, J., Ten Berge, H., De Visser, W., Dimmers, W., Matser, A., Pronk, A., & Goedhart, P. (2024). *Organische inputs en stikstofbenutting*. Wageningen Plant Research. https://doi.org/10.18174/661124

Borken, W., & Matzner, E. (2009). Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. *Global Change Biology*, *15*(4), 808-824. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01681.x

Bouma, A., Burgt, G.-J., Kaptijn-Klompe, G., Plaats, G. van der, Fuchs, H., Koeijer, J. de, Koet, J., Velden, L. van der, & Heining, N. (2023). *Kringloop magazine: Over de ambitie van de biologische sector, verder leren en doorontwikkelen | Groenekennis*. https://library.wur.nl/WebQuery/groenekennis/2331566

Cassity-Duffey, K., Cabrera, M., Gaskin, J., Franklin, D., Kissel, D., & Saha, U. (2020). Nitrogen mineralization from organic materials and fertilizers: Predicting N release. *Soil Science Society of America Journal*, *84*(2), 522-533. https://doi.org/10.1002/saj2.20037

CBS. (2020, maart 27). *Biologische landbouw: Arealen en veestapels, 2011-2019 | Compendium voor de Leefomgeving*. https://www.clo.nl/indicatoren/nl001117-biologische-landbouw-arealen-en-veestapels-2011-2019

CBS. (2022). *Toename stikstofoverschot in landbouw door droge zomer 2022* [Webpagina]. Centraal Bureau voor de Statistiek. https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/05/toename-stikstofoverschot-in-landbouw-door-droge-zomer-2022

CBS. (2024). *StatLine—Biologische landbouw; gewassen, dieren, grondgebruik en arbeid*. https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85853NED/table?ts=1713860426859

Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C., & Zhang, Y. (2014). Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *34*(2), 429-442. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0207-8

Claessens, J., van Gils, D., Brussée, T., van Duijnen, R., & Oosterwoud, M. (2024). *Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2020-2023) en trend (1992-2023) Resultaten van de monitoring van de effecten van de EU Nitraatrichtlijn actieprogramma's, 2024*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. https://doi.org/10.21945/RIVM-2024-0113

CLO. (2023, januari 24). *Stikstof-efficiëntie van de Nederlandse landbouw, 1990—2020 | Compendium voor de Leefomgeving*. https://www.clo.nl/indicatoren/nl060902-stikstof-efficientie-van-de-nederlandse-landbouw-1990-2020

CLO. (2024, april 29). *Biologische landbouw: Arealen en veestapels, 2011-2023 | Compendium voor de Leefomgeving*. https://www.clo.nl/indicatoren/nl001121-biologische-landbouw-arealen-en-veestapels-2011-2023

Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen Use Efficiency Definitions of Today and Tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108

Constancias, F., Terrat, S., Saby, N. P. A., Horrigue, W., Villerd, J., Guillemin, J.-P., Biju-Duval, L., Nowak, V., Dequiedt, S., Ranjard, L., & Chemidlin Prévost-Bouré, N. (2015). Mapping and determinism of soil microbial community distribution across an agricultural landscape. *MicrobiologyOpen*, *4*(3), 505-517. https://doi.org/10.1002/mbo3.255

Daly, A. B., Jilling, A., Bowles, T. M., Buchkowski, R. W., Frey, S. D., Kallenbach, C. M., Keiluweit, M., Mooshammer, M., Schimel, J. P., & Grandy, A. S. (2021). A holistic framework integrating plant-microbe-mineral regulation of soil bioavailable nitrogen. *Biogeochemistry*, *154*(2), 211-229. https://doi.org/10.1007/s10533-021-00793-9

de Haan, J., & Verstegen. (2015). *Balans in Bemesting*. Ekoland. https://edepot.wur.nl/368304

de Haan, J., Verstegen, H., & Ur, W. (z.d.). *Juiste bemesting is essentieel voor goede gewasopbrengsten, opbouw van bodemvruchtbaarheid en het voorkomen van emissies. Onderzoekers Janjo Haan en Harry Verstegen zochten op proefbedrijf Vredepeel naar de beste bemesting voor het biologische bedrijfssysteem. Bijbemesting in de prei en het goed inschatten van de mineralisatie en stikstofbenutting blijkt het lastigst.*

De Notaris, C., Rasmussen, J., Sørensen, P., & Olesen, J. E. (2018). Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *255*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.009

de Ponti, T., Rijk, B., & van Ittersum, M. K. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, *108*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004

Demeter keurmerk. (2025, januari 23). *Stichting Demeter*. https://stichtingdemeter.nl/over-ons/demeter-keurmerk/

D'Haene, K., & Georges. (2020). *Stikstofmineralisatie*.

Dodde, H. (2022). Ook op zand is uitspoeling van stikstof beheersbaar. *Nieuwe Oogst*.

DPIRD. (2017). *Immobilisation of soil nitrogen in heavy stubble loads* [Text]. https://www.agric.wa.gov.au/soil-carbon/immobilisation-soil-nitrogen-heavy-stubble-loads

Elrys, A. S., Ali, A., Zhang, H., Cheng, Y., Zhang, J., Cai, Z.-C., Müller, C., & Chang, S. X. (2021). Patterns and drivers of global gross nitrogen mineralization in soils. *Global Change Biology*, *27*(22), 5950-5962. https://doi.org/10.1111/gcb.15851

EU. (2018). *Regulation (EU) 2018/ of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007*.

EU. (2021). *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/1165 of 15 July 2021 authorising certain products and substances for use in organic production and establishing their lists*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/1165/oj/eng

Farzadfar, S., Knight, J. D., & Congreves, K. A. (2021). Soil organic nitrogen: An overlooked but potentially significant contribution to crop nutrition. *Plant and Soil*, *462*(1), 7-23. https://doi.org/10.1007/s11104-021-04860-w

Fontaine, S., Abbadie, L., Aubert, M., Barot, S., Bloor, J. M. G., Derrien, D., Duchene, O., Gross, N., Henneron, L., Le Roux, X., Loeuille, N., Michel, J., Recous, S., Wipf, D., & Alvarez, G. (2024). Plant–soil synchrony in nutrient cycles: Learning from ecosystems to design sustainable agrosystems. *Global Change Biology*, *30*(1), e17034. https://doi.org/10.1111/gcb.17034

Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F., & Reitz, T. (2016). Mineral vs. Organic Amendments: Microbial Community Structure, Activity and Abundance of Agriculturally Relevant Microbes Are Driven by Long-Term Fertilization Strategies. *Frontiers in Microbiology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01446

Friedel, J. K., Fohrafellner, J., Wohlmuth, M.-L., & Gollner, G. (2020). *Soil inorganic N contents and maize yield following winter-hardy vs. Freeze-killed cover crop mixtures on an organic farm in Eastern Austria*. 13611. EGU General Assembly Conference Abstracts. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-13611

Gollner, G., Fohrafellner, J., & Friedel, J. K. (2020). Winter-hardy vs. Freeze-killed cover crop mixtures before maize in an organic farming system with reduced soil cultivation. *Organic Agriculture*, *10*(1), 5-11. https://doi.org/10.1007/s13165-020-00294-3

Grandy, A. S., Daly, A. B., Bowles, T. M., Gaudin, A. C. M., Jilling, A., Leptin, A., McDaniel, M. D., Wade, J., & Waterhouse, H. (2022). The nitrogen gap in soil health concepts and fertility measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, *175*, 108856. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108856

Guntiñas, M. E., Leirós, M. C., Trasar-Cepeda, C., & Gil-Sotres, F. (2012). Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, *48*, 73-80. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.07.015

Haan, J. de, Wesselink, M., Dijk, W. van, Verstegen, H., Geel, W. van, & Berg, W. van den. (2018). *Biologische teelt op een zuidelijke zandgrond: Opbrengst, bemesting, bodemkwaliteit en stikstofverliezen : Resultaten van het biologische bedrijfssysteem van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2000-2016* (No. WPR-755; p.). Wageningen Plant Research. https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/533232

Handboek Bodem & Bemesting. (2015, februari 23). *Stikstofrijenbemesting*. sites.wageningenur.nl. https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/ingangen/handeling/bemesting/stikstof/stikstofrijenbemesting.htm

Hansen, S., Berland Frøseth, R., Stenberg, M., Stalenga, J., Olesen, J. E., Krauss, M., Radzikowski, P., Doltra, J., Nadeem, S., Torp, T., Pappa, V., & Watson, C. A. (2019). Reviews and syntheses: Review of causes and sources of N_2O emissions and NO_3 leaching from organic arable crop rotations. *Biogeosciences*, *16*(14), 2795-2819. https://doi.org/10.5194/bg-16-2795-2019

Hauggaard-Nielsen, H., Mundus, S., & Jensen, E. S. (2012). Grass-clover undersowing affects nitrogen dynamics in a grain legume–cereal arable cropping system. *Field Crops Research*, *136*, 23-31. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.001

Ivić, M., Grljušić, S., Plavšin, I., Dvojković, K., Lovrić, A., Rajković, B., Maričević, M., Černe, M., Popović, B., Lončarić, Z., Bentley, A. R., Swarbreck, S. M., Šarčević, H., & Novoselović, D. (2021). Variation for Nitrogen Use Efficiency Traits in Wheat Under Contrasting Nitrogen Treatments in South-Eastern Europe. *Frontiers in Plant Science*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.682333

Jahanzad, E., Barker, A. V., Hashemi, M., Eaton, T., Sadeghpour, A., & Weis, S. A. (2016). Nitrogen Release Dynamics and Decomposition of Buried and Surface Cover Crop Residues. *Agronomy Journal*, *108*(4), 1735-1741. https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0001

Kaiser, K., Wemheuer, B., Korolkow, V., Wemheuer, F., Nacke, H., Schöning, I., Schrumpf, M., & Daniel, R. (2016). Driving forces of soil bacterial community structure, diversity, and function in temperate grasslands and forests. *Scientific Reports*, 6(1), 33696. https://doi.org/10.1038/srep33696

Kuypers, M. M. M., Marchant, H. K., & Kartal, B. (2018). The microbial nitrogen-cycling network. *Nature Reviews Microbiology*, *16*(5), 263-276. https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9

Lammerts van Bueren, E. T., & Struik, P. C. (2017). Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*(5), 50. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0457-3

Lavallee, J. M., Soong, J. L., & Cotrufo, M. F. (2020). Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*, *26*(1), 261-273. https://doi.org/10.1111/gcb.14859

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, *1*(10), 544-553. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8

Li, Y., Song, D., Liang, S., Dang, P., Qin, X., Liao, Y., & Siddique, K. H. M. (2020). Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, *204*, 104721. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104721

Li, Z., Tian, D., Wang, B., Wang, J., Wang, S., Chen, H. Y. H., Xu, X., Wang, C., He, N., & Niu, S. (2019). Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability. *Global Change Biology*, *25*(3), 1078-1088. https://doi.org/10.1111/gcb.14557

Long, J. R. D., Streminska, M. A., & Salm, C. van der. (2021). *Biostimulanten: Soorten en werkingsmechanismen*. https://doi.org/10.18174/551140

Lori, M., Symnaczik, S., Mäder, P., Deyn, G. D., & Gattinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLOS ONE*, *12*(7), e0180442. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442

Migchels, G., De Jonge, I., Bracke, M., Vellinga, T., & Sukkel, W. (2023). *Het perspectief van biologische landbouw: Effecten van het vergroten van het areaal biologische akkerbouw en melkveehouderij op klimaat, natuur en dierenwelzijn*. Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/629169

Ministerie LVVN. (2022). *Actieplan Groei van biologische productie en consumptie*. https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/12/19/lnv-actieplan-biologische-landbouw

Ministerie LVVN. (2023). *LNV Kennisagenda Biologische productie en consumptie*.

Ministerie LVVN, & Ministerie I&W. (2021). *7e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2022-2025)*. https://open.overheid.nl/documenten/ronl-31b2d76b-e0a6-455f-9de0-10606eca5eb3/pdf

Moreau, D., Bardgett, R. D., Finlay, R. D., Jones, D. L., & Philippot, L. (2019). A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology*, *33*(4), 540-552. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303

NMI, LBI, & CLM. (z.d.). *Stikstofinhoud Groenbemesters*. https://www.nmi-agro.nl/wp-content/uploads/2010/05/WaaierGroenbemesters.pdf

Postma, R. (2021). *Productie en karakterisering van bokashi; resultaten van praktijkpilots op zeven bedrijven. NMI, 2021*.

Regelgeving meststoffen. (z.d.). Skal Biocontrole. Geraadpleegd 4 februari 2025, van https://www.skal.nl/certificeren/teelt-van-gewassen/voorwaarden/meststoffen

Ruijter, F. J. de, Dijk, W. van, Geel, W. C. A. van, Holshof, G., Postma, R., & Wilting, P. (2020). *Actualisatie van stikstof- en fosfaatgehalten van akkerbouwgewassen met een groot areaal*. https://doi.org/10.18174/520624

RVO. (2024a). *Tabel1 Wanneer mest uitrijden*. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-12/Tabel-1-Wanneer-mest-uitrijden-2024.pdf

RVO. (2024b). *Wat verandert er in 2025 voor u als agrarisch ondernemer*. RVO.nl. https://www.rvo.nl/onderwerpen/veranderingen-2025-agrarisch-ondernemers

RVO. (2025). *Tabel 2 Stikstof landbouwgrond*.

Sadras, V. O., Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2016). Crop Development and Growth. In F. J. Villalobos & E. Fereres (Red.), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 141-158). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_11

Schöll, L. van, Postma, R., Ehlert, P., Veenemans, L., & Bussink, W. (2022). *Opties voor opname van plantbiostimulanten in de Nederlandse Meststoffenwet: WP-2 Implementatie van VO-EU 2019/1009 in de Meststoffenwet*. https://doi.org/10.18174/549882

Schrama, M., de Haan, J. J., Kroonen, M., Verstegen, H., & Van der Putten, W. H. (2018). Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *256*, 123-130. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.023

Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, *485*(7397), 229-232. https://doi.org/10.1038/nature11069

Sommermann, L., Geistlinger, J., Wibberg, D., Deubel, A., Zwanzig, J., Babin, D., Schlüter, A., & Schellenberg, I. (2018). Fungal community profiles in agricultural soils of a long-term field trial under different tillage, fertilization and crop rotation conditions analyzed by high-throughput ITS-amplicon sequencing. *PLOS ONE*, *13*(4), e0195345. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195345

Sukkel, W., van Wijk, K., & Vermeij, I. (2011). *Duurzaamheidsprestaties op het gebied van Milieu*. https://edepot.wur.nl/185227

Sullivan, D. M. (2014, december 18). *Estimating Plant-Available Nitrogen Release from Cover Crops* [Extension Catalog publication]. Extension Communications; Oregon State University Extension Service. https://extension.oregonstate.edu/catalog/pub/pnw-636-estimating-plant-available-nitrogen-release-cover-crops

Torstensson, G., & Aronsson, H. (2000). Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop systems in Sweden. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *56*(2), 139-152. https://doi.org/10.1023/A:1009821519042

Valkama, E., Lemola, R., Känkänen, H., & Turtola, E. (2015). Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *203*, 93-101. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.023

van der Burgt, G. J. (2022). *Stikstof efficientie in de biologische landbouw*. Startbijeenkomst stikstofpilot. https://www.youtube.com/watch?v=jclCNYL2EnQ

van der Burgt, G.-J., Timmermans, B., & Havenga de Poel, H. (2021). *Evaluatie Planty Organic 2012-2020*.

van 't Hoff, J. (2024). *BAAT: Nitrogen supply of the soil* [Internship report].

Vanggewas op zand- en lössgrond. (2023). RVO. https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/vanggewas-op-zand-en-lossgrond

WUR. (2019a). *Handboek groenbemesters H3: Keuze groenbemesters*.

WUR. (2019b). *Handboek groenbemesters. Hoofdstuk 10: Bewerken en inwerken van groenbemesters*.

WUR. (2022). *KWIN- AGV "Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt* (No. 941). Wageningen Plant Research.

Yan, M., Pan, G., Lavallee, J. M., & Conant, R. T. (2020). Rethinking sources of nitrogen to cereal crops. *Global Change Biology*, *26*(1), 191-199. https://doi.org/10.1111/gcb.14908

Yang, X. M., Drury, C. F., Reynolds, W. D., & Phillips, L. A. (2020). Nitrogen release from shoots and roots of crimson clover, hairy vetch, and red clover. *Canadian Journal of Soil Science*, *100*(3), 179-188. https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0164

Zanen, M., & Cuijpers, W. (2008). *Hulpmeststoffen | Louis Bolk Instituut*. https://www.louisbolk.nl/publicaties/hulpmeststoffen-0

Zanen, M., Koopmans, C., Postma, R., & van Loon, T. (2003). *Optimalisering van de stikstofvoorziening in de biologische groenteteelt*.

Zebarth, B. J., Tai, G., Tarn, R., de Jong, H., & Milburn, P. H. (2004). Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, *84*(2), 589-598. https://doi.org/10.4141/P03-050

Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, *528*(7580), 51-59. https://doi.org/10.1038/nature15743

Zwart, K., Kikkert, A., Wolfs, A., Termorshuizen, A., & van der burgt, G. J. (z.d.). *Tien vragen en antwoorden over organische stof*.