



**Minder
stikstof
uitstoot door
Circular
Biobased
Fertilisers
(CBFs) in
akker- &
tuinbouw**



transforming risks into result

Onderzoek met steun van



provincie
Zuid-Holland



Agrimaco

Minder stikstof uitstoot door Circular Biobased Fertilisers (CBFs) in akker- & tuinbouw

Versie: 1.0

dd.: 31 mei 2024
Printdatum: 31 mei 2024

©

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande toestemming van Agrimaco.

No part of this publication may be reproduced in any form by print, photo print, microfilm or any other means without written permission of Agrimaco.

Colofon

Titel (& ondertitel) : Minder stikstofuitstoot door Circular Biobased Fertilisers (CBFs) in akker- en tuinbouw
Referentie, versie : 1.0
Datum : 31 mei 2024
Opdrachtgever : PZH
Project : MIT 2023
Contactpersoon : Teun Biemond
Co-auteurs : Daan Kuiper (CropEye) en Henk de Bruin

Document historie

ID/versie	:		
Bewerkt door	:		
Verzonden aan	:		
Datum	:		
Status	:		
Opmerking	:		

Inhoud

1	Samenvatting	4
2	Inleiding	5
2.1	Aanleiding.....	5
2.2	Context: het principe van CBFs	6
2.3	Minerale meststoffen versus organische bemesting	7
2.4	De vervluchtiging naar de lucht.....	8
2.5	Het doel c.q. de haalbaarheidsvraag	10
2.6	Leeswijzer	10
2.6.1	<i>Oorspronkelijk plan van aanpak</i>	10
2.6.2	<i>Gewijzigd plan van aanpak</i>	11
3	Formuleren bodemkarakteristieken en haalbaarheidsindicatoren	13
3.1	Keuze bodems.....	13
3.2	Variatie binnen bodemtypes	15
3.3	Invloed type organische stof.....	16
3.4	Invloed van seizoenen	20
3.5	Haalbaarheidsindicatoren	222
4	Resultaten deskresearch	26
4.1	Deskundigen kenniswereld	26
4.2	Interview boeren	34
4.3	Interview René Jochems	35
5	Discussie & conclusies	37
5.1	Integratie van de informatie van de boeren en deskundigen	37
5.2	Toetsing: haalbaarheidsvragen met indicatoren	38
5.2.1	<i>Haalbaarheidsvraag 1: kwantitatieve invloed</i>	38
5.2.2	<i>Haalbaarheidsvraag 2: kwalitatieve invloed</i>	40
5.2.3	<i>Haalbaarheidsvraag 3: afhankelijkheden</i>	42
5.2.4	<i>Haalbaarheidsvraag 4: modelmatige verwerking</i>	48
5.3	Beoordeling overall haalbaarheid.....	48
5.4	Discussie en conclusies	50
6	Aanbevelingen	52
	Bijlagen	53



1 Samenvatting

De Nederlandse landbouw stoot te veel stikstof uit; met name ammoniak naar de lucht en nitraat naar grondwater en oppervlaktewater. Eén van de oplossingsrichtingen voor deze problematiek vormen innovaties. Onze innovatie zet in op een verbetering van stikstofhuishouding van de bodem; als deze in balans is met de opname door het gewas dan verminderen de verliezen naar het milieu aanmerkelijk. Hiervoor kunnen *Circular Biobased Fertilisers* (CBFs) worden gebruikt. Dit zijn op organische stof gebaseerde meststoffen, die bodem specifiek ontworpen, en uit plantaardige afvalstromen samengesteld, kunnen worden. De claim die getoetst is luidt: kan de toepassing van CBFs in de landbouw de emissie van stikstofcomponenten naar het milieu substantieel verminderen? Dit MIT-haalbaarheidsproject richt zich dus op minder stikstofuitstoot naar lucht en water. Op basis van deskresearch, expertinterviews en analyses van praktijkkennis en -inzichten, is de verkregen state-of-the-art kennis en kunde vertaald in een model voor de verminderde stikstofemissie op een drietal grondsoorten door de inzet van CBFs. Dit model is gebruikt voor de technologische toetsing van de haalbaarheid. Het model kan later mede input zijn voor het productieprotocol van CBFs. Belangrijke variabelen in het model zijn - naast de drie bodemtypen - gewastype, rotatieschema, bedrijfsmanagement en de verschillende soorten organische stof, waaronder stabiel én goed afbreekbaar, in de grondstofcomponenten voor CBFs.

2. Inleiding

2.1 Aanleiding

De lekkage van stikstof uit de akkerbouw uit zich vanuit milieuoogpunt in twee aspecten: verspreiding via grond- en oppervlaktewater en via de lucht. Dit houdt ook in dat deze stikstof niet effectief is ingezet voor de groei van het gewas.

Het grondwater

Om gewassen maximaal te laten groeien wordt stikstof als kunstmest en dierlijke mest op de bodem gebracht. Een deel van de stikstof wordt door de wortels van gewassen opgenomen en via de oogst afgevoerd. Het restant spoelt grotendeels als nitraat uit naar het grondwater.

Kaderrichtlijn Water (KRW)

De KRW schrijft voor dat uiterlijk in 2027 de kwaliteit van oppervlaktewater en grondwater op orde moet zijn. Voor nitraat in grondwater geldt de norm van 50 mg/liter als bovengrens. Nederland is verplicht om (grond)water dat bestemd is voor drinkwaterproductie zodanig te beschermen dat de kwaliteit ervan niet achteruitgaat én de zuiveringsinspanning voor de productie van drinkwater vermindert. De Nitraatrichtlijn heeft tot doel om verontreiniging van grond- en oppervlaktewater met nitraat uit agrarische bronnen te verminderen. Dit is een continue verplichting, de richtlijn heeft geen einddatum. De maatregelen om dit te bereiken zijn verplicht.

De lucht

In de EU zijn afspraken gemaakt over de bescherming van natuurgebieden. Nederland moet zich daaraan houden. Voor Nederland is het beschermen van de natuur een extra uitdaging omdat de ruimte beperkt is. Daardoor liggen natuurgebieden en landbouw dicht bij elkaar. De Raad van State oordeelde in mei 2019 dat Nederland niet genoeg doet om de natuurgebieden gezond te houden: er komt te veel stikstof in terecht.

In 2021 is de Stikstofwet aangenomen om de stikstofuitstoot te verlagen en de natuur te verbeteren. In 2030 moet de stikstofneerslag volgens deze wet in de helft van de Natura 2000-natuurgebieden onder de kritische depositiewaarde (op een veilig) niveau zijn. Een belangrijke bron voor de stikstof emissies naar de lucht is het gebruik van kunstmest en drijfmest in de akkerbouw die emissies van ammoniak veroorzaken.

Deze aandachtsgebieden "dwingen" de akkerbouw stappen te ondernemen.

2.2 Context: het principe van CBFs

Het concept van CBFs (Circular Biobased Fertilisers) is gericht op het management van de organische stof in de bodem: het gehalte organische stof, de turnover en de types van organische stof. Organische stof vormt het voedsel (o.a. de energie) voor de biologische motor van de bodem die zorg draagt voor de weerbaarheid van de bodem tegen (a)biotische disbalansen, voor het mobiliseren van nutriënten voor het gewas (de mineralisatie en grotendeels het transport) en mede voor de structuur van de bodem waarvan fysische parameters als CEC (*Cation-Exchange Capacity*; nutriënten bufferend vermogen) en waterbergend vermogen afhankelijk zijn. Het terugvoeren van organische stof naar de bodem is noodzakelijk om deze biologische motor gaande te houden, c.q. aan te jagen. Tevens is de opbouw van de organische stoffractie in de bodem relevant via de bodembiodiversiteit voor de bodemgezondheid en vervolgens voor de gewasgezondheid (minder gewasbeschermingsmiddelen). Daarnaast heeft organische stof in de bodem een hydrologisch stabiliserende rol, is het essentieel voor een goede porositeit, vormt het de basis van de biodiversiteit en onderdrukt het verliezen van broeikasgassen en ammoniak/nitraat naar respectievelijk lucht en (grond)water.

Na de WO II heeft de landbouw heeft zich gefocust op hoogproductieve gewassen met een grote behoefte aan nutriënten die thans grotendeels in minerale vorm toegediend worden. Hierbij is het management van organische stof in de bodem verwaarloosd met de nodige consequenties. Om CBFs als werkmodel van de grond te krijgen, zowel technisch, maatschappelijk als organisatorisch (inclusief markt & economie), is een aantal denkslagen nodig om uit het gangbare denken te komen dat belemmerend zou kunnen werken voor een verdere verduurzaming:

1. *"Lineariteit wordt circulariteit"*

Voedselproductie is nu een lineair proces met hoge input van chemie en energie, waarbij voedselveiligheid, natuurlijke grondstofbronnen, milieu, bodemkwaliteit en klimaat in het geding zijn. Echter, voedselproductie als een circulair proces is gebaat bij het dynamische behoud van biomassa (organische stof als grondstof en als bouwsteen) en nutriënten en sluit naadloos aan bij begrippen als "natuur-inclusief" en "klimaatneutraal".

2. *"Gewasvoeding wordt bodemvoeding"*

Bij gewasvoeding/meststoffen gaat het over de beste N-P-K verhouding in relatie tot gewasbehoefte en sluit men bodemprocessen uit; ultimo de bodem wordt een substraat. Bodemvoeding gaat over het (op)voeden van de bodem zodat deze in staat is om in toenemende mate het gewas via mineralisatie te voeden en via een bio-divers bodemleven bescherming te bieden.

3. *"Waarde piramide groene grondstoffen wordt behoud van biomassa"*

De waarde piramide is nu gericht op de marge die met lineaire producten wordt gemaakt door deze groene grondstoffen in de markt realiseren. Vandaar dat de farmaceutica en cosmetica boven in de duurzaamheidspiramide zitten en agrarische toepassingen als meststoffen helemaal onderin zitten.

Circulariteit is hier geen criterium, alleen het *biobased* karakter en een mogelijk hergebruik worden gewogen. Het netto behoud van biomassa is een circulaire verwaarding waarbij de cirkel begint en eindigt bij de bodem: de bodem regenereert de biomassa en is van daaruit cruciaal, duurzaam functioneel:

- Gewas voedend en -beschermend
- Klimaatbestendig
- Emissies verlagend
- Natuur-inclusief
- CO₂ vastlegend

In principe legt deze koolstofkringloop netto koolstof vast en heeft derhalve een waardevolle negatieve CO₂ footprint.

2.3 Minerale meststoffen versus organische bemesting

Een van de grootste verschillen tussen kunstmest en organische mest is dat kunstmest een snellere werking heeft vanwege het minerale karakter. Veel van de tegenwoordig in de reguliere landbouw gebruikte kunstmeststoffen zijn anorganische zouten en zijn wateroplosbaar. Eenmaal gestrooid zullen de mestkorrels binnen enkele dagen, zeker bij nat weer, opgenomen worden in de bodem en in principe meteen voedingsstoffen vrijgeven aan de gewassen. Qua hoeveelheden zijn de macronutriënten stikstof, fosfaat en kalium het belangrijkste, maar ook meso- en micronutriënten (denk aan calcium, magnesium, mangaan, borium, etc.) zijn belangrijk voor de gewasgroei. Deze laatste elementen zijn in reguliere kunstmest minder of niet aanwezig. Mineralen meststoffen zorgen door hun directe beschikbaarheid voor een snellere van het gewas. Deze mest is meestal relatief snel uitgeput; de meststof werkt slechts enkele maanden.

Het gebruik van stikstof uit dierlijke mest is op grond van EU-wetgeving beperkt tot 170 kg N/ha. Voor de huidige hoge producties hebben veel gewassen meer dan 170 kg N/ha nodig, en mogen wettelijk ook meer N toegediend krijgen. Voor gewassen en bodems zijn van uit de overheid gebruiksnormen gedefinieerd. Dit wordt ingevuld via stikstofkunstmest. Dat is bij de huidige productieniveaus nodig. Qua soorten onderscheiden we nitraat houdende, ammonium houdende en ureumstoffen.

Organische mest is in veel gevallen een meststof van de langere adem. Deze mestsoorten geven de voedingsstoffen namelijk geleidelijk af aan bodem en het gewas. Hierdoor hebben deze meststoffen vaak een werking van maandenlang en mogelijk een nawerking tot in volgende jaar. Deze langzamere vrijgave van voedingsstoffen gaat meer gelijk op met de groeibevorderende omstandigheden voor van het gewas. Organische mest bevat minder NPK-voedingsstoffen per gewichtseenheid heeft en dat heeft de nodige negatieve consequenties (opslag, transport, toediening), maar daarentegen bevat het wel veel meer noodzakelijke sporenelementen. In tegenstelling tot chemische meststoffen, hebben organische meststoffen een positief effect op het bodemleven. Het bodemleven is van grote invloed op de

plantengroei. Uit organisch materiaal maakt het bodemleven de voedingsstoffen vrij voor de plant. Daarnaast heeft het bodemleven nog diverse andere functies. Het bodemleven is niet homogeen door de grond aanwezig; het concentreert zich op specifieke plaatsen waar soms van elkaar geïsoleerde ecologische evenwichten ontstaan. Denk bijvoorbeeld aan het oppervlak van de plantenwortels. Daar bevat de bodem grote hoeveelheden bacteriën, actinomyceten en schimmels in gewicht van meer dan tientallen tonnen gewicht per ha. Het is een zeer complex systeem waarbij bij een meer ecologische landbouw gestreefd wordt naar een optimale interactie tussen het bodemleven en de plant met zo min mogelijk verlies van voedingstoffen naar het milieu en een goede groei van een gezonde plant.

2.4 De vervluchtiging naar de lucht

Slechts een klein deel van de stikstof uit ammonium stikstof kan direct door de plant worden opgenomen. Het merendeel van het ammonium moet door bodemmicroben bij voldoende zuurstof worden omgezet tot nitraat. Dit wordt nitrificatie genoemd. Door de positieve lading van ammonium (NH_4^+) is het weinig mobiel in de bodem en vindt er weinig uitspoeling plaats. Wanneer nitraat (NO_3^-) via nitriet (NO_2^-) en lachgas (N_2O) bacterieel wordt omgezet in stikstof N_2 , kan dit molecuul naar de atmosfeer ontsnappen (denitrificatie). Dat is ook emissie naar de lucht en dit gebeurt alleen bij sterk anaerobe omstandigheden.

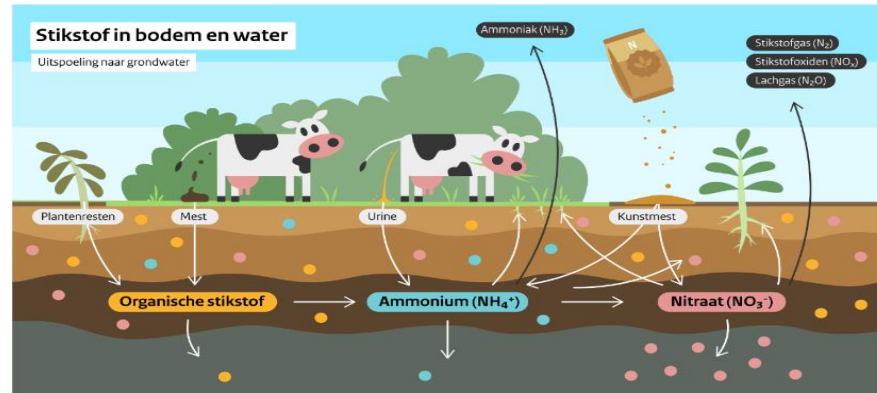
In contact met de lucht en vooral in omstandigheden met een hoge pH wordt het vrije NH_4^+ snel omgezet in ammoniakgas (NH_3). Ammonium is namelijk een zwak zuur. In een basisch milieu zal ammonium zich als een zuur gedragen en een waterstofion (H^+) afsplitsen. Hierbij ontstaat ammoniak (NH_3) volgens de reactievergelijkingen:

- $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$
- $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de zuurgraad en van het surplus aan NH_4^+ . Grondsoort speelt een rol door de aanwezige zuurgraad en de bufferende werking. Hoe hoger de pH van de bodem, des te hoger de potentiële ammoniakemissie. Basische gronden, zoals kalkrijke kleigrond, zijn gevoelig voor ammoniakverliezen. De pH-bufferende werking is de capaciteit van de bodem om een verandering in zuurgraad (pH) te voorkomen. Een lagere buffercapaciteit zal de vervluchtiging van ammoniak bevorderen. Dit speelt vooral bij (zand)gronden met een laag organisch stofgehalte (ondanks dat die gemiddeld een wat lagere pH hebben waardoor dit effect per saldo beperkt is).

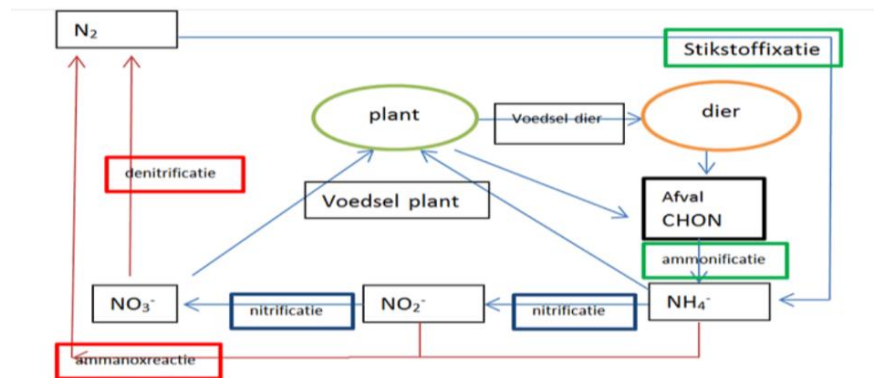
Ook bij de daadwerkelijke toediening van kunstmest en organische mest kan een (belangrijk) deel van de N uit het ammonium deel vervluchtigen. Het gaat dan om marges van 5-20%. Zie tabel Vervluchtigingspercentages en werkingspercentages in bijlage 1.

De grondgedachte van organische meststoffen is dat organisch gebonden N minder snel vervluchtigt en dan alleen wanneer de bodemsituatie zelf daar aanleiding toe geeft. Het biologische proces van N-vrijkoming uit organische stof is in een gezonde bodem in balans met de opname door de planten en zo zal de emissie van N minimaal zijn.



Figuur 1. Uitspoeling van stikstof naar grondwater. (Verkregen via: Stikstof in bodem en water. (n.d.). RIVM.

<https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-effecten-mestbeleid/stikstof-in-bodem-en-water>



Figuur 2. Schematisering N-processen in/op de bodem

2.5 Het doel c.q. de haalbaarheidsvraag

Tegen het licht van bovenstaande achtergrond wordt de onderzoeksvraag geformuleerd: in hoeverre kunnen CBFs bijdragen aan de reductie van de stikstofuitstoot in Nederland? Een vraag van essentieel belang, gezien de huidige stikstofproblematiek in de landbouw. De inzet van CBFs vermindert de inzet van minerale- en dierlijke meststoffen. De inzet van CBFs op zich is al een reductie van de stikstofemissie op het niveau van het produceren en transporteren van deze meststoffen. Daarnaast willen we onderzoeken in hoeverre het gebruik van CBFs op/in de akker de stikstofuitstoot vermindert of zou kunnen verminderen: is de samenstelling van de CBFs zodanig te modificeren, mede op basis van de stikstofprocessen in de bodem dat deze substantieel hierin bijdragen? Recent Europees onderzoek heeft bijvoorbeeld aangetoond dat de emissie van het zeer sterke broeikasgas N₂O (lachgas) bij gebruik van CBFs 60-80% lager is in vergelijking met het gebruik van minerale meststoffen. Wij willen de relatie N-emissies en het gebruik van CBFs beter in kaart brengen voor Zuid-Holland door een drietal representatieve bodemtypes als "denk-pilot" te gebruiken met behulp van bestaande kennis en deskundigheid vanuit de akkerbouwers en literatuur.

2.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de kenmerken van en variatie in de bodems op de ZH-eilanden, de verschillende soorten organische stof, de invloed van de verschillen in seizoenen en de complexiteit van haalbaarheidsindicatoren. In hoofdstuk 4 volgen de resultaten van de desk research (met name interviews) waarna in hoofdstuk de discussie en conclusies volgen. Gevolgd door enkele aanbevelingen in hoofdstuk 6 en een paar bijlagen.

2.6.1 Oorspronkelijk plan van aanpak

In onderstaande tabel 1 is het oorspronkelijke plan van aanpak opgenomen. Tijdens het uitvoeren van het haalbaarheidsonderzoek is gebleken dat een andere indeling meer geschikt is. Deze is in de volgende paragraaf 2.6.2 toegelicht.

Tabel 1. Oorspronkelijk plan van aanpak

	Activiteit	Resultaat	Wijze van werken
0	Formuleren haalbaarheidsindicatoren.	Wensprofiel	Workshop met beoogde eindgebruikers en ketenpartners.
1	Keuze van 3 standaard bodems (klei, zand en zavel), hun organisch stofgehalte en hun emissiepatroon.	Startanalyse: Bodemverschillen	Keuze bodemtypes: stakeholders + state of art literatuur.

2	Variatie binnen elk gekozen bodemtype (1) door gewastype, rotatieschema en type management.	Gevoeligheidsanalyse	Interview met bodemgebruikers + state of art literatuur.
3	Invloed van drie typen organische stof op dynamiek van standaardbodems: emissiepatronen nitraat en ammoniak gedurende seizoen 1 en gedurende 5 jaar periode met jaarlijks identieke gift.	Dynamiek prognose incl. indicatie voor stabilisatie	Keuze typen organisch stof op basis van hun eigenschappen en beschikbaarheid + State of art literatuur. De effecten: op basis (plus extrapolatie) van beschikbare literatuurgegevens en deskundigen-oordeel.
4	Invloed van kwantitatieve en kwalitatieve variaties in de organische stof op dynamiekprognose van (3).	Scenario-analyse-1	Op basis (plus extrapolatie) van beschikbare literatuurgegevens en deskundigenoordeel. Identificeer de Kennis-leemtes.
5	Invloed van seizoenen op 3 en 4.	Scenario-analyse-2	Op basis (plus extrapolatie) van beschikbare literatuurgegevens en deskundigenoordeel. Identificeer de Kennisleemtes.
6	Correlatiecoëfficiënten voor bodemeigenschappen van standaard bodems.	Gevoeligheidsanalyse	Gevoeligheidsanalyse: hoe werken variaties in de ingevoerde waarden door in de uitkomsten; https://nl.extendoffice.com/documents/excel/4909-excel-sensitivity-analysis.html https://feb.kuleuven.be/public/u0003131/LP/Wyndor/WyndorExcel.htm
7	Generaliseren naar meer bodemtypes.	Extrapolatie	Resultaten van 3-6 in workshops met deskundigen veralgemeniseren en vaststellen welke essentiële info we missen, en met welk risico.
8	Modelmatige verwerking.	Werkmodel	Resultaten van 7 in een functioneel CBF-werkprotocol verwerken.
9	Beoordeling en overall-haalbaarheid evaluatie op basis van wensprofiel uit (0).	Evaluatierapport	Beoordeling en Evaluatierapport via terugkoppeling met deelnemers van workshop bij activiteit-0 (betrekken deskundigen).

2.6.2 Gewijzigd plan van aanpak

De aanpak die we gevolgd hebben tijdens dit project is her en der wat afwijkend van de aanpak zoals beschreven in de projectaanvraag. De motieven voor de gewijzigde aanpak zijn voortschrijdend inzicht en pragmatisme. Zo ontdekten we dat collectieve workshops in dit stadium niet echt nuttig zijn. In dit stadium van de ontwikkeling van CBFs zijn één op één gesprekken waardevoller, ook omdat men dan openhartiger is, terwijl in workshops men vaak meer terughoudend is en ander secundair gedrag

vertoont. Ook is gebleken dat de vragen die we op voorhand hadden aan het begin van dit project zich wijzigden en/of verdiepten gedurende het project. Meer in detail:

1. Volgens de oorspronkelijke planning zouden we drie standaard bodems kiezen. Echter na gesprekken met betrokken boeren hebben we hun bodems uitgekozen zowel vanwege de betrokkenheid van deze boeren maar ook omdat via deze boeren veel informatie over deze bodems beschikbaar is.
2. De genoemde gevoeligheidsanalyse van de standaard bodems is wat minder relevant omdat we nu werken vanuit de "boeren-bodems" (zie punt 1.) en hun management. De grote variabelen en afgeleide parameters daarvan, bijvoorbeeld de C/N ratio's, tussen deze boeren en hun bodems, zijn het organisch stofgehalte, de biologische activiteit van de bodem en de mate waarin men organische meststoffen gebruikt.
3. In plaats van de workshops zijn vele één op één gesprekken gevoerd met deskundigen en stakeholders; dit betrof de behoefte aan concrete informatie maar ook een beroep op hun deskundigheid en onze interesse in hun visie c.q. mening. We waren dus geïnteresseerd in de kennisdrager, de deskundige en de persoon zelf.

3. Formuleren bodemkarakteristieken en haalbaarheidsindicatoren

3.1 Keuze bodems

Van vijf boeren (A t/m E) uit Hoeksche Waard, Voorne Putten en Goeree Overflakkee zijn grondonderzoeksgegevens verkregen.

Tabel 2. Bodemeigenschappen van vijf boeren.

Cat.	Parameter	Eenheid	A	B	C	D	E
Fysisch	Zuurgraad	pH	7,5	7,3	7,4	7,5	7,7
	Org. Stof	%	2,2	2,8	3,1	2,1	3,0
	Koolz. kalk		8,4	3,3			10,3
	Klei (< 2 µm), lutum		22	18	22	21	21
	Silt (2-50 µm)			35		28	43
	Zand (> 50 µm)			41		40	23
	Slib (< 16 µm)			29	32	29	34
	Verkruijmelbaarheid	rapportcijfer		7,5		6,8	6,9
	Verslemping			4,6		4,7	4,9
	Stuifgevoeligheid			8,6		8,5	8,9
	Vochthoudend vermogen	mm		55		44	55
Bio-logisch	Microbiële biomassa	mg C/kg		368		255	416
	Microbiële activiteit	mg N/kg		42		28	34
	Schimmel/bacterie-ratio			0,7		1,0	0,5
Wetgeving	Fosfaat P-Al	mg P ₂ O ₅ /100g	54	53	54	63	35
	P-PAE plant beschikbaar	mg P/kg	0,67	2,4	1,3	1,8	0,4
Potentiële CEC	Zuurgraad	Ph-H ₂ O	7,8				7,7
	CEC	mmol ⁺ /kg	371	159		152	179
	CEC	% bezetting		100		100	100
	Ca	% bezetting, totaal 100%	95,4	87		90	93

	Mg			2,5	7,9		5,3	4,8
	K			1,7	4,4		4,3	2,0
	Na			0,4	0,6		0,7	0,4
	H			0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1
	AL ³⁺ , Fe ²⁺			0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1
	Basebezetting	%		99,9				
Hoofdelementen	Totaal N bodemvoorraad	mg/kg	kg/ha	1050	4350	6200	4710	4660
	N leverend vermogen	kg/ha		68	80	110	85	90
	Org. C	% C		1,3	1,5		1,3	
	C/N			12	10	10	10	9
	C/OS ratio				0,54		0,63	
	Totaal S	mg/kg	kg/ha	290	845	1115	1465	840
	S plant beschikbaar			1,9	16		26	17
	S-leverend vermogen	kg/ha		34	15	19	31	15
	C/S			44	53	55	33	50
	P-AL	mg P ₂ O ₅ /100 g		54				
	Pw	mg P ₂ O ₅ /l		28				
	P-PAE plant beschikbaar	mg P/kg	kg P/ha	0,67	7,4	5,3	6,5	1,2
	P-bodemvoorraad				710	836	995	465
	K-HCl	mg K ₂ O/100 g		26				
	K-getal			26				
	K plant beschikbaar	mg/kg	kg K/ha	110	585	570	475	170
	K-bodemvoorraad				840	1135	935	415
	Ca-plant beschikbaar				145		230	535
Ca-bodemvoorraad				8510		9880	10145	
Mg plant beschikbaar			60	280	325	355	225	
Mg-bodemvoorraad				465		355	320	

	Na plant beschikbaar		kg Na/ha	13	40		43	75
	Na-bodemvoorraad				65		83	50
	Borium (B)			230				
	Kobalt (Co)			< 10				
Sporelementen plant beschikbaar	Koper (Cu)	µg/kg		53				
	Mangaan (Mn)	mg/kg		< 1				
	Zink (Zn)			< 0,3				
	IJzer (Fe)	mg/kg		6,7				
	Molybdeen (Mo)	µg/kg		< 20				
	Selenium (Se)	mg/kg		< 0,2				

3.2 Variatie binnen bodemtypes

De 5 gekozen boerenpercelen hebben een vergelijkbare zuurgraad (7,3-7,7). Het percentage organische stof in de bodem varieert wel sterk, van 2,1% (boer D) tot 3,1 % (boer C). Verder zijn de fysische eigenschappen van de percelen redelijk vergelijkbaar, met uitzondering van de hogere verkruielbaarheid bij perceel B en het lagere vochthoudend vermogen bij perceel D, die tevens het laagste organische stof percentage heeft. NB. Perceel D heeft het laagste organische stof percentage, de laagste microbiële biomassa en activiteit, en de hoogste schimmel/bacterie ratio.

Andere opvallende kenmerken zijn de hoge *cation-exchange-capacity* bij perceel A, en de hoge hoeveelheid stikstof bij perceel C die zich uit in de totale N bodemvoorraad en het N leverend vermogen. Verder heeft perceel B een hoge beschikbaarheid van de nutriënten fosfor (P-PAE), magnesium en kalium. Perceel D bevat de hoogste hoeveelheid sulfaat die plant beschikbaar is en daarmee ook het hoogste S leverend vermogen. Tenslotte valt perceel E op met een lage fosfaat hoeveelheid (P-AL en P-PAE) en de hoge hoeveelheid natrium en calcium die plant beschikbaar zijn.

Samenvatting van verschillen:

- A. Hoog CEC
- B. Hoog verkruielbaarheid, P-PAE, K en Mg
- C. Hoog OS, N (zowel bodemvoorraad als leverend vermogen)
- D. Laag OS, vochthoudend vermogen, microbiële biomassa en activiteit, hoogste schimmel/bacterie ratio
- E. Laag P, hoog beschikbaar Ca en Na

3.3 Invloed type organische stof op bodemprocessen

Het organisch stofgehalte van de bodem is en wordt beschouwd als een indicator voor een "goede bodem". Echter, dit gehalte is een statische weergave en een nettoresultaat van input en verwerking van organische stof. Er wordt veel gewerkt met standaard EOS (Effectieve Organische Stof) getallen, het deel van de aangebrachte organische stof dat na 1 jaar nog in de bodem is achtergebleven, voor meststoffen en achterblijvende gewasresten. Deze zijn ooit bepaald in een gevarieerde reeks bodems zodat deze EOS-getallen gemiddelden zijn. Het EOS-getal wordt bepaald door de afbreekbaarheid van het materiaal en de aanwezige biologische activiteit in de bodem. We kunnen er wel vanuit gaan dat de EOS getallen flink zijn beïnvloed door het type gebruikte standaard bodems dus "kunstmestbodems".

De biologische activiteit in kunstmestbodems (bodems die 70% of meer van hun stikstof in minerale vorm krijgen) ligt beduidend lager dan de meer organische bemeste bodems (bodems die 50% of meer van hun stikstof in organisch gebonden vorm krijgen). Op basis van de door Eurofins gehanteerde kwalificatie van de gemeten biologische activiteit van de bodem zou het EOS-getal genuanceerd kunnen worden, echter we missen die verfijning helaas nog. De constatering is wel dat bodems die aantoonbaar biologisch actiever zijn en toch een even hoog organisch stofgehalte hebben als bodems met een beduidend lagere biologische activiteit veel meer organische stof verwerken waardoor een hogere mineralisatie en een hogere bodemweerstand kunnen worden gerealiseerd.

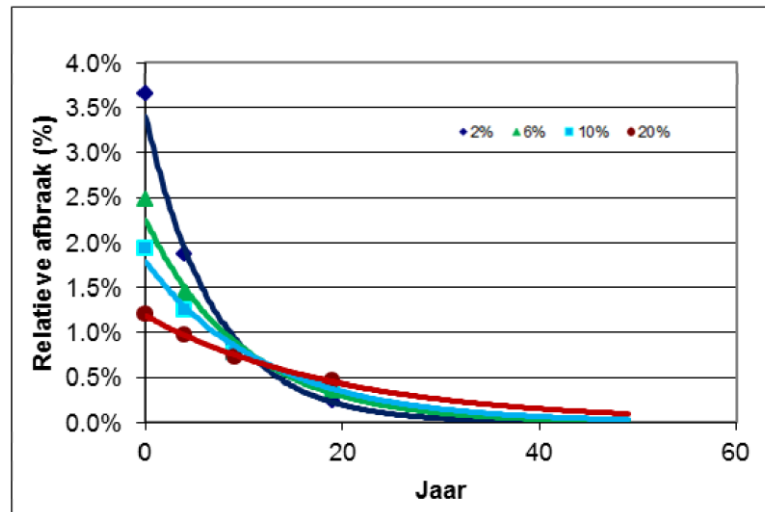
Men hanteert naast EOS-waarden ook generieke waarden voor de afbraak van de reeds aanwezige organisch stof in afhankelijkheid van de intensiteit van het beheer. Tot nader orde is daar geen definitie voor te vinden, sterker nog: de intensiteit van het bodembeheer lijkt veeleer gekoppeld aan de mate van intensieve landbouw; dus dat heeft weinig te maken met een zekere mate van biologische activiteit. Het is ondanks deze historisch gegroeide onduidelijkheden wel plausibel te veronderstellen dat mestsoorten of soorten gewasresten die verschillen in hun EOS waarden dienovereenkomstig kunnen bijdragen aan de gewenste biologische activiteit, mits deze voldoende aanwezig is, lees biologische capaciteit.

Als men dus een of meerdere bodemfunctie(s) wil veranderen met behulp van CBFs, moet het gewenste niveau van deze bodemfunctie worden gekwantificeerd en worden vergeleken met het niveau van de huidige situatie. Zo kan men na het ontwerpen van een *filling-gap* programma meten of en hoe het effect van CBFs in de bodem kan plaatsvinden. In de meeste gevallen is deze informatie op bedrijfsniveau niet beschikbaar of gebaseerd op niet getalsmatige intuïtie. Bovendien zijn de gebruikte bodemfuncties niet onafhankelijk van elkaar.

Zo zijn bodemweerstand en mineralisatie beide afhankelijk van de bodem biologische activiteit, waardoor een toename van de biologische activiteit van de bodem leidt tot een hoger mineralisatievermogen (activiteit moet worden aangetoond) en een betere bodemweerstand. De vragen zijn nu: nemen deze twee processen evenveel toe, is er sprake van een andere 'vaste'

verhouding, verandert deze verhouding geleidelijk, of bepaalt de aard van de toegevoegde organische stof deze verhouding tot op zekere hoogte?

Figuur 3 toont de relatie tussen het organische stofgehalte in de bodem en de daarbij behorende relatieve afbraaksnelheid van organische stof per jaar in die bodem. Hoe hoger het gehalte aan organische stof, hoe langzamer de relatieve biologische afbraaksnelheid. Dit betekent dat naarmate er meer organische stof in de bodem zit, het aandeel moeilijk afbreekbare organische stof toeneemt, waardoor de waterretentie en soortgelijke fysische eigenschappen relatief hoog zijn. Met andere woorden: meer organische stof in de bodem correleert met een relatief lagere biologische activiteit. Het laat alleen maar zien dat het gehalte aan organische stof niet de ultieme oplossing is, maar altijd in de totale context moet worden gezien, vooral de omloopsnelheid van de organische stof, die sterk gerelateerd is aan in wateroplosbare organische koolstoffen. De kennis die we nu hebben vraagt om een onderscheid tussen stabiele organische stof en de dynamische component.



Figuur 3 - Relatieve biodegradatie (% per jaar) in afhankelijkheid van het organisch stofgehalte; bruin, 20%; turquoise, 10%; green, 6%; dark-blue, 2%. (Amin B A Z, Chabbert B, Moorhead D, Bertrand I. 2014. Impact of fine litter chemistry on lignocellulolytic enzyme efficiency during decomposition of maize leaf and root in soil. *Biogeochemistry*, 117, 169–183; FAO, 2018. *The 10 Elements of Agroecology. Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems*. (<https://www.researchgate.net/publication/283312107>))

C en N (belangrijke bestanddelen van de bodem) transformaties uit organische stof in de bodem zijn voornamelijk (micro)biologisch gebaseerd en vormen het raamwerk van dynamisch beheer van

organische stof. Organische materialen in de bodem zijn inderdaad de trofische hulpbronnen van heterotrofe bodemorganismen (Chen B, Liu E, Tian Q, Yan C, Zhang Y. 2014. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 429–442). De afbraak van organische stof door bodemorganismen maakt de vrijgave van voedingsstoffen mogelijk (voornamelijk C, N, fosfor (P) en zwavel (S)), die essentieel zijn voor de groei van gewassen en de duurzaamheid van ecosystemen. Gewasresten als basis van CBF zijn voorgesteld als een duurzaam en kostenefficiënt beheersinstrument in landbouwpraktijken om organisch materiaal in de bodem te behouden. Het lange-termijn evenwicht tussen de C-input in de bodem via gewasresten/bemesting en verliezen via mineralisatie en oxidatie bepaalt het organische C-gehalte in de bodem en de nutriëntenkringloop in het agrosysteem (Backer R, Rokem JS, Ilangumaran G, Lamont J, Praslickova D, Ricci E, Subramanian S, Smith DL (2018) Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Front Plant Sci* 9:1473). Verschillende samenstelling van organische meststoffen vertonen vaak verschillende fysisch-chemische eigenschappen, waardoor de bodem op verschillende manieren wordt beïnvloed. De diverse meststoffen, hun biochemische eigenschappen, samenstellingen en fysische eigenschappen beïnvloeden de mineralisatie (Fang M, Motavalli P P, Kremer R J, Nelson K A. 2007. Assessing changes in soil microbial communities and carbon mineralization in Bt and non-Bt corn residue-amended soils. *Applied Soil Ecology*, 37, 150–160).

Sommige onderzoeken hebben, onder gecontroleerde of veldomstandigheden, aangetoond dat hemicellulose-, lignine-gehalte en de fysieke grootte van gewasresten de afbraaksnelheid van C en N beïnvloeden (Giles M, Morley N, Baggs EM, Daniell TJ (2012) Soil nitrate reducing processes—drivers, mechanisms for spatial variation, and significance for nitrous oxide production. *Front Microbiol* 3:407; Cayuela M L, Sinicco T, Mondini C. 2009. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residue in soil. *Applied Soil Ecology*, 41, 118–127.). Het gehalte aan oplosbare C in de bodem bepaalt de aanvankelijke snelheid van de afbraak van organische stof, terwijl het ligninegehalte het lot van de toegevoegde C op de middellange tot lange termijn bepaalt, en de toevoeging van gewasresten in een hoger tempo de C-mineralisatie verhoogt (Hu W, Zhang Y, Rong X, Fei J, Peng J, Luo G (2023) Coupling amendment of biochar and organic fertilisers increases maize yield and phosphorus uptake by regulating soil phosphatase activity and phosphorus-acquiring microbiota. *Agr Ecosyst Environ* 355:108582).

De biochemische samenstelling of kwaliteitsparameters, zoals de totale N-concentratie, het lignine-, cellulose- en hemicellulosegehalte, oefenen een significante invloed uit op de afbraak van gewasresten/organische stof; naarmate het N-gehalte hoger is gaat de afbraak over het algemeen sneller. Tegelijkertijd worden sommige verhoudingen en indexen (zoals de C:N-verhouding, lignine:N-verhouding en lignocellulose-index (LCI)) beschouwd als nuttige indicatoren voor het schatten van zowel de afbraak als de N-afgifte van toegevoegde residuen/organische meststoffen (Abbasi K, Tahir M, Sabir N, Khurshid M. 2014. Impact of the addition of different plant residues on carbon-nitrogen content and nitrogen mineralization-immobilization turnover in a soil incubated under laboratory conditions. *Solid Earth Discussions*, 6, 197–205; Abera G, Wolde-meskel E, Bakken L R. 2012. Carbon and nitrogen

mineralization dynamics in different soils of the tropics amended with legume residues and contrasting soil moisture contents. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 51–66).

De heterotrofe microbiële gemeenschappen controleren de koppeling van C- en N-cycli in bodems. De diversiteit en de activiteit van deze microbiële gemeenschappen, evenals de verhoudingen van de belangrijkste elementen (C, N, P, S, enz.) in de gewasresten, bepalen immers de verdeling tussen de C en de N die gemineraliseerd of geassimileerd worden in de bodem (Cayuela M L, Sinicco T, Mondini C. 2009. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residue in soil. *Applied Soil Ecology*, 41, 118–127). De relatie tussen de kwalitatieve samenstelling van aan de bodem toegevoegde organisch materiaal en de microbiële gemeenschappen krijgt steeds meer aandacht. Bovendien bevordert de toevoeging van verschillende hoeveelheden organisch materiaal (kwantitatief dus) de omvang van sommige bacteriegroepen (Bacteroidetes en Proteobacteria), terwijl organisch materiaal van lage kwaliteit (lees hoge C/N) de aanwezigheid van schimmels bevordert. Moreno-Corenjo (2014 Carbon and nitrogen mineralization during decomposition of crop residues in a calcareous soil. *Geoderma*, 230–231, 58–63.) toonde aan dat sojaboonresiduen een aanzienlijke impact hebben op de bacteriële gemeenschap, wat ertoe leidt dat Bacteroidetes, Actinobacteria, Firmicutes en Acidobacteria toenemen in de beginfase van de invoer van gewasresten/organisch materiaal.

Microbiële gemeenschappen in de bodem produceren verschillende enzymactiviteiten die betrokken zijn bij de afbraak van gewasresten. Hadas et al (2004, Rates of decomposition of plant residue and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 255–266) toonden een significante toename aan van verschillende enzymactiviteiten, zoals β -glucosidase, cellobiohydrolase, xylosidase, N-acetyl-glucosaminidase en aminopeptidase, met een duidelijke toename 10 dagen na de toevoeging van tarweresiduen, wat aangeeft dat deze toenames in enzymactiviteiten waren gekoppeld aan de stimulatie van microbiële groei en de overvloed aan enkele functionele genen. Tegelijkertijd wordt er een verband aangetoond tussen de evolutie van microbiële gemeenschappen en de productie van enzymen tijdens de afbraak van gewasresten/specifiek organisch materiaal, die sterk afhankelijk zijn van de specificaties van de organische stof. Uit het onderzoek van Amin et al (2014, Impact of fine litter chemistry on lignocellulolytic enzyme efficiency during decomposition of maize leaf and root in soil. *Biogeochemistry*, 117, 169–183) bleek inderdaad dat micro-organismen aanvankelijk een snelle groei vertoonden in de aanwezigheid van laag C/N strooisel en enzymen produceerden die niet efficiënt zijn in het afbreken van recalcitrante componenten, terwijl de microbiële biomassa, in aanwezigheid van de meer recalcitrante maïswortels residuen, langzamer groeide, en enzymen produceerde met een hogere efficiëntie. Deze hoge enzymefficiëntie zou kunnen worden verklaard door de synergetische werking van hydrolytische en oxidatieve enzymen, zelfs in de vroege stadia van de ontbinding. Deze kennis biedt mogelijkheden om baanbrekende en innovatieve vruchtwisselingsschema's te ontwerpen en te testen.

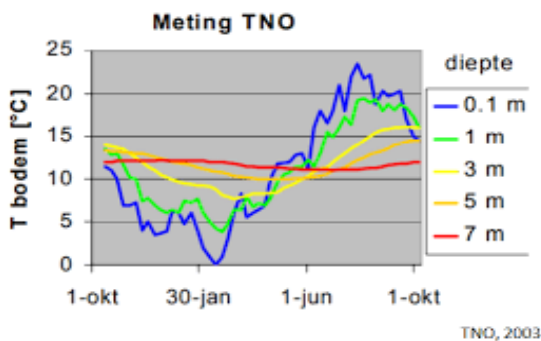
Omdat verschillende gewassen verschillende residuen produceren, is een goed begrip van de kinetiek van de afbraak van residuen of verwerkingsproducten daarvan en de invloed ervan op het bodemleven van

groot belang voor de evaluatie van de gewas- en bodemsystemen. Een toekomstige doelstelling van CBFs zou kunnen zijn om te evalueren of de toepassing van verschillende typen gewasresten (of de verwerkingsproducten daarvan) de heterotrofe microbiële populaties in de bodem zullen beïnvloeden die betrokken zijn bij de afbraak van de organische stof in de bodem en de C- en N-mineralisatie. Hoewel de afbraak van planten van verschillende hoeveelheden en kwaliteiten bekend is, hebben de gevolgen ervan voor bodemgemeenschappen en hun functies in de totale context van het functioneren van de bodem minder aandacht gekregen. Om deze effecten beter te begrijpen, moeten we ons meer concentreren op het volgen/monitoren van de evolutie van microbiële gemeenschappen in relatie tot C-N-fluxen en enzymactiviteiten in belangrijke stadia van de afbraak van verschillende kwaliteiten van gewasresten.

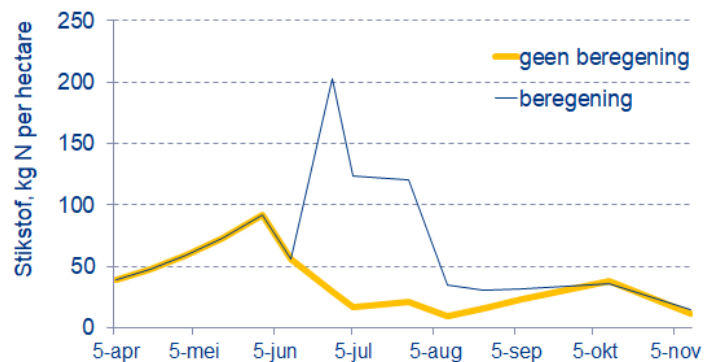
Het is bekend dat de input van (verwerkte) gewasresten de C-mineralisatie verhoogt en N-immobilisatie induceert en wel in die mate die wordt beïnvloed door de initiële biochemische samenstelling van de gewasresten en gerelateerd is aan veranderingen in de samenstelling en biomassa van heterotrofe microbiële gemeenschappen in de bodem en enzymactiviteiten. De bevindingen van het onderzoek (Rezgui et al. 2021 Linking changes in the soil microbial community to C and N dynamics during crop residue decomposition. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11): 3039–3059) toonden aan dat de C- en N-dynamiek in de bodem in de aanwezigheid van gewasresten werd bepaald door de selectie van specifieke bacteriële en schimmelaafbrekers die verband hielden met de initiële eigenschappen van al dan niet verwerkte gewasresten. Het beheer van (verwerkte) gewasresten is een opkomende praktijk die kan helpen het organische-stof gehalte in de bodem en de turnover snelheid in de bodem op peil te houden en kan bijdragen aan de nutriëntenbehoefte van het gewas. Bovendien lijkt het erop dat (verwerkte) gewasresten de samenstelling van de microbiële gemeenschap in de bodem bepalen. Dit is van groot belang voor een landbouw die een afname van chemische input nastreeft en ook een verbetering van de bodembiodiversiteit en de daarmee samenhangende functies, zoals de nutriëntenkringloop: het hart van CBFs.

3.4 Invloed van seizoenen

“Hogere bodemtemperaturen (figuur 4) en meer vocht hebben effect op het bodemleven. Als het warm is, zijn de micro-organismen in de bodem actiever. Dat leidt tot o.a. meer mineralisatie. Daarvoor moet echter wel voldoende vocht aanwezig zijn. Wanneer er weinig bodemvocht aanwezig is, worden veel micro-organismen inactief of hebben een kleinere actieradius waarin ze actief kunnen zijn. De mineralisatie zakt dan in waardoor er minder organische stof wordt omgezet en minder nutriënten vrijkomen via dit proces. Berekening heeft dan ook een duidelijk meetbaar effect op bijvoorbeeld de mineralisatiesnelheid en daarmee de beschikbare stikstof. Wanneer er beregend wordt of regen valt, kan er een mineralisatieflux ontstaan waarbij in korte tijd veel stikstof vrijkomt (figuur 5). Het deel van de stikstof die niet wordt opgenomen door het gewas kan vervolgens weer uitspoelen. Dit pleit voor een meer gebufferde bodem waarbij plant en bodem meer in evenwicht zijn” (citaat Eurofins).



Figuur 4. Bodemtemperaturen gedurende het jaar



Figuur 5. Relatie tussen stikstof vrijkomst en berekening

Hier valt vanuit organische stofmanagement wel een en ander over op te merken. Het bodemleven zit over het algemeen in de bovenste 10 cm en rondom wortels en wormengangen. Dus naarmate de begroeiing dichter is zal het bodemleven haast integraal aanwezig zijn in de bovenste 30 centimeter. Dat is het deel van de bodem waar de temperatuur het meest wordt beïnvloed door de buitentemperatuur. Dit argument wordt vaak gebruikt om bij een doorgaans organische bemesting toch in het voorjaar een eenmalige kunstmestgift te doen omdat "het bodemleven door de lage bodemtemperatuur nog niet voldoende op stoom is om via mineralisatie voldoende nutriënten aan te leveren. Waar men hierbij aan voor bij gaat is dat bij die lagere bodemtemperatuur ook de plantenwortels op een lager pitje draaien. Dus de relevantie van zo'n kunstmestgift in het voorjaar om de plant de benodigde nutriënten te leveren is discutabel en waarschijnlijk weer gebaseerd op een te lage N_{min} .

3.5 Haalbaarheidsindicatoren

Het project betreft een haalbaarheidsstudie; dus in welke mate is de claim dat de inzet van CBFs de emissies van stikstof naar het milieu kunnen verminderen gerechtvaardigd. Daartoe is het belangrijk om in eerste instantie aan te geven hoe de haalbaarheid getoetst gaat worden en om welke haalbaarheid het gaat: de haalbaarheid spitst zich toe op een additionele functionaliteit van CBFs, nl. het verminderen van de stikstofuitstoot naar lucht en water. De algemene haalbaarheid van CBFs staat hier dus buiten. Gezien de maatschappelijk druk om stikstof emissies te reduceren achten wij het wenselijk om versneld de haalbaarheid van deze additionele functionaliteit te onderzoeken. De MIT-impuls kan deze versnelling mede ondersteunen, door extra inzet in tijd en middelen. Kan de bestaande *state-of-the-art* uit de literatuur - die de basis vormen van het generieke concept van CBFs - geëxtrapoleerd worden naar voornoemde additionele functionaliteit. De belangrijkste haalbaarheidsvragen zijn:

1. Betekent meer organische stof van plantaardige oorsprong naar de bodem: minder emissie van nitraat naar grond- en oppervlaktewater en minder ammoniakuitstoot naar de lucht?
2. In welke mate beïnvloeden de eigenschappen van de organische stof en het EOS-gehalte (de hoeveelheid organische stof die na een jaar nog over is) van de organische stof deze emissiepatronen?
3. In welke mate worden de uitkomsten van (1) en (2) beïnvloed door bodemeigenschappen, gewasstype, gewasrotatie en het bedrijfsmanagement?
4. Zijn de uitkomsten van (1)-(3) betrouwbaar modelmatig samen te vatten?

Ad 1. Meer organische stof van plantaardige oorsprong naar de bodem: minder emissie van nitraat naar grond- en oppervlaktewater en minder ammoniakuitstoot naar de lucht?

Een eerste vooronderstelling is dat organische stof geleverd door organische meststoffen door bacteriële omzetting onder anderen nitraat aan het gewas levert. En, dat daardoor veel minder vrije nitraat in de bouwvoor aanwezig is dan wanneer het gewas voornamelijk of uitsluitend door kunstmest-N wordt gevoed. De kunstmestgift wordt meestal verdeeld over 1-3 applicaties en dat leidt tot piekniveaus aan nitraat in de bouwvoor kort na de gift. Na de gift vlakken de nitraatniveaus geleidelijk weer af door de opname van nitraat door het gewas, bacteriële activiteit en uitspoeling.

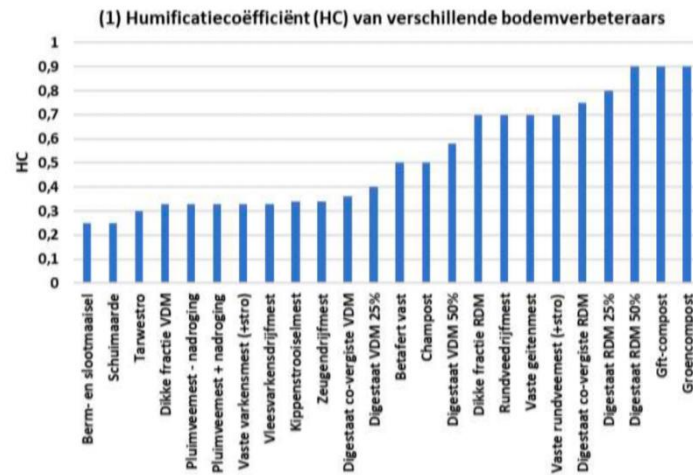
Een tweede vooronderstelling is dat de nitraatvoorziening aan het gewas via organische stof een meer gebalanceerd proces is, een balans tussen gewasopname en nitraat release door het bodemleven. Dit houdt in dat het gewas het bodemleven kan aansporen om meer nitraat te genereren en andersom de biologisch bodem activiteit kan afremmen in geval van een te groot aanbod. Een consequentie van deze vooronderstelling is dat door een dergelijk dynamisch evenwicht hoge nitraatgehaltenes in de bodem uitblijven.

Een derde vooronderstelling is dat ammoniakemissie bepaald wordt door de mate van kunstmestgebruik en de aard van de kunstmest (lees ammoniumgehalte c.q. potentieel ammoniumgehalte).

Om deze drie veronderstellingen te toetsen onderzoeken we de volgende haalbaarheidsindicatoren:

- *Organische stof in de bodem levert nitraat, zo ja een kwantitatieve indicatie*
- *Nitraat gehalten in de bodem zijn negatief gecorreleerd met de hoeveelheid organische stof*
- *Er bestaat een dynamisch evenwicht tussen gewasopname van nitraat en de aanlevering van nitraat door het bodemleven.*
- *De potentiële ammoniakemissie van meststoffen is direct gerelateerd met het ammoniumgehalte in de betreffende meststoffen*

Ad 2. In welke mate beïnvloeden de eigenschappen van de organische stof en het EOS-gehalte (de hoeveelheid organische stof die na een jaar nog over is) van de organische stof deze emissiepatronen?



Figuur 6. Humificatie-coëfficiënten van diverse bodemverbeteraars

Diverse typen organische stof verschillen onderling in de snelheid waarmee het materiaal wordt afgebroken in een bepaalde bodem. Men heeft dat gedefinieerd als EOS (effectieve organische stof). EOS is het deel van de organische stof dat een jaar na het toedienen van een bodemverbeteraar /organische meststof nog over is in de bodem. Dit in tegenstelling tot de labiele organische stof, die snel na het toedienen van een bodemverbeteraar wordt afgebroken. Hoe hoger het gehalte effectieve organische stof, hoe hoger de structurele organische stofopbouw in de bodem. Organische meststoffen verschillen in het gehalte EOS. Dit wordt aangeduid met de humificatie-coëfficiënt (hc). Bij een hc van 0,7 wordt 30% van de organische stof binnen een jaar afgebroken en blijft er dus 70% over als effectieve organische stof. Organische bodemverbeteraars verschillen ook in de verhouding tussen EOS, stikstof (N) en fosfaat (P). Naarmate deze verhouding hoger is, draagt een organische bodemverbeteraar relatief meer bij aan organische stofopbouw en zijn de risico's op uitspoeling van nutriënten lager en is de bijdrage aan de gewasvoeding naar verwachting minder.

Daarnaast wordt er in de bemestingssystematiek gewerkt met de werkingscoëfficiënt, waarbij de N-werking van organische mest wordt uitgedrukt door middel van een werkingscoëfficiënt (NWC). Deze geeft aan welk deel van de totale hoeveelheid stikstof in organische mest dezelfde werking heeft als de stikstof uit kunstmest. Of anders gezegd: Bij een werkingscoëfficiënt van 30%, is 30% van de aanwezige stikstof beschikbaar tijdens het eerste jaar na toedienen. Een deel van de overige 70 % kan vrijkomen tijdens het tweede jaar en zelfs nog tijdens het derde jaar na toediening en de rest daarvan wordt opgenomen in de humusfractie van de bodem. Om haalbaarheidsvraag-2 te toetsen onderzoeken we de volgende haalbaarheidsindicatoren:

- Het EOS-getal en de humificatie coëfficiënt van diverse typen organische meststoffen of mengsels daarvan
- De verhouding EOS/N_{totaal} en de verhouding EOS/P_{totaal} van diverse typen organische meststoffen of mengsels daarvan
- De werkingscoëfficiënt voor N van diverse typen organische meststoffen of mengsels daarvan.

Ad 3. In welke mate worden de uitkomsten van (1) en (2) beïnvloed door bodemeigenschappen, gewasstype, gewasrotatie en het bedrijfsmanagement?

Hier komen we in een meer uitdagend deel van de materie. Niet zozeer de stelling dat management invloed heeft op de ammoniakemissie van kunstmesttoediening, aangezien die evident is, echter wel de mate waarin het potentiële nitraatlek kan worden beïnvloed. De bij ad-2 genoemde coëfficiënten kennen doorgaans default normen ongeacht bodemtype en gewas, wel wordt rekening gehouden met het onderscheid tussen voorjaars- en najaarsbemesting. Als we de vaste normering wat loslaten dan zijn we voor de realisatie van de werkingscoëfficiënt voor N afhankelijk van de biologische activiteit, de release van N uit organische stof is geen chemisch of fysisch proces.

Dat geconstateerd hebbende is de mate van biologische activiteit van belang. Daarvoor zijn een aantal indicatoren relevant:

- De zuurgraad (pH) van de bodem
- De hoeveelheid beschikbare en afbreekbare organische stof: substraat voor het bodemleven
- De C/N ratio van de organische stof in de bodem, als zijnde een kwaliteitsmarker naast de biodegradeerbaarheid
- N-biomassa: indicator voor biologische activiteit van de bodem
- Bacteriën/schimmel ratio, indicator voor effectiviteit van de activiteit van bodemleven

Ad 4. Zijn de uitkomsten van (1)-(3) betrouwbaar modelmatig samen te vatten?

Dit is niet zozeer een voorwaardelijke haalbaarheidsvraag, echter indien modelmatige verwerking/aanpak mogelijk is dan is een gebruiksvriendelijke adviesbasis dichterbij.

4 Resultaten deskresearch

4.1 Deskundigen kenniswereld

In onze zoektocht naar een *state-of-the-art* weergave van het huidige kennisniveau omtrent de inzet van organische meststoffen in de landbouw in plaats van het gebruik van minerale meststoffen, met nadruk op de stikstofverliezen die optreden bij beide typen meststoffen, zijn een aantal expertinterviews gehouden. Een achttal personen die actief zijn in de research-wereld en verbonden zijn aan overheidsinstellingen of onafhankelijke instituten zijn gedurende 30-60 minuten geïnterviewd in hun rol als deskundige en niet in de rol van onderzoeker. Deze benadering geeft enerzijds meer vrijheidsgraden aangezien men gevraagd wordt op basis van hun kennis een mening of advies te geven met soms als gevolg antwoorden als "er moet nog veel onderzocht worden" of "dat is speculatief". Dit gaf nog wel eens humoristische momenten omdat niet elke onderzoeker gemakkelijk in de huid van een deskundige kruipt. De gesprekken verliepen via een aantal gerichte vragen echter de spontaniteit in het gesprek prevaleerde boven het "dwangmatig" afvinken van alle vragen:

Wat is uw mening over nut en noodzaak van kunstmest?

Kunstmest is een zegen (geweest) voor de voedselproductie in de wereld; de productiviteit van vele gebieden ging flink omhoog en tevens konden meer gebieden gebruikt worden voor de landbouw. Dat houdt haast automatisch in dat de heersende eigenschappen van de bodem minder relevant zijn of overruled worden door het toepassen van kunstmest. Men kan het zien als een short-cut in de bodem waar het biologische mineralisatieproces "normaal (dus in gezonde situatie)" zorgt voor de aanvoer van stikstof naar de plant waarbij nitraat zeer mobiel is in de bodem, ammonium veel meer op zijn plaats blijft waar het gevormd wordt en klein-organisch stikstofverbindingen voornamelijk een signaalfunctie vervullen voor de plant. Het gebruik van minerale stikstof maakt stikstofmineralisatie "overbodig" en zal de biologische reacties in de nitrificatie-reeks door hoge concentraties van nitraat en/of ammonium afremmen. De signaalfunctie van klein-organische stikstofverbindingen valt in grote mate weg. De consequenties hiervan zijn op het niveau van landbouwproductiviteit niet te zien echter een verminderde gewasweerbaarheid is voor de hand liggend. Het zou mooi zijn als we een balans kunnen vinden tussen de positieve effecten van kunstmest en nuttige effecten van mineralisatie. De verwachting is dat de mineralisatie vanuit een natuurlijke en biologisch evenwichtige bodem kan oplopen naar 200-250 kg stikstof per hectare, een getal dat gelijk is of zelfs hoger is dan de huidige gebruiksnormen. Het is de verwachting dat deze mineralisatie niet gedurende het hele groeiseizoen op het juiste niveau is. Bijvoorbeeld in het geval dat de bodemtemperatuur wat aan de lage kant is, op zo'n moment zou een precisie gift met

kunstmest opportuur zijn voor de gewasgroei. Of dit echter goed doorwerkt op de biologische bodemactiviteit moet blijken.

Als we in de landbouw de natuurlijke mineralisatie meer willen benutten, dan zal dat proces gevoed en gestimuleerd moeten worden, toch? We komen dan terecht bij meer organische meststoffen.

De huidige gewasproductie is sterk afhankelijk van het Haber-Bosch-proces voor de productie van reactieve stikstof en van de mijnbouw voor de behoefte aan fosfor en kalium, maar slechts 14% van de aanvankelijke reactieve stikstof zal op het bord van de consument terechtkomen als hij een vegetarisch dieet overweegt, wat de nadruk legt op de enorme nutriëntenverliezen langs de voedselproductieketen, b.v. door (over)bemesting of verspilling van gewasresten. In Europa wordt jaarlijks 16 miljoen ton minerale meststoffen toegepast. Momenteel wordt er in Europa gemiddeld een overschot van 51,1 kg N/ha aan landbouwgrond toegevoegd, maar de cijfers laten grote regionale verschillen zien, waarbij Roemenië en Estland het kleinste overschot toevoegen, en de grootste overschotten in Cyprus en Nederland. Soortgelijke trends worden waargenomen voor de fosforconcentraties in de bodem van akkerland. De kosten van nutriëntenvervuiling bedragen voor Europa 320 miljoen euro per jaar. Naast eutrofiëringsproblemen is bodemdegradatie een ander opkomend probleem in Europa, met een afnemend gehalte aan organische stof in landbouwbodems en bodemerosie als zelfversterkende effecten. In de afgelopen decennia heeft meer dan de helft van de Europese bodem te lijden gehad van een of andere vorm van degradatie. Dus de wenselijkheid om het organische-stof management in de bodem meer aandacht te geven kent diverse motivaties.

Aan de andere kant van het spectrum wordt op Europees niveau jaarlijks naar schatting 80 miljoen ton fruit- en groente verwerkingsafval geproduceerd, dat bijna 1 miljoen ton stikstof, fosfor en kalium (NPK) bevat. Bovendien wordt geschat dat in heel Europa 70 miljoen ton droge stof van residuen van veldgewassen (voornamelijk granen) op duurzame wijze (geen negatieve impact op de organische stof in de bodem) kan worden geoogst voor valorisatie. Echter, omdat dit momenteel op de velden blijft liggen, gaat een NPK-potentieel van 1,5 miljoen ton verloren voor de gerichte inzet (actieve bemesting).

De moderne landbouw zal steeds meer natuur-inclusief worden; de absolute scheidslijn tussen natuur en landbouw zal vervagen; feitelijk is de thans bestaande scheiding een gevolg van eenzijdig gebruik van kunstmest. De huidige controversie natuur versus hoogproductieve landbouw is kunstmatig geschapen mede door het gebruik van kunstmest en de consequenties daarvan op het gebied van gewasbescherming. Een eenvoudig voorbeeld is het integreren van de rol van de heterogene en multifunctionele natuur als ecosysteem met klassieke monocultuur en intensieve landbouw, zodat deze laatste profiteert op het vlak van gewasbescherming. Bepaalde functies die 'van nature' plaatsvinden binnen een ecosysteem, kunnen echter zo ook binnen de intensieve landbouw worden gerealiseerd, zoals: CO₂-afvang, lagere emissies naar lucht en water, verminderde erosie-gevoeligheid, verbeterd waterretentievermogen, een meer klimaatbestendige landbouw, het

vergroten van de bodembiodiversiteit en een betere bodem- en gewasweerbaarheid.

Organische meststoffen kunnen een rol spelen als je als teler duurzamer en milieuvriendelijker wilt telen. Bovendien hebben ze een aantal voordelen ten opzichte van chemische meststoffen. Organische meststoffen zijn meststoffen die volledig zijn samengesteld uit natuurlijke grondstoffen van plantaardige of dierlijke oorsprong. De voedingselementen in organische meststoffen, waaronder stikstof, fosfor en kalium, komen vrij wanneer bodemorganismen zoals nuttige bacteriën en schimmels de mestkorrels afbreken. Deze micro-organismen die in de bodem voorkomen noemen we ook wel bodemleven. Organische meststoffen hebben verschillende voordelen voor het gewas:

- Ze zorgen bijvoorbeeld voor een luchtige bodemstructuur.
- Het gebruik van organische meststoffen maakt de bodem gezonder en vruchtbaarder.
- Organische meststoffen zijn langer beschikbaar voor het gewas dan kunstmest.
- Organische meststoffen bevatten – in tegenstelling tot chemische meststoffen – geen natrium(zouten).

Een groot voordeel van het gebruik van organische meststoffen is dat ze de structuur van de bodem verbeteren. Het gebruik van organische meststoffen verhoogt de microbiologische activiteit in de bodem. Organische stoffen worden door het bodemleven afgebroken tot humuszuren en aminozuren. Tijdens dit proces is zuurstof nodig en daardoor wordt lucht aangetrokken waardoor de bodemstructuur verandert en de bodem luchtiger wordt (anders wordt die anaeroob). Door deze combinatie ontstaat een rijke, gezonde en vruchtbare bodem met voldoende biodiversiteit en een goede structuur, waaruit de plant voldoende voeding en vocht kan verkrijgen. Dit zorgt voor een gezond gewas met een hoge weerstand tegen abiotische plantstress. Een ander voordeel is dat de voedingselementen (stikstof, fosfor en kalium) in organische meststoffen, ook wel organische mest genoemd, langzamer vrijkomen. Dit komt doordat organische meststoffen, zoals eerder genoemd, pas vrijkomen als bacteriën en schimmels een en ander afbreken. Hierdoor zijn de voedingsstoffen langer beschikbaar voor het gewas. Deze langzame afgifte zorgt ervoor dat er geen risico bestaat op uitspoeling of verbranding van de wortels, wat wel het geval is bij een teveel aan kunstmest.

Er bestaat vaak verwarring tussen de termen 'biologisch' en 'organisch', maar ze betekenen niet hetzelfde. Organische meststoffen zijn meststoffen die zijn samengesteld uit natuurlijke grondstoffen van plantaardige of dierlijke oorsprong. Het belangrijke punt om op te merken is dat niet alle organische meststoffen biologisch zijn, omdat ze bijvoorbeeld afkomstig kunnen zijn van conventionele en niet biologische bronnen. Biologische meststoffen vormen een aparte klasse binnen de groep organische meststoffen omdat deze in de biologische teelt zijn toegestaan. Ze bestaan uit plantaardig en dierlijk materiaal dat afkomstig is van biologische veehouderijbedrijven of van natuurlijke oorsprong is.

Organische meststoffen worden langzaam en geleidelijk afgebroken door organismen in de bodem. Dit betekent dat de voedingsstoffen langzaam vrijkomen en tot 100 dagen na de bemesting voeding kunnen blijven geven. Door deze langzame opname van voedingsstoffen is er geen risico op

uitspoeling of verbranding van wortels. Organische meststoffen zijn milieuvriendelijk en veilig voor het gewas.

Planten hebben voedingsstoffen nodig om zich te ontwikkelen. De juiste hoeveelheid is erg belangrijk voor het creëren van een optimale NPK-verhouding. NPK staat voor de verhouding stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K) in een meststof. Dit zijn elementen die de plant altijd nodig heeft als stabiele basis. Hoe zit het met het verschil tussen organische en minerale meststoffen als bron van voedingsstoffen? Organische meststoffen bestaan uit natuurlijke grondstoffen en soms ook uit bacteriën, schimmels, insecten, wormen en andere organismen. Deze natuurlijke grondstoffen stimuleren het bodemleven. Nadat je organische meststoffen aan de bodem hebt toegevoegd, worden deze door het bodemleven zodanig omgezet dat de plant het als voeding kan opnemen. De plant regelt dan zelf wanneer, in welke hoeveelheid en in welke volgorde hij de voedingsstoffen opneemt. Deze twee factoren samen zorgen er indirect voor dat de plant beter bestand is tegen plagen, virussen en ziekten.

Het tegenovergestelde van organische meststoffen zijn minerale meststoffen. Maar wat zijn dit soort anorganische meststoffen precies? Minerale meststoffen, beter bekend als anorganische meststoffen of kunstmest, bestaan niet volledig uit natuurlijke grondstoffen. Kunstmest ontstaat namelijk na een industrieel proces. Alle elementen die in meststoffen voorkomen, zijn echter elementen die ook in de natuur voorkomen. Het voordeel van kunstmest is dat ze zo gemaakt zijn dat de voedingsstoffen direct door de plant kunnen worden opgenomen en dus geen omzetting nodig hebben zoals organische meststoffen. Ze zijn ook heel gemakkelijk op te lossen en aan de plant te geven. Je kunt het voedingsrecept ook zelf samenstellen, zodat je het kunt afstemmen op de behoeften van de plant. In tegenstelling tot het gebruik van organische meststoffen, waarbij de plant zelf één of meerdere elementen 'kiest' om op te nemen, zorgen anorganische meststoffen voor een gerichtere bemesting. Alle benodigde elementen worden berekend in het bemestingsschema en met het gebruik van kunstmest kan heel precies aan al die behoeften worden voldaan. Een 'keuze' van de plant is dan niet nodig. Een nadeel van minerale of anorganische meststoffen is dat ze niet bijdragen aan het bodemleven.

Chemische meststoffen van kunstmest of minerale mest bevatten vaak veel mestwaarde van één specifieke soort die de planten niet nodig hebben, die de planten niet kunnen opnemen en die uiteindelijk grotendeels uitspoelt en in ons drinkwater terecht komt. Met deze kunstmest krijg je een tijdje topgroei. Ze kunnen een slecht landbouwveld er veel sneller mooi uit laten zien, maar het is van korte duur, omdat de wortels niet in staat zijn om al die kunstmest op te nemen. Daarnaast krijg je door de snelle groei zwakke planten, wat voor andere problemen zorgt. Minerale meststoffen bevatten ook verhoudingsgewijs meer zouten dan organische meststoffen. De hoge concentratie kunstmest kan de wortels "verbranden" en uiteindelijk een giftige concentratie zouten in de bodem veroorzaken. Kunstmest draagt 0% bij aan bodemverbetering en door hoge concentraties minerale zouten kunnen en zullen ze veel van de bodemorganismen doden die verantwoordelijk zijn voor afbraak en bodemvorming. Als gevolg hiervan verliest de bodem geleidelijk zijn organische stof en

microbiologische activiteit. Zodra dit materiaal is uitgeput, breekt de bodemstructuur af, wordt levenloos, compact en minder goed in staat om water en voedingsstoffen vast te houden. Het resultaat is vrij duidelijk, je zult steeds meer meststoffen moeten gebruiken om je oogstniveau op peil te houden. Een grond die bemest wordt met kunstmest is een tamelijk dode grond zonder echt veel bodemleven. Bodems met een hoog gehalte aan organisch materiaal blijven daarentegen los en luchtig, houden vocht en voedingsstoffen beter vast, bevorderen de groei van bodemorganismen, waaronder regenwormen, en bevorderen een gezonde wortelontwikkeling.

Onder organische mest verstaat men dierlijke mest van kippen, konijnen, kleinvee, koeien of paarden, maar ook compost met dierlijke mest, tuincompost, wormencompost en wormenmest, stro en hooi, snoeihout. Deze materialen moeten door bodemmicroben worden afgebroken om hun voedingsstoffen vrij te maken, en dat kost tijd. Dit zorgt voor langdurige voeding en stabiele, in plaats van overmatige, groei. Ook groenbemesting en het laten afbreken van gewasresten op de grond behoren tot de organische bemesting.

Het is vanuit functioneel oogpunt niet zo relevant om onderscheid te maken tussen organische meststoffen uit plantaardige of dierlijke reststromen met het oog op bodemkwaliteit en als voedingsbron voor gewasgroei. Uiteindelijk zal dierlijk of plantaardig materiaal met een zekere snelheid worden afgebroken door het bodem microbiom teneinde de essentiële bouwstenen te leveren voor het bodem microleven, de fysische bodemkwaliteit en het gewas. Deze bouwstenen zijn hetzelfde ongeacht het type organische meststof dat is toegepast. Uit functioneel oogpunt is het scheiden van plantaardige en dierlijke organische meststoffen een onnodig iets (er zit al vaak stro in rundveemest). De huidige wetgeving is nogal restrictief in deze.

Men zou gericht organische meststoffen moeten ontwikkelen; verschillend in biologische afbreekbaarheid, voedingswaarde voor het gewas etc. Het gericht ontwikkelen zou moeten aansluiten bij de kwaliteit van de ontvangende bodem.

In hoeverre is de kwaliteit van de bodem relevant voor de inzet van organische meststoffen?

Bodemkwaliteit geeft de conditie van de bodem aan om te functioneren als een weerbaar bodem-ecosysteem dat planten, mensen en dieren kan ondersteunen. De bodem voorziet in de basisbehoeften van het leven: voedsel, water en het in stand houden van nutriëntenkringlopen. De bodemkwaliteit geeft aan in hoeverre de bodem in staat is tot productiviteit en biodiversiteit, het behouden, filteren en bufferen van water en voedingsstoffen, het ondersteunen van nutriëntenkringlopen en het ondersteunen van planten en andere organismen. Deze processen van de bodem worden ook wel ecosysteemfuncties genoemd: eigenschappen en/of processen binnen het ecosysteem. Een goede bodemstructuur zorgt voor een goed watervasthoudend vermogen, en dus minder uitspoeling van nutriënten. Een gesloten nutriëntenkringloop zorgt ook voor minder uitstoot van broeikasgassen en een goede toevoer van voedingsstoffen naar planten. Een dynamisch

organisch stofgehalte geeft aan dat het bodemleven actief is door een hoge turnover van organische stof, en dit zorgt op zijn beurt voor een goede kringloop van voedingsstoffen voor de plant.

De verschillende ecosysteemfuncties kunnen dus niet los van elkaar worden gezien, maar altijd in samenhang met de andere functies. De toestand van de bodem wordt gemeten aan de hand van chemische, fysische en biologische indicatoren. Indicatoren kunnen bodemorganismen zijn, bijvoorbeeld regenwormen, maar ook abiotische kenmerken, zoals pH of de beschikbare hoeveelheid fosfaat in de bodem. Bodembeheermaatregelen (zoals het toevoegen van organische meststoffen) beïnvloeden de hoogte van deze indicatoren. Het meten van veranderingen/verbeteringen in de bodemkwaliteit op basis van biologische, chemische en fysische indicatoren is nodig maar zal ook vragen om andere methodiek en vast ook andere referentiewaarden. Sommige veranderingen in de bodem gaan langzaam zoals het organische stofgehalte: organische stof opbouw ontwikkelt zich heel langzaam, en verschillen zijn vaak pas na 5 of 10 jaar landgebruik te meten. Bovendien is er vaak veel variatie tussen percelen en in de tijd (seizoenen en weersomstandigheden). Echter, biologische parameters reageren meetbaar sneller.

Het is relevant om bij een na te streven verandering in bodemkwaliteit op basis van organisch stofmanagement rekening te houden met een veranderende samenstelling van de organische meststoffen in de loop van de jaren, totdat een zekere evenwichtssituatie bereikt is. Een dynamische, maar over het algemeen stabiele bodemkwaliteit komt zo dicht mogelijk in de buurt van een gesloten nutriëntenkringloop die ter plaatse mogelijk is, maar dat vergt jaren van ontwikkeling. Tijdens deze periode kan de input van minerale meststoffen geleidelijk worden verminderd ten gunste van organische meststoffen. Voor het meten van de bodemkwaliteit zijn indicatoren nodig die de gewenste onderliggende bodemprocessen weergeven. Het organische stofgehalte is een nogal langzaam reagerende indicator. Het is veel beter om indicatoren te gebruiken van de onderliggende dynamiek van de bodem, zoals biologische capaciteit, biologische activiteit en biologische diversiteit.

Organische stof-bodembeheer stimuleert de bacteriële biomassa, diversiteit en activiteit en ook het opnemen van bodembedekkers/groenbemesters in de rotatie verhoogt de organische stof in de bodem. Organisch bodembeheer verbetert de totale microbiële biomassa door de bacteriële, saprotrofe en arbusculaire mycorrhiza-schimmelbiomassa te vergroten; en verhoogt dus de totale microbiële metabolische activiteit dat is geassocieerd met het handhaven van een hoge microbiële efficiëntie (dus een lage CO₂-emissie). De toevoeging van organische meststoffen resulteert in andere microbiële gemeenschappen, maar met een grotere abundantie in alle microbiële functionele groepen en bijgevolg is de metabolische activiteit van de microbiële gemeenschap hoger bij organische bemesting dan bij conventioneel management wat leidt tot een hogere mineralisatiesnelheid en een verhoogde afgifte van voedingsstoffen voor de gewassen.

Gewoonlijk worden bij organisch stofmanagement grote hoeveelheden C in de bodem opgenomen via organische meststoffen die de minerale meststoffen vervangen; deze toename van de bodem-

koolstof-voorraden is sterk afhankelijk van de afbreekbaarheid van de toegevoegde organische meststof (weerspiegelt in C:N). De oorspronkelijk feedstock van de organische meststof heeft een C:N getal dat deels genetisch vastligt maar ook beïnvloed wordt door de bodemcondities waaronder het feedstock materiaal is opgegroeid: de toevoeging van op N gebaseerde meststoffen kan bijvoorbeeld de N-concentraties van de bladeren verhogen en de C:N-verhouding van het blad verlagen. Dit impliceert dat de aard van verschillende feedstock soorten de kwantiteit, kwaliteit en accumulatiesnelheid van het organisch stofgehalte in de bodem kan veranderen. Naast de gunstige effecten van organische meststoffen op het organisch stofgehalte, kunnen organische meststoffen veranderingen in de structuur van de microbiële gemeenschap herhaling teweegbrengen. Verschillende typen organische meststoffen roepen verschillende responses op in schimmelgemeenschappen.

Er is groeiend bewijs dat labiel organische stof, dat efficiënter wordt gebruikt door microben dan complexe verbindingen, de dominante voedselbron is voor microleven, die op hun beurt de belangrijkste voorloper zijn van de stabiele organische stof in de bodem. Dus labiel C wordt snel opgenomen in de microbiële biomassa via het microbiële pad van opgeloste organische stof en resulteert in efficiënte vorming stabiele organische stof; bodemvoeding. Dit betekent dat organisch stof management zowel de afbreekbaarheid van organische stof als de abundantie en de activiteit van de microbiële gemeenschap beïnvloedt. Minerale meststoffen creëren of dragen niet bij aan deze organische stof dynamiek in de bodem, sterker nog, ze onderdrukken de activiteit en diversiteit van het microleven. Deze onevenwichtige situatie in de bodem leidt tot ongewenste emissies naar lucht en water.

Er is al het een en ander genoemd over emissies van stikstof naar lucht en water bij het gebruik van meststoffen. Kan hierin verschil gemaakt worden tussen mineralen meststoffen en organische meststoffen?

Als men het holistisch bekijkt, dus vanuit de stikstofkringloop dan hebben we het voornamelijk over een reeks van onderling verweven biologische processen die samen de keten vormen. Natuurlijke N-fixatie gaat via wortelknolbacteriën, naast deze input voor de bodem is er dierlijk en plantaardig afval en enige depositie (normaal gesproken) door plasma-effecten van bliksem. Biologische processen in een evenwichtssituatie, zoals in stabiele (bodem)ecosystemen, bewaken het evenwicht via feedbackmechanismen. Ontstaat er om een of andere reden een accumulatie van een component in de kringloop dan wordt het proces dat die component produceert geremd en vervolgens ook de processen daarvoor, terwijl het proces dat de "geaccumuleerde" component gebruikt full speed doorgaat totdat de accumulatie verdwenen is en aanmaak en verbruik elkaar weer in balans houden. Feitelijk betekent dit dat in een stabiel agro-ecosysteem overproductie van nitraat of andere stikstofcomponenten niet optreedt, en in geval dat het optreedt komen snel correctiemechanismen in werking. Alleen een bodem in disbalans verliest stikstof uit de kringloop.

In geval van kunstmest, in welke vorm dan ook, wordt er een relatieve grote hoeveelheid ammonium en/of nitraat of ureum gegeven. Ammonium kan de plant in kleine hoeveelheden opnemen en verder is het substraat voor de nitrificatie. Nitraat als zeer mobiel anion is een geliefde stikstofbron voor de plant en ureum wordt enzymatisch afgebroken tot 2 ammonium moleculen en een CO₂. In geval van veel nitraat zal de laatste stap van de nitrificatie geremd worden met tijdelijke ophoping van nitriet die op zijn beurt enerzijds de ammonificatie remt en anderzijds door het hoge aanbod nitriet de route van lachgas en stikstofgas activeert. M.a.w. nitraat-kunstmest verhoogt het risico op lachgas vorming.

Sommige plantensoorten hebben het natuurlijke vermogen om verbindingen af te geven uit hun wortel/rhizosfeer, die de nitrificatie onderdrukken. Voorbeelden van stoffen die uit het wortelweefsel worden geëxudeerd zijn linolzuur en linoleenzuur maar ook een langzamere opname van nitraat door de plant wordt als remmend signaal gezien. Vrij ammonium in de bodem heeft tot ca. 20 mg per liter geen of nauwelijks effect op de nitrificatie echter stijgt de ammonium concentratie verder dan neemt ook de remming van de nitrificatie sterk toe; het remmend effect van vrij ammonium in de bodem op de nitrificatie doorloopt de klassieke biologische S-curve. Wel kan de nitrificatie enigszins wennen aan langdurige blootstelling aan hoge concentraties vrij ammonium en zal op een bepaald zeer sub-maximaal "doorgaan". Dit is ook kenmerkend voor biologische proces; de drempelwaarde voor de ammonium-gevoeligheid verandert dan wat. Dit is nuttig omdat het anders kan gebeuren dat door de hoge concentraties vrije ammonium er geen nitraat meer gemaakt wordt en daar is het systeem niet bij gebaat. Vrije nitraat remt de vorming terwijl ammoniak de vorming van nitriet meer en sneller remt dan de vorming van nitraat. Kortom, allerlei feedback processen spelen een rol in de bodem.

Uit het voorgaande zou de conclusie getrokken kunnen worden dat de kans op nitraatuitspoeling reduceert bij het toepassen van organische meststoffen i.p.v. mineralen meststoffen.

Dat klopt, enerzijds door logisch redeneren kom je daarop uit en anderzijds is er een toenemende bewijsvoering daarvoor. Er is consensus over de constatering dat een bodem in biologisch evenwicht nauwelijks of geen nitraat zal lekken vanwege de schakelingen van biologische reacties en de capaciteit (biomassa microben) per biologische omzetting. Naarmate het evenwicht rust op een grotere biodiversiteit, des te groter is de veerkracht van de bodem om met incidenten die een of meerdere biologische reacties tijdelijk uit hun lood slaan om te gaan. Een stelselmatige verstoring, en daar valt een regelmatige kunstmestgift onder, verstoort niet alleen het evenwicht maar creëert ook short-cuts m.b.t. gewasvoeding. Indien dit gecombineerd wordt met geen of weinig input van organische stof dan loopt ook de continuïteit van de biologische motor gevaar. Hierdoor wordt niet alleen de mineralisatie geschaad (echter het gewas heeft directe voeding), maar ook de bodemweerstand en de door het gewas op te roepen weerstand die in de bodem (in)direct

geproduceerd wordt. De uitdaging is bepalen of meten welke mate van biologische evenwicht een bodem heeft. Biodiversiteitsmetingen kunnen daar goed helpen.

Het bijzondere van de discussie over nitraatmissie naar het grond/oppervlaktewater is dat we er zo moeilijk over doen; we doen allerlei onderzoeken naar maatregelen om deze emissie te beperken terwijl de kern van het verhaal is dat we sinds de introductie van kunstmest er last van hebben of wisten dat we er last van gingen krijgen. Er wordt vaak aangetoond dat de risico's op nitraatmissie groter zijn op lichte gronden met geen of weinig kleifracties. Op kleigronden is het risico beduidend minder, echter dat komt niet zozeer door de klei, het verhaal dat klei nitraat bindt is niet correct. Kleigronden hebben een hogere *cation-exchange-capacity* (CEC-waarde), maar nitraat is een anion, en de anion-exchange-capaciteit stelt niet veel voor. Aangezien nitraat gemakkelijk oplost in water en water sneller draineert in lichte gronden is dat laatste wel een factor van belang. Veel zandgronden hebben weinig actieve organische stof en bodemleven, zowel de doorgaans lage pH en het geringe pH bufferend vermogen zijn daarnaast geen goede omstandigheden.

4.2 Interview boeren

Over de inzet van organische meststoffen wordt zeker nagedacht maar in praktijk blijft kunstmest nog nadrukkelijk te worden gebruikt. Het gebruiksgemak en de huidige kostprijs spelen hierin een rol. Beperking van het kunstmestgebruik krijgt aandacht. Men let voortdurend op de kwaliteit en de ontwikkeling van het gewas. Enkelen zetten daar bladsap/steeltjesanalyses voor in. Bijvoorbeeld bij aardappelen na 80% opkomst van het gewas. Zorgvuldig bijmesten is dan het vervolg zodat een minimale resthoeveelheid stikstof achterblijft na de teelt.

Met betrekking tot de N-analyses in de grond is niet duidelijk gebleken dat daar effectief mee "gerekend" wordt. Bijmest-onderzoek geeft inzicht in de direct beschikbare nutriënten. Met een snelle check kan zo nodig een gerichte bijbemesting worden uitgevoerd. Eurofins biedt dit aan via de analyse BodemCheck. Er is in dit onderzoek niet gemeld dat men daar volop gebruik van maakt. Dat geldt ook voor de analyses biologische activiteit. Enkelen schenken deze parameters aandacht maar het wordt nog niet direct vertaald in een concrete gift van specifiek organisch materiaal. Hier is sprake van een nog onontgonnen terrein.

Precisie bemesting is nog geen uitgesproken strategie. Control Traffic Farming (CTF) is een internationaal erkend begrip in precisielandbouw. In het Nederlands spreekt men bijv. van "vaste rijpaden". In essentie komt het erop neer dat men voor alle bewerkingen op het veld probeert om dezelfde rijsporen aan te houden. Een (1) biologische boer heeft dit als doel gedefinieerd. Deze biologische boer probeert ook de N-waarden in de bodem te benutten.

Praktisch toepassen van vooral vaste mest is soms lastig qua verdeling. Toch blijft de akkerbouwer de komende jaren zoeken naar manieren om de kwaliteit van de bodem verder te verbeteren. Het is nog een zoektocht naar optimalisatie van de inzet van organische mest, tijdstip, hoeveelheid en frequentie, en vanggewassen/groenbemesters, het tijdstip van inzetten en bij de laatste het tijdstip van omploegen, wijze van ploegen en het de winter over laten staan.

4.3 Interview met René Jochems

Bodembiooloog René Jochems van Groeibalans stelt: 'De bodem is de maag van de plant, het maaiveld is de mond. De juiste bemesting is daarom een van de sleutels voor een gezonde bodem en plant.' Een gezonde bodem is o.a. een bodem waarbij er evenwicht is tussen de bodem en het gewas. Natuurlijke processen zijn relatief langzaam dus actief stimuleren/bevorderen is op zijn plaats waarbij ook het doseren van micro-organismen passend zou zijn. Daarentegen geven andere deskundigen aan dat er genoeg biologieleven in de bodem aanwezig is en dat die door juiste condities aan te brengen al gestimuleerd wordt. In die zin is actief bekalken op termijn ook niet aan te bevelen. De bodem is erg complex en in die zin moeilijk bestuurbaar maar laat nu juist het bodemleven dat op zich nemen.

Een gezonde bodem is een organisch levende bodem met een goede structuur, die voldoende voedingsstoffen en water levert in de juiste vorm. Ook heeft het een ziekte onderdrukkend vermogen. Antibioticum komt niet uit de fabriek, maar uit het wortelmilieu, waar het bodemleven zit. Het moet dus in het voedsel zitten t.b.v. de eigen bodemkringloop. Ziekten en plagen zijn altijd latent aanwezig en komen tot uitdrukking wanneer het bodemleven niet in evenwicht is. Het gebruik van bestrijdingsmiddelen is het gevolg van een ongezonde bodem. Belangrijke levensvoorwaarden daarbij zijn energie, temperatuur, zuurstof, water, koolstof, oftewel organische stof, en alle noodzakelijke mineralen. De koolstof is de speciemateriaal van de bodem, de mineralen zijn de bouwstenen. De koolstof verbindt de energie, het water, de zuurstof, gassen en energie. Het bodemleven zijn de bouwvallers. Dat is essentieel bij de beschikbaarheid en opbouw van mineralen in de bodem.

Volgens Jochems is bodembioologie cruciaal bij de opname van mineralen door het gewas en bij het toepassen van diermest via het voer door de koe. Alleen organisch goed ingebouwde mineralen worden gemakkelijk opgenomen door de koe. Scheve verhoudingen op het grasland vertalen zich dan ook direct terug in het voer en daarna in de koe. Een mineralentekort bij de koe is een direct gevolg van de ruwvoerkwaliteit. Om aan voldoende mineralen te komen, moet de koe verschillende plantensoorten nuttigen. Dat is nu niet overal mogelijk. Het is daarom belangrijk de bodem goed te voeden. Dat kan met planten en daarbij is het goed om verschillende planten te hebben. Ook vaste mest kan helpen. Dit heeft meer koolstof, structuur en energie en een andere mineralensamenstelling dan drijfmest. Ook compost en bokashi zijn goede voedingsstoffen.

Monocultuur in gewas of dier is op den duur niet de juiste weg en is sterk afwijkend van het vroegere gemengde bedrijf.

Machinale bewerking verstoort het evenwicht in de bodem. Onbewerkt of half bewerkt organisch afval heeft niet de voorkeur, groencompost wel. Die heeft een pH van 6,3 en een aerob milieu. Wel vraagt deze benadering een andere bemesting. Niet alleen de NPK-meststoffen, maar de totale mineralenbalans en de beschikbaarheid van mineralen in de juiste verhouding zijn van belang. Stel je de bodembioologie voorop dan ben je wel genoodzaakt om zorgvuldig naar alle getallen op de analyses te kijken, aldus Jochems. Daarvoor verwijst hij o.a. naar analyses als Soil Foodweb analyse, Nova Bioscan, Bodembalansanalyse en de rondfilter-chromatografie test. De testen moeten handvat geven voor de strategie hoe de bodem weer op niveau te krijgen.



5 Discussie & conclusies

5.1 Integratie van de informatie van boeren en deskundigen

Beide bronnen delen de mening dat de bodem belangrijk is voor de groei van gewassen en dat er meer in de wereld is dan kunstmest. Tegelijkertijd is het helder dat de betrokken boeren nog vrij sterk leunen op het gebruik van kunstmest, terwijl de deskundigen de voorkeur geven aan het strategisch inzetten op meer organische meststoffen. De betrokken boeren zitten allemaal op kleigrond met redelijk tot goede gehalten aan organische stof, waarbij aangetekend dient te worden dat de biologische activiteit zwak tot matig is in vergelijking tot de microbiologische massa; een bekend fenomeen, namelijk het organische stofgehalte is redelijk maar met een onvoldoende biologische activiteit in die organische massa. Dit houdt in dat de turnover van organische stof verre van optimaal is. Men kan dus vraagtekens zetten bij een tweetal default gehanteerde waarden voor deze begrippen. De eerste is de mate van organische stof afbraak, die gezien de formuleringen gekoppeld is aan de mate van intensiteit waarmee de grond gebruikt wordt. Intensieve akkerbouw zou de hoogste afbraak, lees omzetting, van organische stof hebben. Dit is uiterst twijfelachtig, aangezien deskundigen stellen dat de intensiteit van het huidige landbouwbedrijven een remmende werking heeft op de biologische activiteit van de bodem, dus op de omzetting van organische stof. De tweede zijn de gebruikelijke EOS getallen; het is uiterst twijfelachtig of deze EOS getallen onafhankelijk zouden zijn van de omvang en activiteit van het bodemleven.

Het belijden van het belang van de bodem leidt tot geheel verschillende ideeën over de handelingen die daaruit volgen. De indruk is dat er een groep is die vooral vaste of drijfmest en champost gebruikt als basis voor organische bemesting aangevuld met najaarsgroenbemesting en waarbij de inzet van kunstmest aanvullend en dus incidenteel is. Toch zijn er ook nog vele boeren die kunstmest als uitgangspunt nemen en slechts als het gewas en het weer het toelaten een bemesting toepassen met enige organische stof.

Als we de "boereninfo" voorleggen aan de deskundigen constateren zij het volgende:

1. Nieuwe kennis stroomt gebrekkig door. Het geconstateerde bodem-bewustzijn van de boeren is gebaseerd op informatie van ca. 10 jaar terug, bv organische stofgehalte als zodanig is een goede marker, men heeft geen gevoel bij het opbouwen van de biologische bodemkwaliteit, kunstmestvervangers ziet men als duurzaam en dus goed voor de bodem, terwijl functioneel gezien vanuit de bodem er geen noemenswaardig verschil is tussen kunstmest en kunstmestvervangers.
2. Snappen boeren dat met het gebruik van groenbemesters het C/N getal in de bodem daalt en men daarmee de bacteriële deel van het bodemleven stimuleert terwijl op klei vaak de behoefte is aan meer schimmelactiviteit. Hiervoor is een verhoging van de C/N nodig d.m.v. meer lignine-bevattende organische stof.
3. Het is lastig voor boeren om bij een toenemende organische bemesting meer en meer te vertrouwen op de biologische mineralisatie. Hun omgeving bestaat doorgaans uit personen

die werken met 60-80kg N per hectare als mineralisatie terwijl de literatuur rustig praat over 200 kg of meer. Mineralisatie is een biologisch proces waarvan de capaciteit bepaald wordt door de omvang van de betrokken bacteriën, en dat wordt bepaald door externe factoren als voeding, vocht, pH, biodiversiteit etc. De activiteit wordt bepaald door vraag naar nitraat en aanbod van afbreekbare stikstof bevattende organische stof. Als alle signalen op groen staan kan een immense biologische machine zich ontwikkelen waarvan de activiteit in dat geval wordt bepaald door het verbruik van nitraat door het gewas.

4. Zoals al eerder gesteld zijn de kennis-deskundigen unaniem van mening dat nitraat-emissie geen issue is bij een landbouw die voornamelijk gebruik maakt van organische meststoffen in een bodem die biologisch op orde is. En daar begint de uitdaging:
 - a. Definitie van een "voldoende" biologisch evenwichtige bodem
 - b. Meetbaarheid van het biologisch evenwicht in de bodem
 - c. Wat is de weg ernaartoe en met welke doorlooptijd?
 - d. Wat zijn dus de referentiewaarden voor een bodem met een biologisch evenwicht?
 - e. Kunnen we daaraan ook nieuwe parameters en hun referentiewaarden ontleen voor "voedingswaarde" en weerbaarheid van de bodem.

5.2 Toetsing: haalbaarheidsvragen met indicatoren

Navolgend worden de in hoofdstuk 4 gedefinieerde indicatoren behandeld.

5.2.1 Haalbaarheidsvraag 1: kwantitatieve invloed

Betekent meer organische stof van plantaardige oorsprong naar de bodem: minder emissie van nitraat naar grond- en oppervlaktewater en minder ammoniakuitstoot naar de lucht?

- a. *Organische stof in de bodem levert nitraat, zo ja een kwantitatieve indicatie*

Bodemorganismen breken organische stof, waaronder de stikstofhoudende verbindingen als aminozuren, eiwitten en DNA, af waarbij kleine opgeloste organische stikstofverbindingen en ammonium vrijkomen. Bacteriën zetten ammonium meestal snel om in nitraat als er voldoende zuurstof is in de bodem.

Planten nemen N (het drooggewicht van een plant bestaat gemiddeld voor 1,5% uit stikstof) vooral op in de vorm van wateroplosbaar nitraat. Deze stikstofvorm beweegt met het bodemvocht naar de wortels van de plant o.a. toe op basis van een diffusiegradiënt. N in de vorm van ammonium is in de bodem gebonden aan het klei-humus complex en daarmee nagenoeg onbeweeglijk. De wortel moet dan naar de N toe groeien.

Organische stof levert primair ammonium dat wordt geoxideerd naar nitraat. Sterk afhankelijk van type organische stof en de intensiteit van het bio-leven in de bodem krijgt de levering van nitraat naar gewassen een bepaalde intensiteit. De conditie van de bodem bepaalt dus de levering en niet sec de organische stof.

b. Nitraat gehalten in de bodem zijn negatief gecorreleerd met de hoeveelheid organische stof

Zie ook hierboven, een en ander is afhankelijk van type organische stof en het niveau van het bio-leven en uitspoeling.

Het stabiele EOS deel van de organische stof zal naar verwachting minder N bevatten dan het reactieve/actieve deel van de organische stof. Wel is bekend dat ook bij een overdosis van N-rijk organisch materiaal ook nitraat in het grondwater kan terecht komen (GFT-compost), met andere woorden het organisch stofgehalte kan iets zeggen over het risico op nitraatuitspoeling maar zegt in kwantitatieve zin weinig.

c. Er bestaat een dynamisch evenwicht tussen gewasopname van nitraat en de aanlevering van nitraat door het bodemleven

Dat evenwicht is er mits de bodem met name rond de wortels (rhizosfeer) een gezond bio-leven heeft. Alleen bij een gezond bio-leven is er sprake van dynamisch evenwicht, d.w.z. er is een "flexibele" interactie tussen opname en aanlevering dus het evenwicht is bestand tegen enige schommelingen in concentraties/aan-afvoer. Het grootste belang van bacteriën in de bodem voor een agrariër is de afbraak van organisch materiaal waaruit voor de plant opneembare nutriënten ontstaan. Om het gewas voldoende te kunnen voeden moet dit evenwicht op voldoende hoog concentratieniveau liggen dus ook voldoende N beschikbaar zijn voor deze processen.

Daarnaast hebben sommige bacteriesoorten de mogelijkheid stikstof te binden en dragen ze bij aan het vormen van stabiele aggregaten die de bodemstructuur verbeteren. Naast de zuurgraad is ook de aangevoerde soort/karakter organische stof van belang. Makkelijk verteerbaar eiwitrijk materiaal stimuleert bacteriënactiviteit c.q. groei

Ook aaltjes/nematoden spelen ook een belangrijke rol in de stikstofkringloop. In het proces waarbij aaltjes schimmels en bacteriën eten, komt (o.a.) stikstof vrij die opneembaar is voor de plant.

De verhouding van aerobe en anaerobe bacteriën in een gezonde bodem is ongeveer 10:1. Deze verhouding kan dan ook dienen als een indicator voor bodemgezondheid. In zuurstofloze omstandigheden kunnen bacteriën nitraat omzetten in stikstofgas (N₂). Dit is ongunstig aangezien nitraat daarmee niet meer opneembaar is voor het gewas. Dit proces heet denitrificatie. Onder

zuurstofarme omstandigheden kan daarnaast ook lachgas (N_2O) vrijkomen, wat een sterk broeikasgas is.

Naast het afbreken van organisch materiaal en het opneembaar maken van nutriënten voor planten door bacteriën, spelen schimmels ook een belangrijke en soms noodzakelijke rol in deze mineralisatie en de weerbaarheid van een bodem. Het doel is dus om de verhouding tussen schimmels en bacteriën en hun predatoren te optimaliseren voor de gewenste planten. Predatoren zijn in dit geval degenen die bacteriën en schimmels opeten.

d. De potentiële ammoniakemissie van meststoffen is direct gerelateerd met het ammoniumgehalte in de betreffende meststoffen

Kunstmest lost op in bodemvocht, dus ook het ammoniumdeel. Bij organische mest dient eerste nog afbraak plaats te vinden van de organische verbindingen. NH_4^+ wordt omgezet in het vluchtige ammoniak onder condities met een pH groter dan 6 en geringe zuurstofdruk en laag niveau van het bio-leven. Dit geldt meer voor kunstmest dan voor organische mest mits dit laatste in evenwicht is met een gezond bio-leven in de bodem. Voor een goede gewasgroei is het essentieel de pH op een optimaal niveau te houden, op de meeste gronden tussen de 6 en 7. Deze pH werkt de ongewenste emissie dus niet tegen.

5.2.2 Haalbaarheidsvraag 2: kwalitatieve invloed

In welke mate beïnvloeden de eigenschappen van de organische stof en het EOS-gehalte (de hoeveelheid organische stof die na een jaar nog over is) van de toegediende organische stof deze emissiepatronen?

a. Het EOS-getal en de humificatie-coëfficiënt van diverse typen organische meststoffen of mengsels daarvan

Een hoog EOS-getal betekent dat er veel van de toegediende organische stof wordt "vastgelegd" in de bodem. De daarin aanwezige N ligt dan ook meestal vast en komt niet direct beschikbaar voor de plant. Afhankelijk van het EOS-getal en het N-gehalte daarvan kan dit een N-emissie beperking in houden. Dit zijn overigens de wat grotere `meer humusachtige structuren die naar verwachting een wat lager N-gehalte hebben in het totaal. Dus afhankelijk van de N-verdeling over de typen aangeboden organische stof, vertaalt zich dit vervolgens naar de werkingscoëfficiënt. Een hoge EOS-waarde is nodig voor de organische stofopbouw en lagere betekent meer biologische activiteit stimuleren in de bodem. Beide zijn noodzakelijk voor de (opbouw) van een duurzame bodem. Hier ligt ook wel een koppeling met de parameter N-werkingscoëfficiënt.

b. De verhouding EOS/N_{totaal} en de verhouding EOS/P_{totaal} van diverse typen organische meststoffen of mengsels daarvan

Organische producten kunnen worden onderscheiden naar:

- Bodemverbeteraars: producten die vooral bijdragen aan de organische stofvoorziening van en koolstofvastlegging in landbouwbodems en waarbij de nutriëntenlevering relatief laag is.
- Organische meststoffen: producten waarbij het accent meer op de nutriëntenlevering ligt dan op organische-stofvoorziening.

Het onderzoek "Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen" (WUR 2019) noemt als geschikte criteria die voorlopig kunnen worden gehanteerd:

1. een hoge verhouding EOS/N-totaal als ook
2. een hoge verhouding EOS / P2O5; maar er zijn nog geen grenswaarden voor vastgesteld
3. of een hoge verhouding EOS / N-totaal uitgedrukt per kg fosfaat. Als er uit nader onderzoek meer duidelijkheid komt over de mate waarin bodemverbeteraars bijdragen aan de nitraatuitspoeling, zou in plaats van N-totaal het risicovolle deel van de stikstof in de criteria kunnen worden opgenomen. Grenswaarden voor de criteria zijn niet eenvoudig te geven.

Tabel 3. Eigenschappen organische meststoffen

Mesttype	Wettelijke werking coëfficiënt (%)	Humicatie coëfficiënt (%)*	Gehalten (kg per ton product)							C/N ***	Nmin/EOS g/kg	Norg/EOS g/kg	P2O5/EOS g/kg
			Org. stof	Effectieve org. stof	Ntot	Nmin	Norg	P ₂ O ₅					
Runderdrijfmest	60	45	71	32	4.0	1.9	2.1	1.5	15	59	66	47	
Vaste rundermest	40	50	155	78	7.7	1.1	6.6	4.3	11	14	85	55	
Dikke fractie gescheiden rundermest	40	30	188	56	7.8	1.6	6.2	4.4	14	28	110	78	
Vleesvarkensdrijfmest	80	30	79	24	7.0	3.7	3.3	3.9	11	156	139	165	
GFT-compost	10	85	242	206	8.9	0.8	8.1	4.4	13	4	39	21	
Champost	25	50	211	106	7.6	0.4	7.2	4.5	13	4	68	43	
Tarwe incl. stro **	-	31	773	240	5.8	0.0	5.8	1.6	60	0	24	7	

Bij de verhouding tussen EOS en niet-werkzame N, zal het risico van nitraatuitspoeling tevens worden beïnvloed door de termijn waarop de niet-werkzame N later vrijkomt door mineralisatie. Aanbevolen wordt om na te gaan, hoe dit kan worden meegenomen in dit criterium: tot op welke termijn moet de N-mineralisatie worden bekeken (bijvoorbeeld 20, 50 of 100 jaar). Aanbevolen werd criteria op te stellen voor een maximale bijdrage voor organische stof opbouw en een minimale nitraatuitspoeling. Veel modellen wijzen namelijk op toename uitspoelrisico bij toename van gehalte aan niet-werkzame N. De termijn van het bereiken van mogelijke evenwichtssituatie is belangrijk.

Er is meer inzicht nodig in de stabiliteit van de organische stof en de impact daarvan op de bio-bodem.

In tabel 3 zijn van bekende organische mestsoorten parameters opgenomen.

c. De werkingscoëfficiënt voor N van diverse typen organische meststoffen of mengsels daarvan

Een hoog EOS-getal betekent dat veel organische stof wordt "vastgelegd" in de bodem. De daarin aanwezige N ligt dan ook vast en komt niet direct beschikbaar voor de plant. Afhankelijk van het type EOS en het N-gehalte daarvan kan dit een N-beperking in houden. Dit zijn overigens de wat grotere humus-achtige structuren die naar verwachting een wat lager N-gehalte, dus hogere C/N verhouding, hebben in het totaal. Dus afhankelijk van de N-verdeling over de typen aangeboden organische stof, vertaalt zich dit naar de werkingscoëfficiënt. Een hoge werkingscoëfficiënt geeft aan dat de aanwezige N relatief snel ter beschikking komt in de bodem. Om te voorkomen dat dit voor het gewas ter beschikking komt zal ook de vraagkant van het gewas hoog moeten zijn dus dient de gift plaats te vinden wanneer de gewassen voldoende groei vertonen.

De wisselwerkingen tussen type meststof, stikstofgift, N-mineralisatie, stikstofopname door het hoofd- en vanggewas, denitrificatie, grondsoort en weersomstandigheden bepalen uiteindelijk hoeveel stikstof door uitspoeling van nitraat en door denitrificatie verloren gaat.

5.2.3 Haalbaarheidsvraag 3: afhankelijkheden

In welke mate worden de uitkomsten van (1) en (2) beïnvloed door bodemeigenschappen, gewasstype, gewasrotatie en het bedrijfsmanagement?

a. De zuurgraad van de bodem

De zuurgraad is van invloed op de bodemkwaliteit en de gewasgroei, via de beschikbaarheid van nutriënten, (zware) metalen en H^+ , maar ook via de bodemstructuur en activiteit van het bodemleven. De pH is daarom een basisindicator voor bodemkwaliteit. Bij kleigronden krijgt men met een hogere pH een luchtigere grond met meer poriën en een minder sterke binding tussen de gronddeeltjes.

Een vruchtbare, kalkrijke grond heeft een pH van 7, of net daaronder. Bij kalkloze gronden kan de pH te laag ($pH < 5$) worden. Het soort gewas en de bemesting beïnvloeden de pH-waarde.

b. De hoeveelheid beschikbare en afbreekbare organische stof: substraat voor het bodemleven

Relatief veel koolstof in organische stof (een verzamelnaam voor al het materiaal in de bodem dat afkomstig is van planten, dieren en micro-organismen) zorgt voor stabiliteit en een positief effect op de structuur en het vergroten van de CEC (*Cation Exchange Capacity*, ofwel de kationen-uitwisselings-capaciteit). De CEC is de capaciteit van de bodem om positief geladen voedingsstoffen uit te wisselen met de bodemoplossing, uitgedrukt in $mmol+/kg$. Het wordt ook wel het 'klei-

humuscomplex' genoemd en het is een maat voor het vermogen van de bodem om nutriënten en water vast te houden en deze gedurende het seizoen aan planten te leveren. Als er relatief weinig koolstof in organische verbindingen zit, dan is deze labiel en dus makkelijker afbreekbaar. Dit kan juist een belangrijke bijdrage leveren aan mineralisatie (het proces waarbij organisch materiaal door micro-organismen wordt omgezet in anorganisch materiaal). Bodemleven preferereert makkelijk afbreekbare organische stof met weinig koolstof, wat belangrijk is voor de stikstof- en zwavellevering vanuit de bodem op korte termijn. Relatief veel of weinig koolstof in organische stof kunnen allebei nuttige eigenschappen bevatten. Hierom is het belangrijk om de (huidige) staat van de bodem in kaart te brengen en te bepalen of de CEC verhoogd moet worden of juist de mineralisatie. Een keerzijde is dat door toename van de bodemleven-activiteit ook het zuurstofverbruik in de bodem toeneemt en er eerder zuurstofgebrek kan ontstaan. Onder zuurstofarme omstandigheden treedt denitrificatie op van nitraat. Het adagium is weer doseren tot het evenwicht bereikt wordt van het aanbod/het beschikbaar komen van nutriënten en de vraag/de opname van nutriënten door de groeiende gezonde gewassen.

c. De C/N ratio van de organische stof in de bodem, soort van kwaliteitsmarker naast de biodegradeerbaarheid

Organisch materiaal met een relatief lage C/N verhouding zal in de regel makkelijk verteren. Voorbeelden hiervan zijn: storrijke kippenmest, groenbemesters en drijfmest. Bijlage 3 geeft de schakering in C:N verhoudingen weer voor een reeks gewas(resten). Organisch materiaal met een relatief hoge koolstof/stikstof verhouding zal in de regel langer in de bodem aanwezig blijven. Voorbeelden hiervan zijn: wortelresten van graan, gras en kool. Bij composteren gaat de C/N verhouding omlaag. Het materiaal wordt door het composteren stabiel en is daarom ondanks de lage C/N verhouding toch sterk organische stofopbouwend. Verse materialen met een hoge C/N verhouding (>30) kunnen sterk stikstof gaan binden na het aanbrengen in de bodem.

De schimmel/bacterie-ratio geeft inzicht in hoeverre het microbiologische bodemleven door schimmels of door bacteriën worden bepaald. Als er veel schimmels in de bodem aanwezig zijn is er sprake van opbouw van organische stof. In bodems met relatief meer bacteriën neemt de hoeveelheid organische stof juist af door afbraak en is de stikstof- en zwavelmineralisatie relatief groter.

Men kan de verhouding tussen schimmels en bacteriën in de bodem beïnvloeden met de keuze van het organisch materiaal dat wordt toegediend. Toediening van materiaal met een hoge C/N-verhouding (o.a. wortelresten van planten of stro) stimuleer vooral de schimmels, terwijl toediening van stikstofrijke (drijf)mest met een relatief lage C/N-verhouding vooral de bacteriën bevordert.

De hogere gewasopbrengst en bij onderzoek vastgestelde grotere nitraatuitspoeling bij gebruik van GFT-compost (C/N is 13) wordt verklaard door een relatief hoge stikstofgift en grotere N-mineralisatie in de bodem.

d. N-biomassa: indicator voor biologische activiteit van de bodem

N-biomassa geeft de potentie aan voor biologische activiteit maar is geen garantie daarvoor. Planten moeten bijna allemaal over een voldoende startstikstof, dus beschikbaar NO₃/NH₄, beschikken. Voor de meeste planten is wel een (organische) startstikstof noodzakelijk. Snellere afbraaksnelheden zijn vaak positief gecorreleerd met hogere initiële N- en P-concentraties in de bouwvoor en met lagere C:N en lignine:N verhoudingen. Randvoorwaarde is wel dat het bio-leven op niveau is met voldoende vocht aanwezig en een geschikte temperatuur.

e. Bacteriën/schimmel ratio, indicator voor effectiviteit van de activiteit van bodemleven

Schimmels zorgen voor de afbraak van koolstofrijke organische verbindingen (cellulose, hemicellulose, lignine) en de vorming van stabiele aggregaten. Het uitscheiden van zuren speelt een rol waardoor sommige nutriënten beter beschikbaar worden voor de planten en zij dragen bij aan een verhoogde opname van fosfaat en water (zoals mycorrhiza; schimmels die in symbiose met de plant leven).

Bacteriën stellen hogere eisen aan de leefomgeving dan schimmels en straalschimmels (draadvormige bacteriën). Voorwaarden voor een goede bacterieactiviteit zijn een niet te zure grond (pH 6-7) en relatief stikstofrijk voedsel (C/N-verhouding van de organische stof ≤ 20). Bacteriën zetten het gemakkelijk afbreekbare organische materiaal om, waarbij de nutriënten vrijkomen. Schimmels zijn minder gevoelig voor pH dan bacteriën en hebben geen stikstofrijk voedsel nodig. Verder zijn schimmels beter in staat om moeilijk afbreekbare organische verbindingen als lignine en cellulose af te breken en om te zetten, met name de straalschimmels.

Schimmel/bacterieverhouding

De schimmel/bacterie-ratio laat de verhouding van de totale biomassa schimmels tot de totale biomassa bacteriën (uitgedrukt in g C/kg grond) zien (Eurofins). De ratio kan ook worden gebruikt als indicator voor de mate van verstoring. In het algemeen hebben onverstoorde ecosystemen een hogere schimmel/bacterie-ratio dan verstoorde systemen. Biologisch en lage-input systemen hebben

een hogere schimmel/bacterie-ratio dan intensieve teeltsystemen. Bij verstoringen zoals grondbewerking, het verwijderen van gewasresten en beweiden daalt de schimmel/bacterie-ratio.

Ingham (2001) is van mening dat elk gewas een specifieke schimmel/bacterie verhouding nodig heeft. Een voorbeeld is een aardbeienplant die van nature in bosranden groeit en daardoor het beste groeit op een schimmel gedomineerde grond. Anderen stellen zelfs dat elke teelt een eigen bodemmilieu heeft.

Tabel 4: enkele voorbeelden van schimmel/bacterie verhoudingen (Louis Bolk Instituut, 2003)

Plant	Totaal schimmels/Totaal bacteriën	Actieve schimmels/actieve bacteriën
Granen en snijmaïs	0,6-1,2	1
Eenjarige-tweejarige grassen	0,5-0,75	1
Meerjarige grassen	0,8-1,5	1
Loofbomen	5-10	2-5
Naaldbomen	10-100	5

Een hoge biomassa aan schimmels in de bodem en een hogere schimmel/bacterieverhouding is een indicatie voor een relatief lage beschikbaarheid van nutriënten, een trage afbraak van organische stof, maar ook een kleinere kans op stikstofverliezen door uitspoeling en denitrificatie.

Een hoge biomassa aan bacteriën in de bodem en een lagere schimmel/bacterieverhouding is een indicatie voor een hogere bodemvruchtbaarheid, een relatief snelle afbraak van organische stof en een hoge mineralisatie, maar ook een hoger risico op stikstofverliezen door uitspoeling en denitrificatie.

Men kan de verhouding tussen schimmels en bacteriën in de bodem beïnvloeden met de keuze van het organisch materiaal dat wordt toegediend. Toediening van materiaal met een hoge C/N-verhouding (o.a. wortelresten van planten of stro) stimuleert vooral de schimmels, terwijl toediening van stikstofrijke (drijf)mest etc. met een relatief lage C/N-verhouding vooral de bacteriën bevordert.

Een van belang zijnde schimmel zijn de mycorrhiza schimmels, zij vergroten het oppervlak van de wortels door het vormen van fijne vertakkingen die zich uitstrekken in de bodem (Ingham, 2001). Hierdoor kunnen ze mineralen zoals fosfor, stikstof, calcium en andere essentiële voedingsstoffen efficiënter opnemen en doorgeven aan de plant. Mycorrhiza schimmels zijn kleine vertakkingen die aan de wortel groeien. Ze kunnen tot wel 30 keer meer bereik hebben dan wortels.

Het hele wortelstelsel kan ook enzymachtige stoffen (exudaten) afgeven die weer specifieke micro-organismen aantrekken die gespecialiseerd zijn in het opnemen en afgeven van bijvoorbeeld mangaan, koper, stikstof. De plantensoorten scheiden unieke wortel exudaten profielen uit. Er zijn micro-organismen die rechtstreeks organische stikstof en andere organisch gebonden nutriënten leveren. Van de mycorrhiza schimmels is een dergelijke symbiose al langer bekend. In ruil voor energie (bijvoorbeeld koolstof als suikers) kunnen mycorrhiza schimmels de opname van nutriënten door het gewas verbeteren.

De meeste groenten, één- en meerjarigen, struiken, grassen en zachtbomen werken vooral met endo-mycorrhizale schimmels. Dit zijn de soorten schimmels die een voorkeur hebben voor bacteriedominante bodems.

Voor akker-, tuinbouw- en siergewassen en gazons is dus een bacteriedominante compost beter. Ingham heeft de theorie dat een verhouding schimmel/bacterie verhouding van circa $\frac{3}{4}$ ideaal is voor veel soorten groenten en circa 1 voor gras en veldvruchten als mais en granen. Deze verhouding verkrijgt je door wat meer 'groene afbreekbare' materialen toe te voegen in de toplaag van de bodem.

Door mensen gekweekte bio-activators (zoals pseudomonas bacteriën en Bacterium sp. no 160) kunnen de plantengroei enorm stimuleren, net zoals de rhizobium bacteriën, al dan niet vrij levend. Combinaties van bio-activators en rhizobia geven vaak een nog hoger positief effect op de plantengroei.

Wormen

Van wormencompost (vermicomposting) is bekend dat het, mits gemaakt met goed materiaal, de juiste bacteriën en schimmels bevat voor de wortelomgeving van de planten. Het vooraf mengen van organische voeding met grond is wel bewerkelijk maar opbrengst verhogend. Daarbij speelt de toename van wormen ook een belangrijke rol.

Protozoen (w.o. pantoffeldiertjes) en nematoden (aaltjes)

Deze eencelligen worden in het bodemvoedselweb (SoilFoodweb; zie schematische weergave bijlage 2) belangrijk geacht. Door het opeten van schimmels en bacteriën laten ze de voedingstoffen vrijkomen die in hun prooi opgeslagen zaten. Deze komen zo weer beschikbaar voor planten. Zij worden in die zin ook als zeer belangrijke indicatoren beschouwd.

Kasproeven tonen bij het enten met mengsels van schimmels en bacteriën een overtuigende toename van gewasopbrengst in relatie tot een toenemende schimmel/bacterie verhouding (Jonhson, VS). Stikstof verliezen worden naar verwachting tot een minimum beperkt.

In een evenwichtssituatie staat de plant aan het roer, samen met de directe omgeving in de rhizosfeer en "stuurt" de bacteriën aan om de gewenste nutriënten te leveren. De schimmels spelen daarbij ook een belangrijke rol. Ingham suggereert zelfs dat om die reden gewasrotatie ter discussie gesteld kan worden.

Met zorgvuldig microscopisch onderzoek kan het niveau van gezond bio-leven in de bodem worden vastgesteld. Dit vergt ervaring omdat de verhoudingen (indicatief) moeten worden vastgesteld en er ook sprake kan zijn van "foute" bacteriën en schimmels. Een visuele indicator voor het biologisch leven in de bodem zou o.a. een gezonde gewasgroei kunnen zijn. Het tijdig bijsturen in deze biologie nog voor dat de plant tekorten gaat vertonen is dan wel de uitdaging.

Bedrijfsmanagement

Menging door de grond is bij toediening van organisch materiaal belangrijk, omdat bodemorganismen de organische meststof snel kunnen omzetten en de plantenwortels goed bij de mineralen kunnen komen. Geen grote plakken, maar een fijne verdeling met een maximale diepte van doorgaans 10-20 cm is gewenst. De ratio C/N kan beïnvloed worden door bodemmanagement; aanvoer van geselecteerd organisch materiaal. Er zijn nog geen duidelijke richtlijnen voor het creëren van optimale situaties en hoe ermee om te gaan in de advisering.

Bodembewerking (zelfs ploegen) kan belangrijk voor zuurstof inbreng wanneer natuurlijke bodemprocessen daar onvoldoende toe in staat zijn (bijvoorbeeld door zware machines en gebrek aan bodemleven). Diep ploegen wordt weer afgeraden vanwege de verstoring van biologische bodemopbouw. Dat betekent wel dat er zuurstof inbreng moet plaatsvinden via een open structuur in de bodem: rulle grond, wormen en wortels.

De beste managementpraktijk moet verder worden ontwikkeld, zoals het "4J-voedingsbeheer": 1) juiste soort meststof, 2) juiste hoeveelheid, 3) juiste plaatsing en 4) juiste tijdstip. Daarnaast is het van belang om parallel bodemtesten in te zetten om, meer ondersteund van uit de conditie van de bodem, de meststof op deze wijze nog meer "gepast" op c.q. in de bodem aan te brengen.

Geconcludeerd wordt dat de biologische conditie van de bodem, bestaande uit meerdere kenmerkende aspecten, bepalend is voor een optimale gebalanceerde opname van voedingsstoffen door de gewassen. Met als gevolg een minimale belasting van het milieu door N en dus ook een maximale effectiviteit van de N-gift naar de bodem. Het kunnen beheren van de bodem met dit doel is de kern van het vraagstuk. Het verkrijgen van inhoudelijke kennis van die kenmerkende aspecten en van het proces om aan de hand daarvan de bodem te optimaliseren en te beheren is noodzakelijk.

5.2.4 Haalbaarheidsvraag 4: modelmatige verwerking

Zijn de uitkomsten van voorgaande drie haalbaarheidsvragen betrouwbaar modelmatig samen te vatten?

Deze vraag is ook uitgezet bij onze deskundigen; men heeft sterke twijfels of modellen als NDICEA, ROTASK en XCLNCE geschikt zijn om de biologische evenwichtssituatie te simuleren m.b.t. mineraliserend vermogen en meer specifiek over het bodemdeel van de stikstofkringloop. Men heeft nog het meest vertrouwen in het model RothC dat echter primair over de koolstof-turnover in de bodem gaat en zou dus uitgebouwd moeten worden met stikstof-afgeleiden van het model. Ook de opbouw en afbraak van organische stof op de lange termijn is een aspect van nader onderzoek. Een modelmatige verwerking vanuit dit project is weinig zinvol omdat begrippen als N_{\min} feitelijk zijn waarde ontlene aan kunstmest gedreven landbouw. Het feit dat N_{\min} een redelijk forse waarde moet hebben, en zo niet dan aangevuld moet worden geeft sterk te denken over het risico op nitraat-uitspoeling. Sterker nog, veel adviesbassissen geven aan dat bij sterke regenval meer stikstof moet worden toegediend omdat N_{\min} door uitspoeling te laag is geworden. Kortom, N_{\min} is ook een maat voor het risico op nitraat uitspoeling.

Het gaat te ver om hier de contouren te schetsen van een stikstofkringloop in de bodem gebaseerd op biologische reacties. Veel bouwstenen zijn bekend zoals de betrokken reacties en hun evenwichtsconstanten, hun gevoeligheden voor pH en cofactoren, hun affiniteit tot het substraat (grondstof van de reactie) en hun gevoeligheid voor feedback van eind- en tussenproducten. Ook is er veel kennis over de betrokken bacteriën en hun eigenschappen zoals gevoeligheid voor pH, temperatuur, vochtigheid etc. Waar het een en ander begint te haperen is kennis over de vitaliteit van bacteriegroepen en welke mate van biodiversiteit deze groepen nodig hebben om optimaal te functioneren. De exercities met de organische stof en stikstofbalansen in dit haalbaarheidsonderzoek zijn grofmazig zodat hier mee de gedetailleerde modellen niet kunnen worden verfijnd. Modellen vragen een meerjarig vervolgonderzoek. We kunnen een eind komen maar niet binnen het kader van deze haalbaarheidsstudie.

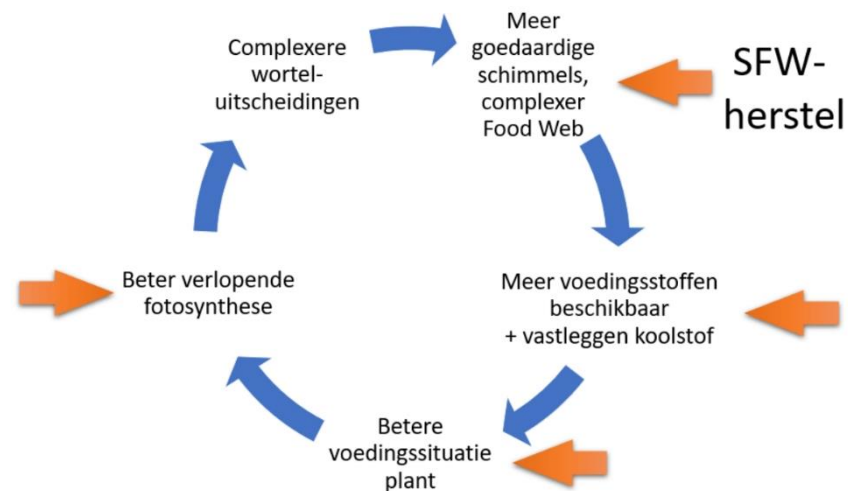
5.3 Discussie en conclusies; beoordeling overall haalbaarheid

We hebben veel gesproken over de bodem en de diverse haalbaarheidsvragen plus indicators daarvoor. De haalbaarheid om emissies van stikstof naar lucht en water fors te verminderen is groot en bestaat uit de volgende componenten:

1. Verminderen van de inzet van kunstmest die zowel tijdens de applicatie als tijdens de aanwezigheid in de bodem zeer gevoelig is voor emitteren. Kunstmest wordt niet in het biologisch systeem opgenomen behalve soms wat stikstof inbouw in bodemleven. De stikstof

uit de kunstmest wordt fysisch of chemisch gevangen (ureumachtige stoffen worden na een biologische reactie via het enzym urease afgebroken tot CO₂ en ammonium). Tevens is de zogenaamde gewasbehoefte getalsmatig een ervaringsfeit van kunstmest-bemestingsproeven en daarbij zijn de verliesposten ingecalculleerd. Derhalve zijn die getallen zeer waarschijnlijk te hoog voor een meer efficiënte manier van bemesting. Kunstmestvermindering kan naast emissiebeperking ook leiden tot een netto verlaagd stikstofgebruik.

2. Verhogen van de inzet van organische meststoffen met een samenstelling die gericht is op het voeden van de bodem en het gewas. Het gebruik van deze meststoffen geeft nauwelijks verliezen bij de applicatie en naarmate de bodem meer in een biologisch evenwicht komt zal de kans op emissies van nitraat naar grond- en oppervlaktewater richting de nul gaan. In de kern betekent dit biologische evenwicht dat de vraag van de plant m.b.t. nutriënten ingevuld wordt met een overeenkomstige hoeveelheid nutriënten. Een stabiel evenwicht laat ook zekere marges toe. Men dient zich goed bewust te zijn dat een transitie naar organische meststoffen en de daarbij noodzakelijke opbouw van de bodem naar een zeker biologisch evenwicht naar schatting 5 jaar duurt. Een systeem in opbouw zal ook geleidelijk zijn verliezen uit de bodem verminderen.



Figuur 7. RijkeBodem; de Soilfoodwebmethode

De *Soilfoodweb* methode (figuur 7) is gebaseerd op de inzichten van E. Ingham (VS). Bij de Soil Food Web (SFW) methode investeert men het eerste jaar stevig in het opbouwen van de juiste populaties bacteriën, schimmels, protozoa en nematoden. Tegelijk met het opbouwen van de populaties micro-organismen verbeteren de levensomstandigheden van de microben in de bodem. Een met micro-organismen rijk gedekte bodemtafel trekt weer de grotere spelers van het Soilfoodweb aan uit de omgeving. Na verloop van tijd kan de plant zelf de juiste microben laten groeien en onderhouden. Dan hoeft men alleen nog in te grijpen als het Soilfoodweb door externe omstandigheden uit balans raakt. Men stelt dat men op de meeste bodems en gewasteelten binnen relatief korte tijd kan profiteren van de aanpak van het Soil Food Web.

Wat begon als een argeloze sprong in het diepe, namelijk een rechttoe rechtaan redenering: als we minder nitraat en of ammonium in de bodem stoppen kan er ook minder emitteren, groeide uit tot een brede beschouwing over de stikstofkringloop in de bodem. Los van de inpassing van CBFs als een bron van organische meststoffen in de moderne landbouw vallen toch wel een aantal zaken op tijdens deze haalbaarheidsfase:

1. De vervlochtenheid van bodem microleven met het wortelstelsel van de plant in de vorm van een wortel-bioom vraagt om deskundigheid op dat vlak. De huidige bodemkundigen tonen zich tamelijk beperkt in deze. Het plantgedeelte wordt veelal afgedaan met bestaande referentiewaardes voor gewasbehoefte. De dynamische interactie tussen bodem en plant m.b.t. nutriënten is een blinde vlek. Deskundigen die bodem en plant beheersen en vooral ook de interactie tussen beide zijn hiervoor nodig; plant en bodem hebben in de context van organisch stofmanagement in de bodem een ecosysteem benadering nodig. Amerikaanse bodemkundigen/ecologen hebben reeds veel onderzoek verricht en lopen hierin voorop.
2. Wij stellen dat de bodem in een zeker biologisch dynamisch evenwicht moet verkeren om adequaat het gewas van nutriënten te voorzien. Daarbij wordt in de vraagkant van de plant adequaat door het aanbod van het bio-leven in de rhizosfeer voorzien. Dergelijke bodems zullen tegelijkertijd geen of nauwelijks verliezen van stikstof componenten naar de omgeving te vertonen.
3. Indien men CBFs gaat gebruiken zullen thans courante monitor-parameters en de waardering ervan worden toegepast. Dit gaat gegarandeerd problemen geven; de relatie gewasbehoefte en N_{min} is zo gebruikelijk, zo vanzelfsprekend dat de toekomstige introductie van CBFs hierdoor belemmerd wordt. Het gaat dus ook om een nieuwe *mindset*. Er zal bij de introductie van CBFs tegelijkertijd een nieuwe *toolbox* ontwikkeld moeten worden die aansluit bij een veranderende voeding van de plant.
4. Het afbreukrisico voor CBFs is aanzienlijk indien niet aan een aantal randvoorwaarden adequaat is voldaan, zijnde:
 - a. Schakelen van een meer gangbare akkerbouw naar een akkerbouw met CBFs (trouwens organisch meststoffen in het algemeen) betekent een transitieperiode van ca. 5 jaar om een zekere bodembalans te creëren. Deze transitie kan gepaard gaan met verliezen van N-componenten naar het milieu, echter de traditioneel genoemde productiedip is in recente proeven niet aangetoond. Dit laat zien dat verwachtingen

ook vaak gebaseerd zijn op gangbare wetmatigheden. Het is bekend dat de bodembiologie snel reageert op wijzigingen in organische bemesting echter, zoals gezegd, we hebben een zeker biologisch evenwicht nodig.

- b. De kennis over het wat en hoe van zo'n biologisch evenwicht en de meetbaarheid ervan zouden eigenlijk eerst bijeengebracht moeten worden. Dit zou niet moeten gebeuren in een jarenlang onderzoekstraject maar via een *expert-judgment*, waarvan de uitkomst getoetst zal moeten worden.
- c. Er dient een *toolbox* ontwikkeld te zijn waarvan is aangetoond dat deze adequaat gewas- en bodemactiviteit kan monitoren in relatie tot organische meststof toedieningen.

Opvallend is dat onder de deskundigen een bevestigende unanimiteit heerst over de stelling dat bemesting met organische meststoffen tot minder nitraatlek leidt, terwijl de praktijk inclusief erfbetreders en praktijkgericht onderzoek in hun eigen jargon blijven. Dit is een punt van zorg.



6 Aanbevelingen

De noodzaak en effectiviteit van de inzet van CBFs / organische meststoffen, ook ten behoeve van de vermindering van stikstof emissies naar het milieu, dient bredere bekendheid te krijgen binnen de akkerbouwdoelgroepen.

Gezien de maatschappelijk druk om stikstof emissies te reduceren achten wij het wenselijk om versneld de haalbaarheid van deze additionele functionaliteit te onderzoeken.

Men zou gerichter organische meststoffen moeten ontwikkelen; verschillend in biologische afbreekbaarheid, voedingswaarde voor het gewas, opbouw organische stof etc. Het gerichter ontwikkelen zou moeten aansluiten bij de kwaliteit, d.w.z. de biologische status, van de acceptorbodem.

Het proces om te komen tot een gezonde bodem is op basis van literatuur in hoofdlijn redelijk aan te geven maar de concrete praktische invulling daarvan ten nutte van de landbouwpraktijk moet nader ontworpen worden.

De ontwikkeling van een adequate *toolbox* om de bodemtransities te monitoren, en dus ook effectiever te kunnen sturen, inclusief nieuwe te ontwikkelen referentiewaarden is noodzakelijk.

Daarbij dienen primair een (beperkt) aantal kern of sleutel indicatoren onderzocht en aangewezen te worden. Vervolgens dienen ook de bijbehorend meetmethoden aanwezig te zijn dan wel ontwikkeld te worden.

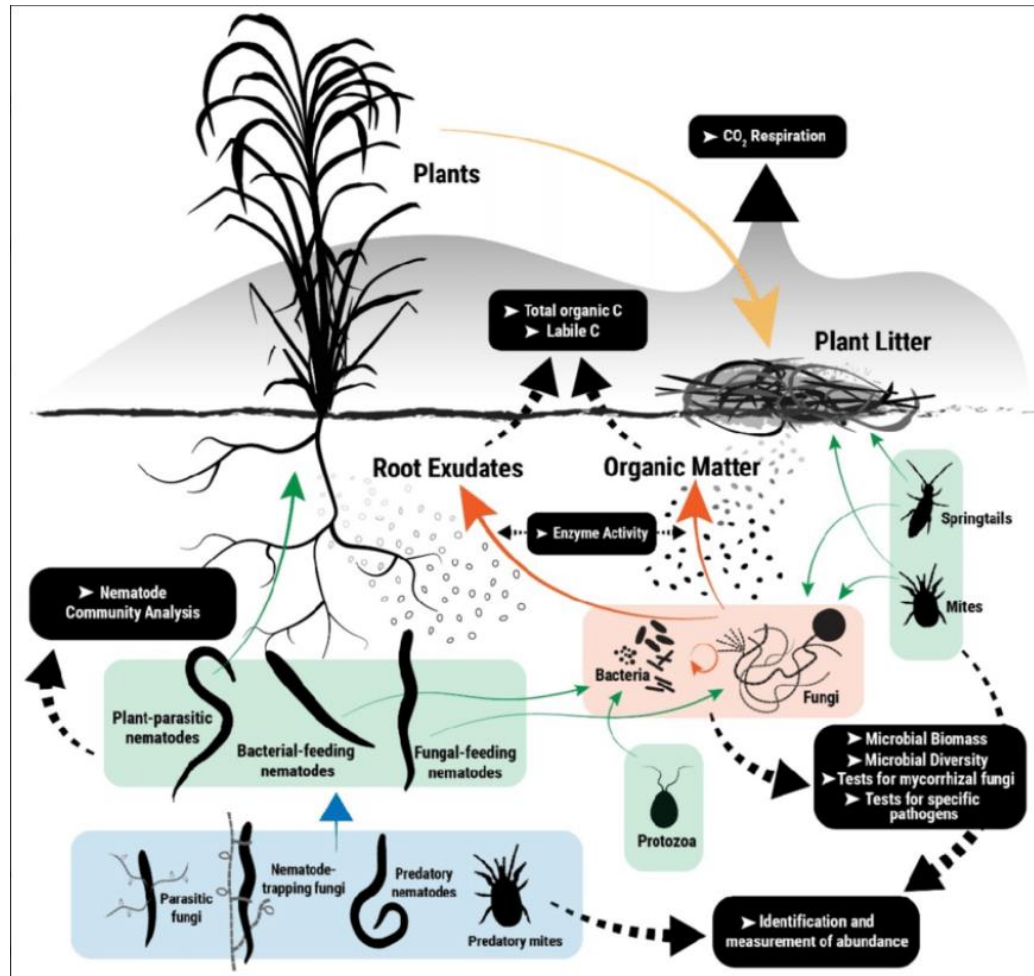
Er dient op korte termijn een of meerdere demo's ontworpen te worden waarbij diverse typen deskundigen in een klankbordgroep zouden moeten zitten (integratie van disciplines). Alvorens de demo's te starten is consensus over voorgaande conclusies en aanbevelingen noodzakelijk. Dat dient zich dan te vertalen in een keuze voor procesparameters en concrete aanpak. De demo's omvatten meerdere jaren om de effecten in de bodem en in het gewas (opbrengst) te kunnen waarnemen.

Bijlagen

Bijlage 1. Vervluchtigingspercentages en werkingscoëfficiënt stikstof van kunstmeststoffen en organische mest

Overzicht Vervluchtigingspercentages en Werkingscoëfficiënt Stikstof Kunstmeststoffen en Organische mest				
Stofnaam	Stikstofgehalte (%)	Vervluchtigingspercentage van stikstofgehalte (%)	Opmerkingen	Werkingscoëfficiënt cf. het verplichte bemestingsplan tov totaal N de kunstmest
Kunstmeststoffen				hier zit een discrepantie met het vervluchtigen van de kunstmest - prairie: W=100% - vervl. %
Ammoniumnitraat	18	5,2		100%
Ammoniumsulfaat	21	11,3		100%
Ammoniumsulfaatsoort er ASS	26	8,2		100%
Anasol (am.nitrat, amm.sulfaat en SO3)	15	8,2		100%
Chisaalpetor (NH4NO3)	28			100%
Diammoniumsulfaat	21	7,4		100%
Gemengde stikstofmeststof		2,5		100%
Kalialpeter (KNO3/K2O/NO3)	15,5			100%
Kalkammoniaalpetor CaCO3/NH4NO3	27	2,5		100%
KAS				
Kalkalpetor (Calcium-nitraat)	15,5			100%
Nitroammonium-sulfaat	12	7,4		100%
NZ3 stikstof mest	23			100%
Overige NPK- en NK-meststoffen		4,5		100%
NK 16+0+30	16	4,5		100%
Stikstof-sulfaat-kali-magnesium-meststoffen	12	2,5		100%
Stikstofmagnesia	21	2,5		100%
Poewerf Fut 240 11+31+6 (ammonium en ureum)	11		9 vloeibaar, blad met de veldsoort	100%
Poewerf Quatro plus/6/10 (ureum)	18		15 blaasde mest met micro-nutrienten	100%
Poewerf Granada	12		27 met coating; bio-stimulanten, -aminozuren, Triptofaan en Methionine die zorgen voor een actieve en snelle werkvorming, micro-nutrienten toevoegd	100%
Spulwater (ammoniumsulfaat)	4		4 gemiddeld 4 soms 8%	100%
Ureum (NH2)2CO	46		15 Amidvorm, 0% ammonium, maar wel vervluchtigend; bij droge klei eind tot 20%	100%
Ureum - ureum ammonium nitraat	50		9 ureum is vrijwel altijd	100%
Vloeibaar			vloeibaar toevoegt	
Vloeibare ammoniak	82	2,3		100%
Zwavel geconcentreerd ureum	37	7,1		100%
Vloeibaar UREA-N 50% Ureum - 25% Ammonium - 25% Nitraat	30	9		100%
Organische meststoffen	kg/ton	% van de TAN (NH3+NH4+)		
gritgroen compost	metwaarde 5	0,5	volledig uitger	1,5%
damppost	metwaarde 7	0,5	idem	2,5%
bolkeste	metwaarde 2	2	heeft zuur karakter	15-50%
slootmest	metwaarde 2	0,1		35-60%
bemestingsmest	metwaarde 2	0,1		15-30%
vast Runder-Paarden-Gedreemest	metwaarde 6-10	46 tot 100	uitgerijpte mest 40%, verse mest 100%	klei/veen 0%
vaste mest variëns	metwaarde 8	34		zaai/oss 40%
drijmest variëns	metwaarde 4-8	5 tot 50	0% bij injectie, 20% bij onderwerken, 50% bij oppervlakkig aanbrengen	klei/veen 60%
drijmest rund	metwaarde 4	5 tot 50		zaai/oss 50%
natte fractie drijmest	metwaarde 4-6	60		80%
koppendrijmest	metwaarde 4-6	4 tot 36	4% bij onderwerk	60% (h-totaal)

Bijlage 2. Schematische weergave van het bodemvoedselweb



Bijlage 3. Tabel kengetallen gewasresten

Gewasrest	OS	H.C. ¹	EOS	na 5 jaar ²		na 10 jaar ²		C/N
	(kg/ha)	(fractie)	(kg/ha)	(kg/ha)	(fractie)	(kg/ha)	(fractie)	
Blauwmaanzaad	3475	0,33	1150	325	0,09	205	0,06	
Bruine boon (incl. loof)	2870	0,23	650	155	0,05	95	0,03	
Consumptieaardappel	2100	0,21	450	100	0,05	60	0,03	24
Cichorei	2515	0,24	600	145	0,06	90	0,04	
Conserve-erwt	4570	0,22	1000	230	0,05	145	0,03	15
Grasland, eenjarig	4000	0,29	1175	310	0,08	195	0,05	24
Grasland, tweejarig	8000	0,32	2575	720	0,09	455	0,06	24
Grasland, driejarig	12000	0,33	3975	1125	0,09	715	0,06	23
Graszaad, 1e jaars Engels raaigras, hooi afgevoerd ³	3300	0,30	1000	265	0,08	165	0,05	27
Graszaad, 1e jaars Engels raaigras, hooi achtergelaten	7900	0,24	1900	455	0,06	285	0,04	
Graszaad, 2e jaars Engels raaigras, hooi afgevoerd ³	3850	0,31	1200	325	0,08	205	0,05	28
Graszaad, 2e jaars Engels raaigras, hooi achtergelaten	8450	0,25	2100	520	0,06	325	0,04	
Haver, stro afgevoerd	5000	0,31	1570	430	0,09	275	0,05	75
Haver, stro achtergelaten	8000	0,31	2470	675	0,08	425	0,05	75
Karwij	4000	0,32	1275	355	0,09	225	0,06	20
Knolselderij (incl. loof)	4150	0,24	1000	240	0,06	150	0,04	17
Koolzaad	3000	0,33	975	275	0,09	175	0,06	20
Korrelmaïs	7900	0,30	2400	630	0,08	395	0,05	47
Lelie	1850	0,30	560	150	0,08	95	0,05	37
Luzerne, eenjarig	3000	0,45	1350	465	0,15	305	0,10	13
Luzerne, tweejarig	5000	0,41	2050	660	0,13	430	0,09	13
Pootaardappel	3000	0,22	650	155	0,05	95	0,03	20
Schorseneer	2400	0,25	600	145	0,06	90	0,04	25
Snijmaïs	2400	0,33	800	225	0,09	140	0,06	58
Spinazie	1285	0,23	300	70	0,06	45	0,03	13
Stamslaboon (incl. loof)	2870	0,23	650	155	0,05	95	0,03	20
Suikerbiet (incl. kop en blad)	4000	0,21	850	190	0,05	115	0,03	22
Spruitkool (incl. stam)	6700	0,30	2000	535	0,08	335	0,05	18
Triticale	5000	0,31	1570	430	0,09	275	0,05	75
Tulp (excl. strodek)	1700	0,30	505	135	0,08	85	0,05	37
Vezelvas	300	0,33	100	30	0,09	20	0,06	25
Winterpeen	2400	0,29	700	185	0,08	115	0,05	28
Wintergerst, stro afgevoerd	5950	0,32	1900	525	0,09	335	0,06	68
Wintergerst stro achtergelaten	8550	0,31	2650	720	0,08	455	0,05	68
Winterrogge, stro afgevoerd	4800	0,31	1500	410	0,09	260	0,05	75
Winterrogge stro achtergelaten	8200	0,31	2520	685	0,08	430	0,05	75
Wintertarwe, stro afgevoerd	6550	0,32	2100	580	0,09	365	0,06	61
Wintertarwe stro achtergelaten	9850	0,31	3100	830	0,08	525	0,05	61
Witlofwortel	2625	0,23	600	140	0,05	85	0,03	30
Zaaiui	1400	0,21	300	65	0,05	40	0,03	20
Zetmeelaardappel	3700	0,22	800	190	0,05	115	0,03	16
Zomergerst, stro afgevoerd	4400	0,32	1400	390	0,09	245	0,06	65
Zomergerst stro achtergelaten	6500	0,31	2000	545	0,08	345	0,05	65
Zomertarwe, stro afgevoerd	5600	0,32	1800	495	0,09	315	0,06	61
Zomertarwe stro achtergelaten	8800	0,31	2750	740	0,08	465	0,05	61

1 H.C. = humificatiecoëfficiënt: de fractie die één jaar na toediening van het vers organisch materiaal nog over is in de bodem.

2 De hoeveelheid die 5 en 10 jaar na toediening van het vers organische materiaal nog over is in kg per ha en als fractie van de beginhoeveelheid.

3 De hoeveelheid (E)OS direct na de oogst van het zaad en het hooi. Als men het gras laat hergroeien en inwerkt als groenbemester, wordt er extra (E)OS aangevoerd. Hiervoor kan voorlopig de aanvoer van een grasgroenbemester worden gerekend.