



---

# Effecten van landbouwkundige maatregelen op organische stof-, stikstof-, en fosfaatbalansen

Een analyse vanuit de systeemprouven van de PPS Beter Bodembeheer

Auteurs | Bart Timmermans, Geert-Jan van der Burgt, Burret Schurer, Natalie Bakker, Paulien van Asperen, Marjoleine Hanegraaf

WPR-OT 1032



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

# Effecten van landbouwkundige maatregelen op organische stof-, stikstof-, en fosfaatbalansen

Een analyse vanuit de systeemprouven van de PPS Beter Bodembeheer

Auteurs Bart Timmermans<sup>2</sup>, Geert-Jan van der Burgt<sup>3</sup>, Burret Schurer<sup>2</sup>, Natalie Bakker<sup>2</sup>, Paulien van Asperen<sup>1</sup>, Marjoleine Hanegraaf<sup>1</sup>

1 Wageningen University & Research

2 Louis Bolk Instituut

3 SPNA

Dit onderzoek is in opdracht van de Topsector Agri & Food uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), in het kader van de PPS Beter Bodembeheer (TKI-AF-16064/BO-56-001-005).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, september 2023

---

Rapport WPR-OT-1032

---

Timmermans, B.G.H, G.J. van der Burgt, B.L.M. Schurer, N.L. Bakker, P. van Asperen, M.C. Hanegraaf, 2023.  
*Effecten van landbouwkundige maatregelen op organische stof-, stikstof-, en fosfaatbalansen;*  
Rapport WPR-OT-1032. 77 blz.; 20 fig.; 29 tab.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/637626>

Dit rapport beschrijft het effect van maatregelen op de organische stof-, stikstof- en fosfaatbalansen in de systeemproeven Planty Organic, Bodemkwaliteit Veenkoloniën, BASIS en Bodemkwaliteit op Zand. De geselecteerde maatregelen betreffen verschillende vormen van organische stof aanvoer, en type bodembewerking. Berekeningen zijn gedaan met het model NDICEA. Het onderzoek is uitgevoerd binnen de kaders van de PPS Beter Bodembeheer.

Trefwoorden: organische stof balans, stikstof, fosfaat, benutting, systeemproeven

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 – 29 11 11; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem  
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

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

Rapport WPR-OT-1032

Foto omslag: WUR Beeldbank

Reviewer: Janjo de Haan

---

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Introductie	9
1.2 Werkwijze op hoofdlijnen	10
1.3 Toelichting op NDICEA	10
1.4 Leeswijzer	11
<b>2 Toepassing van NDICEA</b>	<b>12</b>
2.1 Beschrijving van enkele specifieke modelonderdelen	12
2.1.1 Initiële organische stof en stikstof pools	12
2.1.2 NDICEA en effectieve organische stof	12
2.1.3 N-mineralisatie, -vastlegging, -efficiëntie	13
2.1.4 Grondbewerking	14
2.1.5 Fosfaat	14
2.2 Initialisatie en validatie	15
2.2.1 Initialisatie van de bodem organische stof	15
2.2.2 Validatie van perceel scenario's en constructie van vruchtwisseling scenario's	16
<b>3 Geselecteerde systeemprouven</b>	<b>18</b>
3.1 Systeemprouf Planty Organic (Munnekezijl, Friesland)	18
3.2 Systeemprouf Bodemkwaliteit Veenkoloniën BKV (Valthermond, Drenthe)	18
3.3 Systeemprouf BASIS (Lelystad, Flevoland)	19
3.4 Systeemprouf Bodemkwaliteit Zand (Vredepeel, Limburg)	19
<b>4 Geselecteerde maatregelen</b>	<b>21</b>
4.1 Focus op organische stof maatregelen	21
4.2 Maatregel: organische stof aanvoer	21
4.2.1 Maaimeststof	21
4.2.2 Compost	22
4.3 Maatregel: NKG	22
4.4 Combinatie van maatregelen	23
4.4.1 Opbrengstgericht	23
4.4.2 Koolstofvastlegging	23
<b>5 Resultaten</b>	<b>24</b>
5.1 Systeemprouf Planty Organic	24
5.1.1 Validatie	24
5.1.2 Organische stof dynamiek zonder externe aanvoer van OS	25
5.1.3 Organische stof dynamiek met externe aanvoer van OS: Mest	28
5.1.4 Organische stof dynamiek met externe aanvoer van OS: Compost	29
5.1.5 Stikstof dynamiek	30
5.1.6 Fosfaat	31
5.2 Systeemprouf Bodemkwaliteit Veenkoloniën (BKV)	33
5.2.1 Validatie	33
5.2.2 Organische stof	34
5.2.3 Stikstof dynamiek	37
5.2.4 Fosfaat	39

---

5.3	Systeemproof BASIS	40
5.3.1	Validatie voor maatregel NKG	40
5.3.2	Organische stof balans voor maatregel NKG	40
5.3.3	Stikstof dynamiek voor maatregel NKG	41
5.3.4	Organische stof dynamiek voor maatregel OS aanvoer: Maaimeststof (MMS)	41
5.3.5	Stikstofbalans voor maatregel OS aanvoer: Maaimeststof (MMS)	42
5.3.6	Fosfaatbalans voor maatregel OS aanvoer: Maaimeststof (MMS)	43
5.3.7	Organische stof dynamiek en N- en P-balans voor maatregel OS aanvoer: compost	44
5.4	Systeemproof Bodemkwaliteit Zand (BKZ)	45
5.4.1	Validatie voor de maatregel NKG	45
5.4.2	Organische stof dynamiek voor de maatregel NKG	45
5.4.3	Stikstofbalans voor de maatregel NKG	45
5.4.4	Fosfaatbalans voor de maatregel NKG	46
5.5	Samenvattend overzicht OS- N- en P-balansen	46
<b>6</b>	<b>Discussie</b>	<b>49</b>
6.1	Introductie	49
6.2	Reflectie op de resultaten uit het onderzoek	49
6.2.1	Effect van uitsluitend intern OS-aanvoer op de OS-N-P balansen	49
6.2.2	Externe aanvoer in de LTE vergelijkingen.	50
6.2.3	Externe OS-aanvoer algemeen	51
6.2.4	Behoeftte aan OS-aanvoer verlagen door maatregel NKG	52
6.2.5	OS-aanvoer en N-dynamiek	52
6.2.6	N-aanvoer door vlinderbloemigen; vrijheidsgraad van stikstof	53
6.2.7	Perceel-interne N- en P-stromen	53
6.2.8	Afweging gebruik grasklaver: verkoop of MMS	54
6.2.9	Organische-stofbalansberekening: methodiek	55
6.2.10	Kringlopen sluiten	56
6.2.11	Onzekerheid bodem organische-stofmetingen	56
6.2.12	Initialisatie van NDICEA	56
6.3	Algemene beschouwing	56
6.3.1	OS-balans en N- en P-benutting	56
6.3.2	Samenvatting belangrijke bevindingen	58
6.4	Antwoorden op de kennisvragen	59
6.4.1	Nutriëntenbalansen	59
6.4.2	Sluiten van kringlopen	60
6.4.3	Koolstofvastlegging	61
6.4.4	Integrale optimalisatie	62
6.4.5	Overige vragen	62
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>65</b>
7.1	Conclusies	65
7.2	Aanbevelingen	65
<b>Literatuur</b>		<b>67</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Overzicht beschikbare data systeemprouven</b>	<b>70</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>NDICEA beschrijving</b>	<b>71</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Balanscijfers uit NDICEA</b>	<b>73</b>



---

# Voorwoord

Dit rapport bevat een integrale interpretatie van organische stof-, stikstof- en fosfaatbalansen van teeltsystemen in de akkerbouw. De focus is een vergelijking van landbouwkundige maatregelen om de bodemkwaliteit te verbeteren bij minimaal gelijkblijvende gewasproductie. De berekeningen zijn gemaakt op basis van gegevens van de lange termijn systeemprouven BASIS, Bodemkwaliteit Valthermond (BKV), Bodemkwaliteit op Zand (BKZ) en Planty Organic. Hierbij is gebruik gemaakt van het rekenmodel NDICEA en verschillende teeltscenario's.

Graag bedanken we de mensen die deze studie mede mogelijk hebben gemaakt, om te beginnen de verantwoordelijken voor de proeven die de data beschikbaar hebben gesteld en onze vragen hebben beantwoord over de achtergrond van verschillen tussen de maatregelen. Veel dank aan Ton Hendricks (CZAV) en Conno van Dam (Van Iperen), die namens de stuurgroep en als partner vanuit de PPS Beter BodemBeheer nauw betrokken supervisie gaven aan deze studie. Hun inspiratie en vakkennis hebben beslist bijgedragen aan het welslagen ervan. Tot slot dank aan Janjo De Haan (WUR) voor het reviewen van het rapport.

Marjoleine Hanegraaf, projectleider

---

# Samenvatting

De PPS Beter Bodembeheer was van meet af aan gericht op het benoemen en kwantificeren van mogelijke effecten van landbouwkundige maatregelen op de bodemkwaliteit. Hierover zijn diverse studies verschenen. Integrale effecten van bodemaanpak op de organische stof (OS)-, stikstof (N)- en fosfaat (P)-balansen van teeltsystemen zijn echter nog weinig onderzocht. Dit rapport beoogt in deze leemte te voorzien.

De studie betrof modelberekeningen van OS-, N- en P-balansen in akkerbouwmatige teeltsystemen, waarbij een vergelijking is gemaakt van landbouwkundige maatregelen om de bodemkwaliteit te verbeteren. De interpretatie was met name gericht op de onderlinge samenhang van de balansen. Concreet doel van deze studie was de beantwoording van kennisvragen, waaronder:

1. Welke mate van N- en P-benutting wordt in de diverse systeemprouwen behaald en wat is de relatie met de OS-balans?
2. Welke mogelijkheden zijn er om kringlopen van nutriënten te sluiten in combinatie met een goed management van OS?
3. Is de gekozen benadering ook relevant voor het perspectief van koolstofvastlegging in minerale bodems?
4. Hoe kan een integrale optimalisatie van de drie balansen worden opgepakt?

De balansberekeningen zijn gemaakt met het rekenmodel NDICEA en verschillende teeltscenario's, op basis van gegevens van de lange termijn systeemprouwen BASIS (zavelgrond), Bodemkwaliteit Valthermond (BKV, dalgrond), Bodemkwaliteit op Zand (BKZ) en Planty Organic (kleigrond). De maatregelen die zijn doorgerekend hebben betrekking op de organische stof toestand van de bodem, wat betreft de aanvoer van organische stof (compost, maaimeststoffen) en/of de bodembewerking (niet-kerend vs. ploegen). Naast de afzonderlijke maatregelen zijn enkele combinaties van maatregelen doorgerekend. De berekeningen zijn gemaakt met de nieuwste inzichten wat betreft initialisatie en validatie in NDICEA. De N-efficiëntie is op twee manieren berekend: klassiek (N-afvoer/N-aanvoer; N-efficiëntie (1)) en rekening houdend met de opbouw van organische N in de bodem (N-efficiëntie (2)).

Onderstaande tabel geeft een samenvattend overzicht van de balansuitkomsten van de modelberekeningen.

De uitkomsten voor Planty Organic lieten onder meer zien dat er bij uitsluitend interne aanvoer sprake is van een minieme daling van de OS ( $-21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ), een N balans van  $27 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ , wat resulteert in een verlies van  $25 \text{ kg N}$  en een opbouw van bodem-N van  $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Door extra aanvoer van compost op basis van P-evenwicht in de balans is de OS balans sterk positief, het N-verlies iets groter ( $27$  in plaats van  $25$ )  $\text{kg}$ ) en de N-opbouw aanzienlijk groter ( $54$  in plaats van  $6$ ). De P-balans is dan nul. De uitkomsten voor BKV lieten onder meer zien dat aanvoer van compost de opbouw van OS en bodem-N aanzienlijk vergrootte maar ook de verliezen omdat de opbrengst nauwelijks beïnvloedt werd. Het fosfaatoverschot nam sterk toe. De uitkomsten voor BASIS lieten onder meer zien dat extra compost een sterk effect had op alle vier de parameters uit de tabel; alle overschotten namen toe. De opbrengst werd nauwelijks beïnvloed. Extra toevoer van MMS had deels een vergelijkbaar effect als compost, met één belangrijk verschil. Omdat de afbraak van MMS veel sneller verliep dan bij compost was de bijdrage aan OS opbouw en de bodem-N veel lager, maar waren de verliezen relatief hoger. De uitkomsten voor BKZ lieten zien dat de N-verliezen iets afnamen en dat de opbouw van bodem-N iets toenam.

Bij de beantwoording van de eerste kennisvraag naar de relatie van N- resp. P-benutting met de organische stofbalans bleek deze relatie niet eenduidig te zijn. Bij Planty Organic 2012-2020 was sprake van evenwicht op de OS-balans ('absolute balans') zonder enige externe aanvoer of terugvoer naar de grond, dus alleen interne OS. Dit ging gepaard met een negatieve balans voor P maar niet voor N. Bij een absolute P-balans door aanvoer van groencompost (vanaf 2021) zou het OS gehalte naar verwachting stijgen, maar zonder op korte termijn noemenswaardige verhoging van de opbrengsten. De N-efficiëntie (1) zou sterk dalen, maar dit gaf een misleidend beeld omdat N in bodemopbouw als verliespost wordt meegerekend. N-efficiëntie (2) zou bij toevoeging van compost in het systeem van Planty Organic nagenoeg gelijk blijven. Bij de andere systemen speelt historie en actueel landgebruik een rol in de OS balans. Bij BKV en BASIS leek de bodemsituatie te leiden tot een (nog) afnemend OS gehalte, gepaard gaand met N-vrijstelling. Bij BKZ leek sprake van een lichte stijging van het OS gehalte, dus een deel van de toegevoerde N (en P) werd daarin

vastgelegd. Dat leidde tot een hogere N-efficiëntie (2): een deel van de aangevoerde N kwam terecht in de bodem organische stof en is niet verloren gegaan.

**Tabel**      *Overzicht balansoverschotten en -tekorten van geselecteerde maatregelen in geselecteerde systeemprouven (in kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, berekend over 12 jaar).*

Maatregel	Systeem	Planty Organic	BKV	BASIS	BKZ
Referentie	OS	33	-428	-3906	-312
	N	27	75	48	117
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33	-6	11	-1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aanvoer: VGM i.p.v. MMS	OS	-125			
	N	*1			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aanvoer: RDM i.p.v. MMS	OS	-13			
	N	*1			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33			
OS aanvoer Compost		12 ton	10 ton	20 / 40 ton	10 ton
	OS	1650	1713	-2727 / -1555	713
	N	75	195	149 / 256	160
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3	14	71 / 131	20
OS aanvoer MMS *2				laag / hoog	
	OS			1272 / 2335	
	N			35 / 62	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			20 / 33	
NKG *3	OS	665	-425	-3339	-100
	N	37	71	48	131
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33	-8	11	12
Tagetes i.p.v. Gerst + groenbemester	OS		-519		
	N		76		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		-6		

\*1 In Planty Organic is bij vervanging van maaimeststoffen (MMS) door runderdrijfmest (RDM) of vaste geitenmest (VGM) volgens de modelberekeningen te weinig stikstof beschikbaar om de veronderstelde opbrengst te kunnen halen. Dan is er geen uitspraak meer mogelijk over de N-dynamiek.

\*2 Bij BASIS is het effect van MMS niet over de volle scenario lengte berekend. De getallen hier hebben betrekking op 4 jaar en zijn de waarden t.o.v. geen MMS aanvoer in vier jaar.

\*3 Bij Planty organic is NKG de referentie, bij de andere proeven is ploegen of spitten de referentie.

Bij de beantwoording van de tweede kennisvraag is ingegaan op de mogelijkheden om kringlopen te sluiten door reststromen, al dan niet in bewerkte vorm, terug te voeren naar de akker. Het kan hierbij gaan om organische reststromen met daarin diverse nutriënten in verschillende verhoudingen, maar ook is er een optie om reststromen 'uit elkaar te halen' en de nutriënten afzonderlijk als meststof terug te brengen naar de akker. In een maximaal kringloopconcept kunnen vele nutriënten teruggevoerd worden naar de akker, maar voor stikstof en organische stof is dat niet het geval. Deze twee kunnen echter op de akker zelf aangevuld worden door N-binding en OS-creatie. Het gemiddelde OS-gehalte van de Nederlandse akkerbouwgronden lijkt langjarig stabiel maar drijft daarbij op een aangevoerde hoeveelheid organische stof die door import van veevoer uitstijgt boven wat in Nederland zelf geproduceerd wordt. Een strikt kringloopconcept van



---

veehouderij en akkerbouw zou bij verder ongewijzigde aanpak te maken kunnen krijgen met verminderde aanvoer van organische stof en tot een daling van het OS-gehalte. Mogelijk kan de retourstroom van OS uit de maatschappij worden verhoogd.

De beantwoording van de derde kennisvraag liet zien dat bevindingen uit het klimaatonderzoek ook een positieve bijdrage kunnen leveren (win-win). Echter, geen enkele van de onderzochte maatregelen leidde altijd tot een win-win. In plaats daarvan moest er voor de win-win gezocht worden naar combinaties van maatregelen. De resultaten uit de systeemproeven lieten zien dat het gaat om de balans tussen interne en externe aanvoer van organische stof. Bij te veel focus op alleen de interne maatregelen dreigden hoge kosten en op lange termijn een achteruitgang van bodemvruchtbaarheid. Maar bij te veel focus op externe maatregelen dreigden verliezen van N en P en onevenwichtige ophoping van enkele andere nutriënten.

Bij de beantwoording van de vierde kennisvraag naar een aanpak om balansen integraal op te pakken werden meerdere opties genoemd. Een eerste optie zou kunnen zijn om in rekenmodellen het opstellen van de organische stof balans en de N- en P-balansen in elkaar te schuiven. Effecten van keuzes worden dan meteen zichtbaar, zowel in de afzonderlijke balansen als in de verandering in de OS:N:P overschotten. Een tweede optie betreft het combineren van maatregelen, bijvoorbeeld door het introduceren van een cascade-benadering bij de selectie van maatregelen. Stikstof en organische stof kunnen op het eigen veld gegenereerd worden, de andere nutriënten zijn afhankelijk van kringloopstromen of meststoffen. Een derde optie zou kunnen zijn om het voorgaande in een dynamisch model te incorporeren om met name de N-beschikbaarheid voor opname te kunnen matchen met de N-behoefte (in de tijd) van gewassen. Naarmate er meer stikstof vanuit afbraak van organische stof beschikbaar komt – ten opzichte van direct uit (kunst)mest – wordt het tijdsaspect belangrijker. Dit tijdsaspect – inzicht in met name de N-levering uit afbraak van recent en langer geleden toegediende OS – is sowieso van belang om de OS-N-P-balans verder te kunnen verbeteren. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Introductie

De PPS Beter Bodembeheer is in algemene zin gericht op het benoemen en kwantificeren van mogelijke effecten van landbouwkundige maatregelen op de bodemkwaliteit. Hiertoe is praktijkonderzoek uitgevoerd, onder andere in systeemprouven waarin over een periode van verschillende aantallen jaren de bodemkwaliteit en gewasproductie zijn gemeten. Dit betreft de WUR-systeemprouven BASIS, Bodemkwaliteit op Zand (BKZ), Bodemkwaliteit op dalgrond (BKV) en het langjarige experiment van SPNA, Planty Organic. In de eerste periode van de PPS lag de focus op effecten van bodemmaatregelen op de opbouw van de bodem organische stof en de stikstofverliezen (De Haan en anderen 2018ab, 2020; Van der Burgt en anderen, 2021. Van der Burgt & Hanegraaf, 2021). Aanpalend onderzoek naar de trends in organische stof in het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen liet zien dat hierbij, bezien over een tienjarige periode, sprake was van regionale verschillen, als gevolg van een combinatie van factoren waaronder bodem, rotatie, organische bemesting en klimaat (Vervuurt en anderen, 2021).

Wat de conclusies van voorgaande analyses echter betekenen voor het integrale organische stof- en mineralenmanagement van de open teelten ten behoeve van gewasproductie, bodemkwaliteit en klimaatadaptatie, is nog weinig onderzocht. De eerste bevindingen uit de integrale analyse over de resultaten van de periode 2017 – 2020 lieten zien dat zowel win-win als trade-offs tussen de effecten van maatregelen voorkomen (Selin Norén en anderen, 2021). Uit de kwantitatieve analyse op maatregelniveau blijkt dat de maatregel NKG op kleigrond een positieve bijdrage kan leveren aan de functies waterregulatie en -zuivering en habitat voor biodiversiteit. Op de productie werd echter geen eenduidig effect gevonden (van Balen en anderen 2023). Op zand- en dalgrond bleek de maatregel juist een positief effect te kunnen sorteren op de productie en de recycling van nutriënten. Echter een effect op waterregulatie en -zuivering werd niet aangetoond. De maatregel compost toediening bleek op beide grondsoorten tot positieve effecten te kunnen leiden wat betreft de koolstofvastlegging. Onkruidbeheersing en de productiviteit van fijnzadige gewassen werden hierbij als knelpunt aangemerkt.

Dit rapport gaat dieper in op de samenhang in de organische stof- (OS), stikstof- (N), en fosfaat- (P) balansen van enkele systeemprouven en bodemgerichte landbouwkundige maatregelen. Doel hiervan is het afleiden van integrale kennis en inzichten ten behoeve van praktijk en beleid.

### *Kennisvragen*

Om de OS, N, en P- balansen in samenhang te kunnen bekijken wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van scenarioberekeningen op basis van de datasets van systeemprouven waarin verschillende maatregelen, waaronder die voor OS-management, zijn getoetst. In voorgaand onderzoek zijn deze systeemprouven al gedeeltelijk doorgerekend met het model NDICEA (Van der Burgt en Hanegraaf, 2021). Het onderhavige onderzoek is een vervolg hierop en is gericht op het analyseren van OS, N en P-balansen met dit model en zo nodig aanvullende berekeningen. Hierbij komen de volgende kennisvragen aan de orde:

1. Welke mate van N- en P-benutting wordt in de diverse systeemprouven behaald en wat is de relatie met de OS-balans?
2. Welke mogelijkheden zijn er om kringlopen van nutriënten te sluiten in combinatie met een goed management van OS?
3. Is de gekozen benadering ook relevant voor het perspectief van koolstofvastlegging in minerale bodems?
4. Hoe kan een integrale optimalisatie van de drie balansen worden opgepakt?

Vanuit kennisleemtes voorkomend uit voorgaand werk, zoeken we daarnaast antwoord op enkele specifieke vragen:

- a. Wat is het beginpunt bij het opstellen van een trendlijn organische stof? Hoe kan in NDICEA een goede initialisatie worden gemaakt?

- b. Hoe ziet een voortschrijdende N-balans eruit? Hoe kan onderscheid gemaakt worden in N die verloren gaat en N die in bodem organische stof wordt vastgelegd en in volgende jaren bijdraagt aan de N-dynamiek?
- c. Welke variatie bestaat er in de onttrekking van P uitgaande van verschillende productieniveaus?

## 1.2 Werkwijze op hoofdlijnen

In Nederland zijn er enkele lange termijn systeemprouven (LTE's) voor de open teelten. Bij elkaar genomen gaat het om verschillende agronomische systemen in verschillende regio's met verschillende bodems. De eerste overweging voor de keuze hieruit was het type maatregel dat in de LTE werd getoetst. Gezien het doel van deze studie was een vereiste dat maatregelen rondom de organische stof toestand in de bodem werden toegepast, zoals aanvoer van organische stof en niet-kerende grondbewerking. Tweede overweging was de voorkeur voor LTE's waarover minder is gepubliceerd boven LTE's waar dit wel het geval is, zoals voor Mest als Kans (MAK) en Bodemkwaliteit op Zand (BKZ). Als derde overweging gold de beschikbaarheid van data en gearchiveerde monsters voor eventuele vervolganalyse (*Bijlage 1*). Op grond van deze criteria is de focus gelegd bij de systeemprouven Planty Organic (PO), BASIS, Bodemkwaliteit Veenkoloniën (BKV) en Bodemkwaliteit op Zand (BKZ).

In *Tabel 1* is een overzicht opgenomen van de thema's (Maatregelen) die op de verschillende locaties in dit onderzoek betrokken zijn. Groenbemesters en het inwerken van stro – twee maatregelen gericht op onder andere verhoging van het organische stof gehalte – zijn op alle locaties aan de orde maar niet specifiek in vergelijkingen onderzocht. Vruchtwisseling is een sterk bepalende factor voor OS (Koopmans en anderen 2020, Schepens en anderen 2022, ) maar is binnen dit onderzoek slechts op één locatie in vergelijking aanwezig. Maaimeststoffen (MMS) liggen aan de basis van het systeem in Planty organic en zijn onderdeel van BASIS.

**Tabel 1**      *Overzicht van onderzochte maatregelen.*

Systeem	Maatregel								Basis voor de vergelijking
	GB/Bio	Vrucht-wisseling	MMS	Stro	Groen-bemester	Grond-bewerking	Compost	Overig	
Planty Organic	Bio		O	+	+	O	O		Scenario's
BASIS	GB/Bio		O	+	+	O	O		Meetgegevens
BKV	GB/Bio	O		+	+	O		O	Meetgegevens
BKZ	GB/Bio					O			Meetgegevens

*GB = Gangbaar; Bio = Biologische bedrijfsvoering; MMS = Maaimeststof*

*O = maatregel die in dit rapport onderzocht is*

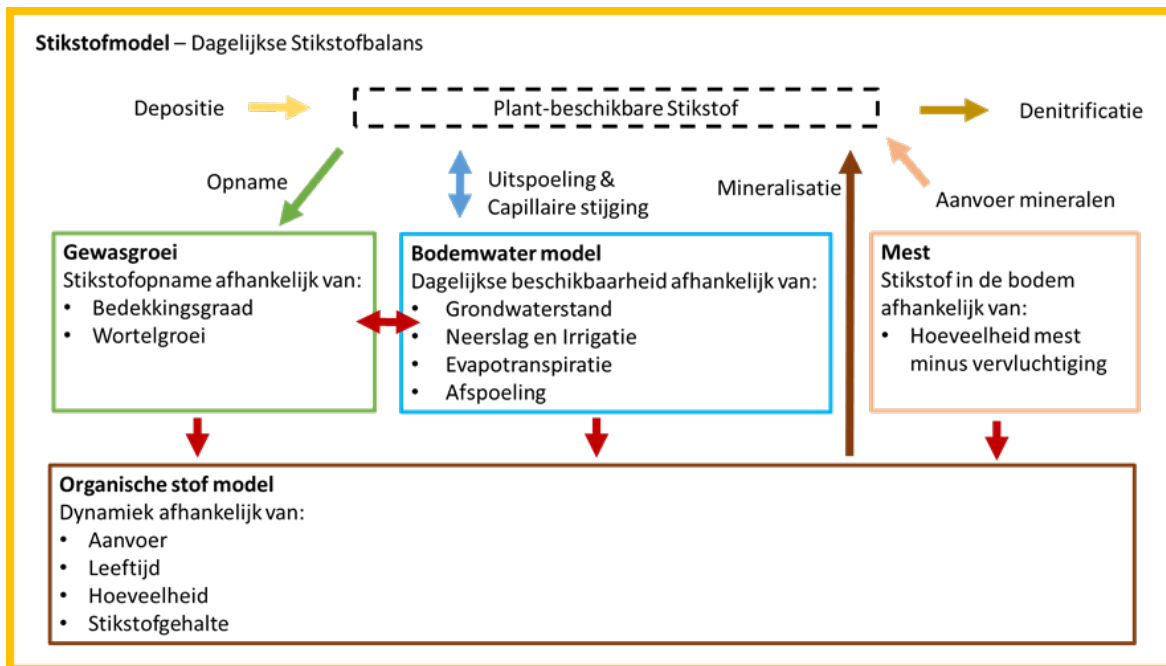
*+ = maatregel met effect op de OS-N-P balans maar niet in dit rapport onderzocht is*

Binnen elk van de geselecteerde LTE's is ingezoomd op maatregelen in vergelijkende zin. Voor Planty Organic is vergelijking op basis van meetresultaten niet mogelijk: het is één systeem met alleen herhaling in de tijd. Daarom is het modelmatig doorrekenen van scenario's een geschikte methode om dieper inzicht te verkrijgen. Voor de analyse zijn de geselecteerde gegevens verwerkt tot NDICEA- scenario's die modelmatig zijn doorgerekend. De uitkomsten daarvan, en dan met name de balansen voor organische stof, N, en P, vormen de basis voor de beschrijvingen, vergelijkingen en beoordelingen. Op basis van de verworven inzichten zijn uiteindelijk de kennisvragen beantwoord.

## 1.3 Toelichting op NDICEA

Vanwege de prominente positie die NDICEA inneemt in dit rapport volgt eerst een korte toelichting op dit model. NDICEA is een computermodel voor koolstof en stikstof. Het model heeft een wetenschappelijke basis (van de Burgt en anderen, 2006) en kan gebruikt worden voor zowel de evaluatie als de voorspelling van de

dynamiek van stikstof en organische stof in de bodem. Aanvoer en afbraak worden voor de lokale omstandigheden specifiek berekend. Bestaande organische stof en de mineralisatie hiervan wordt geïnitieerd op grond van recente historie van aanvoer van organische stof (bemesting, gewasresten) en management. Berekeningen kunnen worden vergeleken met daadwerkelijke N-mineraal metingen als die zijn gedaan. Op die manier kan het model gevalideerd worden voor het rekenen aan een perceel of proefobject. Het model berekent vervolgens de dynamiek van organische stof en van stikstof op dag basis, en meerjarige balansen van organische stof, stikstof, fosfaat en kalium. Het schuiven van gewassen binnen de rotatie of timing van de bemesting kan met NDICEA doorgerekend worden om vervolgens het beste alternatief in de praktijk toe te passen. Het model is relatief makkelijk in gebruik en sinds het najaar van 2022 in webversie beschikbaar (<https://ndiceaweb.eu/>). Figuur 1 geeft schematisch weer welke parameters er worden meegenomen voor het modelleren van stikstof en organische stof balansen. Meer gedetailleerde informatie over de werking van het model is te vinden in het artikel van van der Burgt en anderen, (2006). In *Bijlage 2* staat een iets uitgebreidere beschrijving, en hoofdstuk 2 gaat in op specifieke aspecten van het model.



**Figuur 1** Schematisch overzicht van NDICEA.

NDICEA wordt vaak in één adem genoemd met MINIP en ROTHC. Voordelen van NDICEA zijn dat de N-dynamiek uitgebreider is dan in MINIP (dat voor stikstof is beperkt tot de mineralisatie) en nauwkeuriger is binnen het jaar dan ROTHC (dat beter presteert over de middellange termijn). Overigens zijn de genoemde modellen typische bodemmodellen: gewasgroei wordt niet gekwantificeerd, en de aanvoer via gewasresten is forfaitair. Dit is een belangrijk onderscheid ten opzichte van gewasgroeimodellen, waarin de afbraak van organische stof in de bodem soms sterk vereenvoudigd is.

## 1.4 Leeswijzer

De beschrijving van 'materiaal & methoden' is omwille van de leesbaarheid opgedeeld in drie hoofdstukken. In hoofdstuk 2 wordt specifiek ingegaan op aspecten van NDICEA die voor dit onderzoek van belang zijn. Vervolgens bevat hoofdstuk 3 een korte beschrijving van de geselecteerde systeemprouven, en volgt in hoofdstuk 4 een korte beschrijving van de geselecteerde maatregelen. In de meeste systeemprouven komen meerdere maatregelen aan de orde en deze worden, per systeemprouf, beschreven in hoofdstuk 5. Hierbij wordt op enkele punten al gereflecteerd op de onderzoeksresultaten per locatie, herkenbaar aan cursief en ingesprongen tekstgedeelten. Aan het eind van dit hoofdstuk wordt een samenvattende tabel besproken. De resultaten wordt bediscussieerd in hoofdstuk 6, inclusief de beantwoording van de kennisvragen. Hoofdstuk 7 tenslotte bevat de conclusies en de aanbevelingen.

## 2 Toepassing van NDICEA

Binnen dit onderzoek is het organische stof en stikstof model NDICEA versie 6 gebruikt om tot een samenhangend overzicht te komen van de balansen van OS, N en P. Een wat uitgebreidere introductie tot het NDICEA-model staat in *Bijlage 2*. In sectie 2.1 wordt ingegaan op aspecten van NDICEA die specifiek voor dit onderzoek van belang zijn. In sectie 2.2 wordt beschreven hoe validatie op perceelniveau uitgevoerd is en hoe vruchtwisseling scenario's gemaakt zijn. De vruchtwisselingsscenario's spelen een centrale rol in deze rapportage.

### 2.1 Beschrijving van enkele specifieke modelonderdelen

#### 2.1.1 Initiële organische stof en stikstof pools

NDICEA is een model dat gericht is op de dynamiek van organische stof en stikstof en rekent in tijdstappen van één dag. Het model beschrijft de dynamiek van organische stof, stikstof en water op perceelniveau over de tijd. De minimaal benodigde input bestaat uit teeltinformatie die meestal 'aan de keukentafel' bij een teler verkregen kan worden. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van default parameter waarden, die kunnen worden aangepast wanneer specifieke data aanwezig zijn. Het model brengt het verloop van de bodem organische stof in beeld alsmede de voor gewasgroei beschikbare stikstof. Het model is 'target-oriented': de gerealiseerde opbrengsten (data uit het verleden) of de verwachte opbrengsten (prognose) wordt ingevuld, en het model toont of de veronderstelde opbrengsten gehaald konden of kunnen worden op basis van de beschikbaarheid van stikstof. De organische stof dynamiek is voornamelijk gebaseerd op MINIP (Janssen, 1984, 1996) en komt overeen wat betreft 1<sup>e</sup> orde afbraak, het gebruik van het concept initiële leeftijd (I<sub>Age</sub>) en de temperatuurscorrectie. Het bouwt voort op MINIP en onderscheidt drie initiële C-pools in plaats van twee. Het maakt gebruik van een andere correctie voor vocht en pH. De afbraak wordt verondersteld afhankelijk te zijn van textuur (kleigehalte) en intensiteit van de grondbewerking. De default initiële waarden van de bodempools (**Tabel 2**) zijn empirisch gebaseerd op een gewogen gemiddelde van een groot aantal NDICEA-scenario's, zowel gangbaar als biologisch, waarbij het proces van initialisatie van de pools is toegepast. De hoeveelheden Jong en Vers zijn vaste waarden, de hoeveelheid Oud is het berekende resterende deel.

**Tabel 2** Default waarden van de onderscheiden bodem organische stof pools bij 2% OS, 30 cm bouwvoor, bulkdichtheid 1,35 kg/m<sup>3</sup>.

Pool	Initiële hoeveelheid (kg ha <sup>-1</sup> )	N-gehalte (%)	I <sub>Age</sub> (virtueel jaar)	C/N
inert	alleen bij zandgronden	-	-	-
Oud	71600	5,8	24	10,0
Jong	6600	4,5	4	12,9
Vers	2800	3	1,4	19,3
Alles	81000			10,4

#### 2.1.2 NDICEA en effectieve organische stof

De organische stof balans van NDICEA wijkt af van de gebruikelijke berekening in Nederland met behulp van effectieve organische stof (EOS) (zie o.a. [www.os-balans.nl/nl/](http://www.os-balans.nl/nl/); [www.handboekbodemenbemesting.nl](http://www.handboekbodemenbemesting.nl); [www.iperen.com/organische-stofbalans-opstellen/](http://www.iperen.com/organische-stofbalans-opstellen/)). Er is wel sprake van eenzelfde benadering: 1) voor de aanvoer van organische stof wordt gebruikt gemaakt van EOS-kengetallen; 2) de in NDICEA gebruikte I<sub>Age</sub> die de initiële afbraaksnelheid bepaalt is zodanig bepaald dat er een goede overeenkomst is met de humificatiecoëfficiënt die ten grondslag ligt aan de EOS-berekening (Habets en Oomen, 1993). In NDICEA wordt echter niet een balans op jaarbasis opgesteld, alsof alle toegevoegde OS één jaar aan afbraak

---

onderhevig is, de definitie van EOS. Het is een continue en doorgaande berekening over de volle lengte van een scenario. Bovendien is de verse hoeveelheid toegevoerde gewasrest en wortelrest afhankelijk van de opbrengst én wordt de afbraak in afhankelijkheid van textuur, grondbewerking en temperatuur berekend. Afgezien van de invloed van de laatste drie genoemde parameters leidt de NDICEA-berekening tot een klein maar structureel verschil ten opzichte van de EOS-benadering. Bij de EOS-benadering wordt alle toegevoerde OS verondersteld na da eerste jaar op te gaan in de grote bodempool met een bepaalde afbraaksnelheid. Bij NDICEA blijft iedere toevoeging een aparte stroom met een eigen afbraaksnelheid. Waar, als voorbeeld, bij de EOS-benadering compost en gewasrest beide na dat jaar dezelfde afbraaksnelheid hebben, behouden ze in NDICEA hun eigen afbraaksnelheid, en die ligt na een jaar voor gewasresten aanzienlijk hoger dan die voor compost. In NDICEA is de bijdrage van bij voorbeeld groenbemesters daardoor structureel iets lager dan bij de EOS-benadering.

### 2.1.3 N-mineralisatie, -vastlegging, -efficiëntie

Bij een standaard stikstof mineralenbalans komt niet in beeld wat er gebeurt met een eventueel gebleken N-overschot. Dat kan bestaan uit denitrificatie, NO<sub>x</sub> -verliezen, uitspoeling en vervluchtiging. Daarnaast kan een deel van de aangevoerde stikstof toegevoegd zijn aan de bodemvoorraad (N-vastlegging, in bodemleven) of er kan juist ingeteerd worden op de beschikbare bodemvoorraad zonder dat je het merkt. In dat eerste geval is het dus geen verlies: het kan de komende jaren via mineralisatie alsnog beschikbaar komen. In het tweede geval is er sprake van (ongemerkte) extra 'toevoer' van opneembare stikstof.

Aanvullend kan een organische stof balans opgesteld worden op basis van Effectieve Organische Stof (EOS). Een overschot zou kunnen duiden op N-vastlegging, een tekort mogelijk op interen op de bodemvoorraad. Organische stof balans en stikstof balans zijn echter lastig kwantitatief te koppelen zonder kennis van de N-dynamiek en C/N-ratio van de pools. De impact kan echter groot zijn. Een relatief kleine afname van de organische stof (als voorbeeld 600 kg jr<sup>-1</sup>, zelfs binnen het tijdsbestek van een aantal jaren onmeetbaar) kan voor een ongeziene 'aanvoer' van stikstof zorgen (30 kg ha<sup>-1</sup> bij 50% C in de OS en een C/N van 10) die substantieel is ten opzichte van de bemesting.

In NDICEA is de koppeling tussen stikstofdynamiek en organische stof dynamiek kwantitatief aanwezig. De betrouwbaarheid daarvan neemt uiteraard toe als het model voor een specifieke situatie gevalideerd is (zie verderop).

De standaard berekening van N-efficiëntie in de akkerbouw is: afgevoerde stikstof in product gedeeld door aangevoerde stikstof in mest. In deze benadering worden drie aanvoerposten genegeerd: N-depositie (in Nederland 20-50 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)), N in zaad- en pootgoed (gemiddeld enkele kilo's) en N-binding door leguminosen (kan sterk variëren). Een veel gebruikte benadering is vervolgens om een overschot op de N-balans te beschouwen als verlies. Deze zienswijze gaat echter voorbij aan de mogelijke opbouw van bodemkwaliteit door een stijgend OS% en (dus) vastlegging van N. De hoeveelheid N die wordt vastgelegd gaat niet verloren, maar kan in vervolgjaren beschikbaar komen voor opname door het gewas. Een tekort op de N-balans zal niet vaak voorkomen in Nederland. Wat wél voor kan komen is een ongemerkte afname van het OS-gehalte waarbij stikstof vrij komt en benut kan worden of alsnog verloren gaat. De mineralenbalans van NDICEA biedt zicht op al deze processen. Daarbij moet wel gezegd worden dat het heel moeilijk is om een verandering in OS-gehalte over een korte termijn met metingen vast te stellen. Dit kan te maken hebben met de meetfout (bijvoorbeeld bij gebruik van de gloeiverliesmethode), en/of met een verandering in de kwaliteit (bijvoorbeeld de C/N-ratio) van de organische stofpools. Valideren van het model op de factor OS is in de praktijk zo goed als onmogelijk. Het dilemma dat ontstaat is dat het praktisch bezien het meest voor de hand ligt om over korte tijdvakken (enkele jaren) het organische stof gehalte als gelijkblijvend te beschouwen, maar dat een procentueel zeer kleine afname van de OS een procentueel substantiële bijdrage aan de N-dynamiek heeft.

Hijbeek (2020) geeft een overzicht van de mogelijkheden om N-efficiëntie (NUE) uit te drukken.

In dit rapport wordt de N-efficiëntie op twee manieren gepresenteerd, beide berekend volgens efficiëntie per kg product:

- N-efficiëntie (1): afvoer in product / (aanvoer mest + depositie + zaadgoed\* )
- N-efficiëntie (2): (afvoer in product + bodemopbouw) / (aanvoer mest + depositie + zaadgoed\* )



\* zaad- en pootgoed is niet overal meegenomen, en als het is meegenomen betreft het alleen de grotere zaden (granen, peulvruchten, mais) en aardappelen. Stikstofaanvoer via irrigatie is buiten beschouwing gelaten.

Bij gemodelleerde opbouw bodem-N zal N-efficiëntie (2) hoger uitpakken dan N-efficiëntie (1). Het verschil kan aanzienlijk zijn. Net zo zal bij gemodelleerde afname van bodem-N de N-efficiëntie (2) lager uitpakken dan (1).

#### 2.1.4 Grondbewerking

In NDICEA is het effect van grondbewerking verwerkt in de vorm van een grondbewerkingsfactor. Op basis van literatuuronderzoek is in het EU-project "Tilman" (Cooper en anderen, 2014) een ruwe inschatting gemaakt van het effect van grondbewerking op de afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem. Daarbij zijn drie klassen onderscheiden, met een daaraan gekoppeld percentage reductie van de afbraak ten opzichte van de default afbraak parameter in NDICEA die op zijn beurt textuurafhankelijk is. Dit staat in *Tabel 3*.

**Tabel 3** Relatie tussen intensiteit grondbewerking en algemene afbraak van organische stof.

Grondbewerking	Afbraakreductie (%)
Conventioneel	0,0
Gereduceerd	7,5
Geen	15,0

Deze tabelwaarden worden niet eenduidig ondersteund door recente waarnemingen in de systeemprouven in Nederland (Selin Norén en anderen, 2021).

#### 2.1.5 Fosfaat

In NDICEA is een fosfaatbalans aanwezig op basis van aanvoer (mest en een kleine depositie, default 3 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) en afvoer (product). Indien de (gemeten) P-gehalten van mest en gewas worden ingevuld is het resultaat niet anders dan de gebruikelijke P-balansberekening. Het is dus, in tegenstelling tot stikstof, geen dynamische balans, en het zegt niets over fosfaatbeschikbaarheid en de verschillende vormen van fosfaat in de bodem.

Voor het opstellen van de P-balans is gebruik gemaakt van de volledige vruchtwisseling binnen de systeemprouven, de gerealiseerde opbrengsten en de daaraan verbonden analysecijfers van mest en (voor zover aanwezig) gewas. Voor niet gemeten waarden zijn de NDICEA defaultwaarden gebruikt. Vergelijking van de NDICEA default waarden met de binnen WUR Praktijkonderzoek vigerende lijst van nutriënteninhoud van gewassen leverde wel kleine maar geen structurele verschillen op (Van der Burgt 2023, niet gepubliceerd). Input via zaaizaad en pootgoed is niet meegenomen. Dit levert een P-balans op (aanvoer minus afvoer).

Daarna is een modelmatige exercitie uitgevoerd waarbij alle opbrengsten met 10% werden verhoogd respectievelijk verlaagd. Door dit binnen NDICEA uit te voeren wordt naast een effect op de P-balans ook een effect op de organische stof balans in beeld gebracht. Daarbij is ervan uitgegaan dat de harvest index door de kleine opbrengstverschillen niet verandert, en de gewasresten en wortelresten die terug de bodem ingaan dus ook 10% toenemen of afnemen. De door de Ruijter en anderen (2020) gevonden relatie tussen P-concentratie en opbrengst is niet in NDICEA verwerkt.

De keuze voor 10% is los gebaseerd op de veronderstelling dat in de Lange Termijn Experimenten (LTE's) de in praktijk haalbare opbrengsten ook daadwerkelijk benaderd worden, maar dat 10% extra opbrengst echter nog wel mogelijk is door verdere optimalisatie, vakmanschap en weersomstandigheden.

De P-cijfers worden daarna vergeleken met de wettelijke normering voor fosfaataanvoer. Dan wordt zichtbaar of en hoeveel plaatsingsruimte voor fosfaat er toegekend zou kunnen worden bij een hogere opbrengst (en dus hogere afvoer van fosfaat) dan het aangenomen 'gemiddelde' voor de akkerbouw.

### Wettelijke normen

In 2010 is in Nederland een eerste stelsel van gebruiksnormen ingevoerd, gedifferentieerd naar P-toestand van de bodem en, indertijd, naar grondgebruik. In 2021 is de zgn. gecombineerde indicator voor zowel bouw- als grasland ingevoerd (Staatscourant 41931). De nieuwe systematiek gaat uit van het P-AL-getal en het P-CaCl<sub>2</sub>-getal. Tabel 4 geeft de gebruiksnormen voor bouwland op basis van de nieuwe systematiek. Overigens kan een benadering van het oude Pw-getal desgewenst worden berekend uit deze twee indicatoren. Voor de vergelijking in dit onderzoek is 60 kg aanvoer aangehouden.

**Tabel 4** Fosfaattoestanden en fosfaatgebruiksnormen voor bouwland bij gebruik van de gecombineerde indicator P-AL-getal en P-CaCl<sub>2</sub>-getal per 1 januari 2021 (Regelink en anderen, 2021).

P-CaCl <sub>2</sub> (mg P/kg)	P-AL (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g)				
	<21	21-30	31-45	46-55	>55
<0,8	120	120	120	80	80
0,8-1,4	120	120	120	80	70
1,5-2,4	120	120	80	70	60
2,5-3,4	120	80	70	60	40
>3,4	80	80	70	60	40

## 2.2 Initialisatie en validatie

### 2.2.1 Initialisatie van de bodem organische stof

Zoals bij alle modellen hebben de initiële waarden van een model, in dit geval de hoedanigheden van de bodem organische stof, invloed op de uitkomsten. NDICEA bevat default initiële sets van waarden voor de vier pools van organische stof Inert (bij zandgronden), Oud, Jong, Vers (Tabel 2). Het doel van de initialisatie is een betere parameterisatie van de actieve drie van deze pools (Oud, Jong en Vers) in het model voor het door te rekenen scenario. Een scenario wordt hier gedefinieerd als de opeenvolging van gewassen en bemestingen over een bepaalde periode. Door in het model zelf de waarden aan het einde van het betreffende scenario te gebruiken als beginwaarden voor de feitelijke berekening van hetzelfde scenario wordt de kalibratie verbeterd, wat de geschiktheid van het model voor het betreffende scenario verbeterd. Dit werkt goed bij een volledige vruchtwisseling als scenario eenheid. De door berekening verkregen nieuwe initiële waarden zijn minder betrouwbaar bij een uitsnede in de tijd die korter is dan een volledige vruchtwisseling. Vermoedelijk is het resultaat dan soms nog beter dan bij gebruik van de default waarden, maar dat is niet empirisch vastgesteld. Een pragmatische manier om de onzekerheid over de initiële waarden te reduceren is om bij een voldoende lang scenario de resultaten van de eerste drie of vier jaar niet bij de beoordeling te betrekken. In die drie jaar neemt de invloed van de initiële bodem organische stof op de OS en N dynamiek aanzienlijk af omdat de pools 'Jong' en 'Vers' vooral op korte termijn werken.

De procedure om binnen NDICEA de bodem organische stof te initialiseren is gedeeltelijk geautomatiseerd. Door de functie 'Berekening herhalen' te openen en drie herhalingen uit te voeren kijk je naar de resultaten van de vierde cyclus. De keuze voor drie herhalingen is proefondervindelijk tot stand gekomen: een of twee herhalingen zijn niet voldoende om de herverdeling over Verse en Jonge organische stof te stabiliseren. De derde herhaling geeft (meestal) dezelfde waarden als de vierde, dus is drie herhalingen genoeg. Dit is echter pas de eerste stap in de initialisatie.

In de loop van drie vruchtwisselingscycli kan het organische stofgehalte gewijzigd zijn. Dat komt dan tot uitdrukking in de beginwaarden van de vierde cyclus. Dan is de totale hoeveelheid organische stof dus niet meer representatief voor de oorspronkelijke situatie. Dat wordt gecorrigeerd door één waarde aan te passen van de negen gegenereerde nieuwe waarden, namelijk de hoeveelheid Oude organische stof. De hoeveelheid Oude organische stof wordt zodanig verlaagd of verhoogd dat de som (in kg ha<sup>-1</sup>) van Oud, Jong en Vers identiek is aan de som van Oud, Jong en Vers vóór initialisatie. Daarmee is het oorspronkelijke percentage organisch stof hersteld, en is alleen de verdeling over (en de andere twee eigenschappen van) de drie pools veranderd. Dit is de tweede, laatste, stap in de initialisatie.

---

Door het initialiseren wordt nóg een probleem grotendeels opgelost, namelijk de 'bias' die kan ontstaan als in de laatste fase van het scenario een grote hoeveelheid organische stof wordt toegevoegd die dus nog maar weinig afgebroken zal zijn aan het eind. Door te initialiseren worden de hoedanigheden van die input meegenomen in de initiële waarden van de berekening.

In NDICEA wordt, naast de drie bij afbraak betrokken bodem organische stof pools (zie vorige paragraaf), alleen op zandgrond een vierde pool onderscheiden: de inerte organische stof. Net als bij de default verdeling over Oud-Jong-Vers is deze default instelling empirisch verkregen uit analyse van een groot aantal NDICEA-scenario's van zandgronden. Het is als volgt in het model opgenomen: de actieve organische stof bedraagt 0,8 maal het percentage organische stof met een maximum van 2%. Dit betekent dat bij alle zandgronden met 2,5% organische stof of hoger gerekend wordt met 2% actieve organische stof die verdeeld wordt over de drie actieve pools, en de rest is inert. Die inerte pool heeft wel in het veld effect op structuur en beworteling en waterhuishouding (Zwart en anderen, 2013) maar niet op de mineralisatie binnen NDICEA. Nieuw onderzoek onder Nederlandse omstandigheden kan aanleiding zijn om deze methodiek te herzien (Hanegraaf en anderen, 2019).

### 2.2.2 Validatie van perceel scenario's en constructie van vruchtwisseling scenario's

Eerst moet aannemelijk gemaakt worden dat de modelbeschrijving van een specifiek perceel (met een bepaalde behandeling) wat betreft stikstof en organische stof over een aantal jaren redelijk klopt ('modelbeoordeling'). Daarvoor zijn verschillende stappen mogelijk (Burgt en Hanegraaf, 2021):

1. Een grafiek met meetpunten en gemodelleerde waarden kan visueel en kwalitatief beoordeeld worden. De resultaten van N-mineraal metingen lenen zich hier goed voor evenals het patroon van stijgen en dalen van de N-mineraal in de bouwvoor en het structureel onderschatten of overschatten door het model van de N-mineraal. Bodem organische stof metingen zouden ook gebruikt kunnen worden maar die hebben een veel grotere meet-onnauwkeurigheid; kleine verschillen in een beperkt aantal jaren kunnen derhalve niet betrouwbaar gemeten worden.
2. De gemeten en gemodelleerde waarden van N-mineraal en OS kunnen met behulp van de RMSE (Wallach en Goffinet 1989) beoordeeld worden. Een RMSE < 20 kg N-mineraal/ha in een bodemlaag wordt beoordeeld als 'goed' (Burgt en anderen 2006). Dit werkt goed bij een voldoende aantal meetpunten, bij voorkeur niet alleen in najaar en voorjaar maar ook gedurende het teeltseizoen, en is kwantitatief en objectief.
3. Indien voorgaande stappen een mager resultaat geven kan hiervoor wellicht een verklaring worden gegeven, en beargumenteerd waarom het model, met de nodige terughoudendheid, toch kan worden toegepast. Er kan uiteraard ook geconcludeerd worden dat het model in specifieke gevallen onvoldoende betrouwbaar lijkt.
4. Onder omstandigheden kan het model op een specifiek perceel gekalibreerd worden. Daarbij krijgt het model de vrijheid om tussen grenzen de best passende set van bodemparameters te zoeken waarbij de RMSE zo klein mogelijk wordt. De zo verkregen resultaten dienen kritisch bekeken te worden en hebben minder zeggingskracht dan niet gekalibreerde uitkomsten. Deze kalibratiefunctie is onderdeel van het model.

Indien de modelberekening als voldoende wordt beoordeeld wordt daarna de stap gemaakt van perceelscenario (beschrijving van een concrete situatie) naar een vruchtwisseling scenario. Hierbij worden de gewassen van één vruchtwisselingsronde genomen met gemiddelde opbrengsten en gemiddelde bemestingen, en worden default weersgegevens gebruikt. Deze abstractie heeft het voordeel dat je precies kijkt naar één cyclus met gemiddelde prestaties, dat er daardoor allerlei 'jaar-ruis' verdwijnt en dat de bodem organische stof zeer goed geïnitieerd kan worden.

Vervolgens worden de feitelijke berekeningen gemaakt met dit vruchtwisselingsscenario.

5. De organische stof balans wordt in beeld gebracht, inclusief de relatieve bijdrage van de verschillende aanvoersoorten aan die balans. Deze balans zal meer of minder afwijken van de gebruikelijke balansberekening met EOS, zie elders in dit rapport.
6. De N-balans wordt in beeld gebracht inclusief kwantitatieve weergave van verliezen en eventuele bodem opbouw of afbraak. De interne N-dynamiek wordt gekwantificeerd.

- 
7. De P-balans wordt in beeld gebracht en de interne P-dynamiek wordt gekwantificeerd. De consequenties van hogere of lagere opbrengst voor zowel de P-balans als de OS balans worden in beeld gebracht.
  8. Grafische weergave van hierboven genoemde uitkomsten om in beeldtaal te kunnen communiceren.

---

## 3 Geselecteerde systeemprouven

In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van elk van de systeemprouven en van de datasets die binnen dit onderzoek betrokken zijn. Voor dit onderzoek zijn delen van de beschikbare datasets gebruikt: bepaalde plots, bepaalde behandelingen, bepaalde jaren. Dit staat bij de betreffende paragrafen aangegeven.

### 3.1 Systeemprouf Planty Organic (Munnekezijl, Friesland)

#### *Beschrijving*

Sinds 2012 loopt het lange termijn experiment Planty Organic (PO) op SPNA proefboerderij Kollumerwaard in Friesland. De proef ligt op een goed ontwaterd perceel met 12% lutum (20% afslibbaar), 1,8% organische stof en pH 7,4. Het betreft zes subvelden van 0,8 ha, met een zesjarige biologische akkerbouwrotatie waarbij geen enkele externe aanvoer van nutriënten of organische stof plaatsvindt, met uitzondering van stikstof. Stikstofaanvoer vindt uitsluitend plaats door vlinderbloemigen en depositie. De basis van de stikstofvoorziening is een 1,5 jaar durende teelt van een mengsel van klavers en luzerne waarvan de opbrengst als maaimeststof (MMS) op andere percelen wordt ingezet. Voor MMS, zie het overzichtsdokument maaimeststoffen; de website is in de literatuurlijst opgenomen. Daarnaast vindt stikstofbinding plaats in één hoofdgewas (mengteelt tarwe/veldboon) en in groenbemester mengsels. De vruchtvolgorde is: klaver/luzerne – pompoen – mengteelt tarwe/veldboon - winterpeen - haver – pootaardappel met nazaai klaver/luzerne. Waar mogelijk wordt een groenbemester gezaaid. De hoofgrondbewerking vindt in het vroege voorjaar plaats. Grondbewerking is op basis van NKG en er wordt gewerkt met GPS-gestuurde vaste rijpaden op 3,20 m. Peen en pootaardappel worden geteeld op ruggen. Oogstwerkzaamheden vinden (nog) niet plaats vanaf de rijpaden.

De opzet van Planty Organic is om te zoeken naar de randen van het haalbare en wijkt sterk af van de andere systeemprouven. De verkregen inzichten uit Planty Organic wat betreft methodiek en minimalisatie van verliezen kunnen voeding zijn voor aanpassingen in andere systemen en in de praktijk.

#### *Dataset*

Er zijn metingen beschikbaar van negen jaar op zes percelen Bio P1A t/m Bio P1F (pseudoherhalingen). Het gaat om gewasopbrengst en nutriënten inhoud daarvan; bemesting met interne MMS (hoeveelheid en gehalten); N-mineraal 0-30 enkele keren per jaar; en bodemvruchtbaarheid jaarlijks in november (Eurofins Bemestingswijzer, o.a. Organische stof, N-totaal, P-AL en P-w). Gedurende twee jaar zijn ook de opbrengst en de gehalten van de groenbemesters en de gewasresten gemeten.

Voor de vergelijking met het gangbare akkerbouwgedeelte van de proefboerderij is gebruik gemaakt van de bedrijfsregistratie waarbij wel opbrengst maar geen gewasgehalten zijn bepaald en waarbij slechts beperkt toetsing met N-mineraal metingen heeft plaatsgevonden.

### 3.2 Systeemprouf Bodemkwaliteit Veenkoloniën BKV (Valthermond, Drenthe)

#### *Beschrijving*

In het lange termijn experiment Bodemkwaliteit Veenkoloniën (BKV) op proefbedrijf Valthermond wordt op dalgrond, met gemiddeld 11% organische stof, een vijftal maatregelen in een vierjarige akkerbouwvruchtwisseling (zetmeelaardappel – suikerbiet – zetmeelaardappel – zomergerst + Japanse haver) vergeleken met de Standaard werkwijze, in vier herhalingen. De maatregelen Tagetes, Compost, sturen Ca/Mg-verhouding, Steenmeel zijn elk op hun eigen wijze gericht op verbetering van de bodemkwaliteit. Ook een combinatie (Combi) van alle maatregelen is onderzocht. Over de maatregelen heen

---

liggen varianten van grondbewerking (NKG en Spitten) in duplo. Bij NKG is voor grondbewerking gebruik gemaakt van een vaste tand cultivator en een ondergrondwoeler, in plaats van spitten. Een exacte beschrijving van de maatregelen en proefopzet kunnen worden gevonden in De Haan anderen (2020).

#### *Dataset*

Het experiment is gestart in 2013, per teeltseizoen 2014 zijn alle maatregelen operationeel. Voor deze rapportage gebruiken we metingen van zeven jaar (2014 t/m 2020). Het gaat om opbrengsten van gewassen en groenbemesters, nutriënteninhoud van gewassen en groenbemesters, bemesting (hoeveelheid en gehalten), N-mineraal zowel in de laag 0-30 cm als 30-60 cm in het voorjaar, na de oogst en in het late najaar (rond 1 november), en bodemvruchtbaarheid jaarlijks in het voorjaar (Eurofins bemestingswijzer) in de laag 0-25 cm.

### 3.3 Systeemproef BASIS (Lelystad, Flevoland)

#### *Beschrijving*

Voor deze studie zijn data uit het lange termijn experiment BASIS (*Broekemahoeve Applied Soil Innovation Systems*) gebruikt. Het BASIS experiment is gestart in 2009 door Wageningen University and Research in Lelystad. Dit doorlopende project heeft als doel te onderzoeken welke maatregelen getroffen kunnen worden om de effecten van (door klimaatverandering veroorzaakte) droogte en zware regenval op gewasopbrengst en bodemkwaliteit in een akkerbouwbedrijf op klei- en zavelgrond tegen te gaan. Het experiment bevat zowel een gangbaar als een biologisch systeem. De grond van het experiment is ingepolderd in 1957. De karakteristieke Fluvisol is een homogene zavelgrond (jonge zeeklei) en bevat 61% zand, 22% silt en 17% klei met een pH-KCl van 7.2-7.4. Het organische stof percentage in de bovenste 25 cm van de grond varieert tussen de 3.4-3.8% in de biologische percelen en 3.2-3.5% in de gangbare percelen.

Het BASIS experiment bestaat uit drie biologische percelen (BIO) en twee gangbare percelen (GA). De BIO percelen zijn omgeschakeld naar biologische teelt in 2003, ruim voor de start van het BASIS experiment (2009). Elk perceel is gesplitst in twee subpercelen. De twee subpercelen zijn elk gesplitst in twee blokken van drie plots, waarin drie type grondbewerkingen willekeurig zijn toebedeeld aan één van de blokken: kerende grondbewerking door middel van ploegen (PL), niet-kerende grondbewerking met woelen (NKG+) en zonder woelen (NKG-). Hierdoor voldoet het experiment aan de eisen voor een *complete randomised block design* met vier herhalingen. Om het potentieel van NKG(+/-) goed te benutten, is bij de teelt van alle gewassen gebruik gemaakt van een rijpaden systeem (RPS). Hierdoor wordt bodemverdichting geminimaliseerd doordat machines gedurende het groeiseizoen enkel over de rijpaden rijden. Alle plots (afmeting 12.6 m bij 85 m) zijn hiervoor in vier banen gesplitst van 3.15 m breed (inclusief een 15 cm breed rijpad), zodoende kunnen alle bewerkingen uitgevoerd worden met standaard machines en materiaal. Voordat het BASIS experiment begon in 2009, zijn alle percelen jaarlijks geploegd.

#### *Dataset*

Vanwege kosten en capaciteit wordt er bij BASIS niet alles jaarlijks gemeten. Van de grondbewerkingsobjecten worden opbrengst en kwaliteit wel jaarlijks gemeten, maar bodemkwaliteit (organische stof, nutriënten, bulkdichtheid,) maar één keer in de vier jaar. N-mineraal in voor- en najaar wordt wel jaarlijks gemeten, veelal 0-30, 30-60 en 60-90 cm.

### 3.4 Systeemproef Bodemkwaliteit Zand (Vredepeel, Limburg)

#### *Beschrijving*

Het lange termijn experiment Bodemkwaliteit op Zand (BKZ) is gelegen op proefboerderij Vredepeel, op een Peel-ontginningsgrond in het zuidoostelijk zandgebied. De proef ligt er sinds 1989. De bodemtextuur van de bouwvoor is 93% matig fijn zand, 4,5% leem en 2,2% klei met een organisch stofgehalte dat varieert van 3,4 tot 4,2%, gemiddeld over de jaren 2011- 2016 tussen de verschillende percelen. Het OS-gemiddelde



---

over alle percelen over deze periode is 3,7%. Ook onder de bouwvoor wordt de bodemtextuur gedomineerd door matig fijn zand.

Sinds 2001 omvat het onderzoek bij BKZ twee gangbare bedrijfssystemen en één biologisch bedrijfssysteem. Voor elk bedrijfssysteem liggen er zes percelen (pseudo herhalingen). De helft van elk perceel is geploegd en de andere helft is niet-kerend bewerkt. Er wordt gewerkt met 6-jarige vruchtwisselingen. Meer informatie over de proefopzet is te vinden in de Haan en anderen (2018a).

#### *Dataset*

Er wordt uitgebreid gemeten binnen BKZ. Er zijn metingen vanaf 2001 op het gebied van teelthandelingen, gewasopbrengst, bodemvruchtbaarheid, hoeveelheid plantparasitaire aaltjes, de N-min voorraad in de bodem in maart, aan het eind van elke teelt en in november en de nitraatconcentratie in het grondwater in de winter.

---

## 4 Geselecteerde maatregelen

### 4.1 Focus op organische stof maatregelen

Dit onderzoek is gericht op de samenhang tussen en de optimalisatie van de balansen van OS, N en P. Stikstof en fosfaat kunnen in principe los van elkaar en los van organische stof toegediend worden. Bij organische stof ligt dat heel anders:

- Iedere aanvoer *van buiten* van OS brengt N en P met zich mee in per soort OS wisselende hoeveelheden.
- Aanvoer van OS kan ook *van binnen* plaatsvinden door een andere gewassenkeuze (meer/minder gewasresten en wortelresten) of door gewasresten wel/niet af te voeren (stro) (Koopmans en anderen 2020; Slier en anderen. 2022) en wel/niet gebruik van groenbemesters. Door deze maatregelen verandert de OS-aanvoer maar niet de P-aanvoer. De N-aanvoer kan veranderen wanneer meer of minder vlinderbloemige gewassen of groenbemesters geteeld worden.
- De OS balans kan *misschien* beïnvloed worden door de intensiteit van de grondbewerking. Wat niet afgebroken wordt hoeft niet aangevuld te worden. Het woord 'misschien' in voorgaande zin duidt op het feit dat recent onderzoek in Nederland (project en website [www.slimlandgebruik.nl](http://www.slimlandgebruik.nl)) geen eenduidig resultaat oplevert tussen intensiteit van grondbewerking en OS-balans (Verdonk en anderen, 2022).
- Stikstof kan aangevoerd worden door vlinderbloemigen: dat is een interne OS- en een externe N-aanvoer, maar deze stikstof komt niet per vrachtwagen het bedrijf binnen. Deze post wordt in andere studies soms wel, soms niet meegenomen in de berekening van N-balans en N-efficiëntie. In dit rapport wel.
- Depositie van stikstof kan aanzienlijk zijn maar is niet te sturen. Ook deze stikstof komt niet per vrachtwagen binnen en wordt vaak buiten de N-balans en N-efficiëntie berekening gehouden. Het is echter wel een reële aanvoerpost en wordt meegenomen in dit rapport.

Bij stikstof speelt de beschikbaarheid voor gewasgroei een grote rol. N-aanvoer is een ander verhaal dan N-beschikbaarheid. Voor de N-efficiëntie vervult de factor 'tijd' een belangrijke rol alsmede gewassenkeuze, vruchtwisseling en vanggewassen. Het N-benuttingsvraagstuk en efficiëntievraagstuk is dus veel meer dan alleen een bemestingsvraagstuk.

Wat hiervoor geschreven is maakt duidelijk dat bij een integrale optimalisatie van de OS – N – P balansen de organische stof een sleutelpositie inneemt.

### 4.2 Maatregel: organische stof aanvoer

Binnen de hier betrokken datasets vanuit de systeemprouven van de PPS Beter Bodembeheer komen, naast dierlijke mest, twee bronnen van aangevoerde organische stof voor. Dat zijn maaimeststof, als alternatief voor dierlijke mest, en compost. Dierlijke mest zit in diverse proeven verweven, evenals inweken van stro en groenbemesters. Daar wordt, als het aan de orde is, apart op ingegaan.

#### 4.2.1 Maaimeststof

Maaimeststof (MMS) is gras, grasklaver of luzerne die óf direct bij maaien óf na bewaring (als ware het veevoer) rechtstreeks als 'groene mest' op een ander perceel toegepast wordt. Voor de MMS is gebruik gemaakt van twee datasets.

Als eerste de dataset van Planty Organic. Daar is MMS een *bedrijfsinterne* meststof. Het gaat niet om een gemeten vergelijking. Er wordt een modelmatige vergelijking gemaakt met hoe het zou zijn als de MMS verkocht of uitgeruild zou worden met dierlijke mest, op basis van gelijke vrachten P. Voor deze berekening is gebruik gemaakt van het zesjarige NDICEA-vruchtwisseling scenario en zijn voor de (fictieve) mest de default waarden van NDICEA gebruikt.

---

Als tweede dataset is gebruik gemaakt van BASIS. Hier wordt de maaimeststof van buiten aangevoerd. De gebruikte subset was van perceel J10-3, biologisch, ploegen, met drie varianten: mest (standaard), maaimeststoffen lage dosering, maaimeststoffen hoge dosering, in vier herhalingen.

#### 4.2.2 Compost

Voor de compost wordt gebruik gemaakt van drie sets.

Als eerste de dataset van Planty Organic. Het gaat niet om een gemeten vergelijking. Er wordt een modelmatige vergelijking gemaakt met hoe het zou kunnen zijn als compost aangevoerd zou worden met P-evenwicht als doel. Bij een afvoer van ongeveer  $35\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  komt dat neer op 15 ton natuurcompost  $\text{ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Voor deze berekening is gebruik gemaakt van het zesjarige NDICEA- vruchtwisselingsscenario en zijn voor de (fictieve) natuurcompost de default waarden van NDICEA gebruikt.

Als tweede een subset uit BKV. Daar is composttoediening een van de behandelingen, en daarnaast is in de behandeling 'Combi' ook sprake van composttoediening. Plots: 65 en 71 (Spitten, Standaardbehandeling), en 76 en 82 (NKG, Compostbehandeling).

Als derde is een subset van BASIS gebruikt (perceel J9-6, gangbaar, ploegen, 2011-2022) waarbij een controle wordt vergeleken met Compost laag ( $20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) en met Compost hoog ( $40 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) in drie herhalingen.

### 4.3 Maatregel: NKG

NKG kan diverse doelen dienen, en mogelijk effecten hebben op de netto afbraak van organische stof en de opbrengst. Als dat zo is beïnvloedt dat de balansen van OS en mineralen.

Voor de maatregel NKG zijn subsets uit PO, BASIS, BKV en BKZ geselecteerd. De vorm van NKG bestond uit:

**PO:** Een *modelmatige* vergelijking tussen NKG en conventionele grondbewerking (ploegen). De gerealiseerde NKG bestaat voornamelijk uit schijveneg, cultivator en kopeg. De aardappel en peen worden op ruggen geteeld. In het model komt dit verschil in grondbewerking neer op het verlagen van de algemene afbraaksnelheid van organische stof bij NKG ten opzichte van Ploegen. Het vruchtwisselingsscenario is hiervoor gebruikt. De modelinstelling 'gereduceerde grondbewerking' leidt dus automatisch tot verminderde berekende afbraak.

**BKV:** Een vergelijking tussen spitten op 25 cm diepte en gereduceerde grondbewerking met een ondergrondwoeler op 40 cm diepte gevolgd door een vastetandcultivator op 25 cm diepte. Vanwege een natuurlijk heterogeniteit in de bodem is er sprake van relatief grote verschillen tussen de plotjes van eenzelfde behandeling. Daarom is ervoor gekozen de data van één plotje te gebruiken. Dit zijn de data van plots 59 (NKG, Standaard behandeling), 60 (NKG, Compostbehandeling), 71 (Spitten, Standaardbehandeling) en 72 (Spitten, Compostbehandeling) van 2017 tot 2020.

**BASIS:** Een vergelijking tussen ploegen (PL) op 22-25 cm diepte en gereduceerde grondbewerking mét (NKG+) en zonder NKG-) jaarlijks woelen met een paragrubber op een diepte van 12-25 cm. Data van J9-4 van 2009 t/m 2019 zijn gebruikt.

**BKZ:** Een vergelijking tussen ploegen op 22 cm met ondergronders tot 30 cm en gereduceerde grondbewerking met vastetandcultivator op 15 cm diepte en ondergronders op 30 cm diepte. Data van de plots 18.1a (ploegen) en 27.1a (NKG) over de jaren 2007-2018. zijn gebruikt.

---

## 4.4 Combinatie van maatregelen

### 4.4.1 Opbrengstgericht

**BKV:** Hier is een maatregel op het niveau van vruchtwisseling doorgevoerd: de teelt van zomergerst + groenbemester is vervangen door de teelt van Tagetes. Daarnaast is geëxperimenteerd met sturen op Ca/Mg verhouding en toediening van gesteentemeel. De wisseling van gewas heeft direct gevolgen voor de OS- en P-balans en voor de N-dynamiek. De andere twee maatregelen hebben geen direct effect en beïnvloeden de balansen en de dynamiek alleen indien ze invloed zouden hebben op de opbrengsten.

### 4.4.2 Koolstofvastlegging

Binnen het programma Slim Landgebruik is onderzocht welke maatregelen in welke hoeveelheid kunnen bijdragen aan koolstofvastlegging in Nederlandse landbouwgronden. Veel van de maatregelen komen ook in de systeemprouven voor, met name organische mest en compost toepassen, inzet van groenbemesters, niet kerende grondbewerking, en het aanpassen van de gewasrotatie met bv. maaimeststoffen. De doelstelling voor de hoeveelheid koolstof vastlegging in minerale landbouwbodems (0,4 tot 0,6 Mton CO<sub>2</sub> vanaf 2030 ten opzichte van 1990) wordt met al deze maatregelen ruim gehaald, maar daarbij gaat het om een optellen van de effecten van verschillende maatregelen. In de praktijk moet er dus naar een combinatie van de maatregelen gestreefd worden.

Om het te kunnen hebben over win-win maatregelen is het idee 'win-win' als volgt gedefinieerd: er is sprake van 'win-win' bij maatregelen, of combinaties van maatregelen, die extra koolstof opbouwen (meer dan vanuit goed landbouwkundig management zou mogen worden verwacht), en niet leiden tot excessieve verliezen van stikstof en niet tot overmatige ophoping van fosfaat, en evenmin tot de achteruitgang van de bodemvruchtbaarheid op lange termijn. Dus 'winst' voor bodemkoolstof, en 'winst' voor de bodemkwaliteit in de breedte.

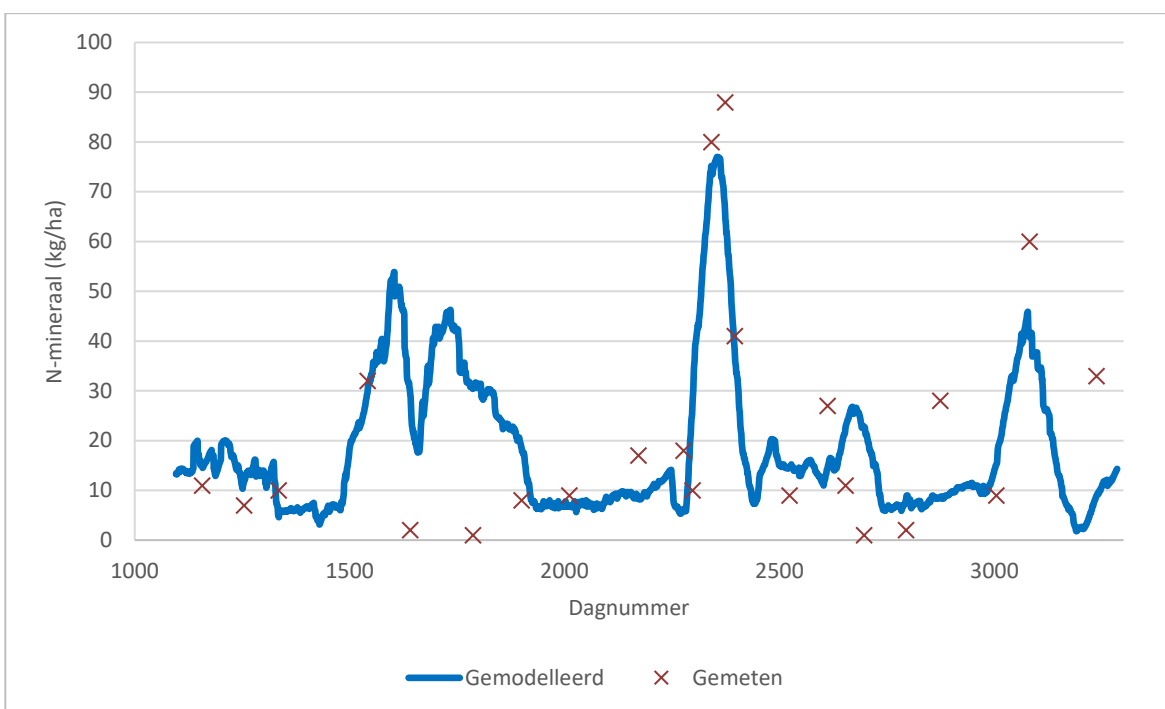
# 5 Resultaten

## 5.1 Systeemproof Planty Organic

In deze paragraaf wordt het totaal effect van het systeem van de Planty Organic proef op de OS-dynamiek, de N-dynamiek en de P-balans beschreven. Het gaat hier niet om een vergelijkend experiment met afzonderlijke factoren. Indien er hieronder sprake is van vergelijking betreft het een modelmatige vergelijking, niet een experimentele veldvergelijking.

### 5.1.1 Validatie

De zes NDICEA-perceelbestanden voor Planty Organic zijn eerder al gevalideerd voor de periode 2012-2019 (Van der Burgt en anderen, 2021) en voldoende bevonden. Ter illustratie geeft Figuur 2 een uitsnede van perceel C over 2015-2020 (een volledige vruchtwisselingscyclus).



**Figuur 2** Verloop N-mineraal bovengrond (groene lijn) en metingen (oranje kruisjes). Perceel C, 2015-2020.

Bij alle zes de perceelbestanden A t/m F van 2011-2018 bleek de RMSE het laagst te worden bij de instelling "geen grondbewerking" terwijl "gereduceerde grondbewerking" de verwachte instelling zou zijn. Dat betekent een reductie van de afbraak van 15% in plaats van 7,5% bij gereduceerde grondbewerking (zie Tabel 5). Deze onverwachte instelling bleek ook het best te passen bij het gemeten en statistisch betrouwbare resultaat dat het OS gehalte stabiel is (zie verderop, Van der Burgt en anderen, 2019).

**Tabel 5** Verandering in afbraakfactor en organische stof in kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> bij drie modelinstellingen.

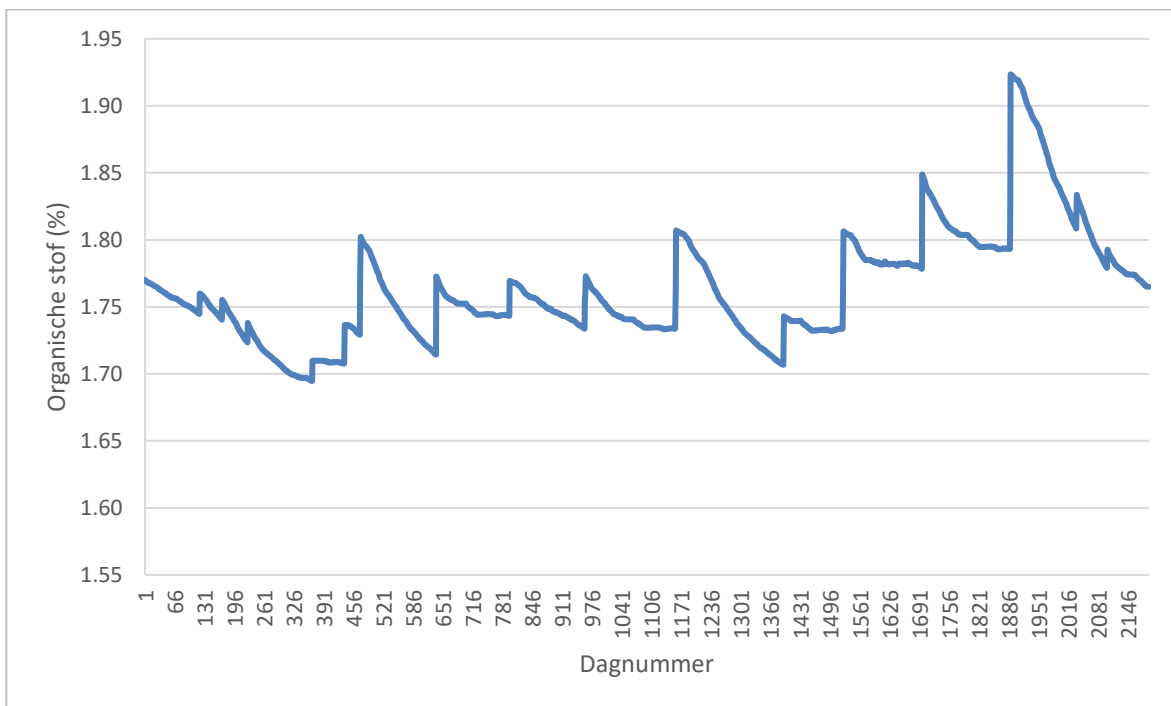
	Conventionele grondbewerking	Gereduceerde grondbewerking	Geen grondbewerking
Vermindering afbraakfactor	0%	7,50%	15%
OS-verandering (kg jr <sup>-1</sup> )	-662	-367	2
OS-verandering (% 10 jr <sup>-1</sup> )	-0,16	-0,09	0

Een verandering van 0,16% valt binnen de meetonnauwkeurigheid van de gebruikte methode "Bemestingswijzer Akkerbouw" van Eurofins (mondelijke mededeling K. Brols, Eurofins) en kan dus op basis van enkelvoudige begin- en eindmetingen niet vastgesteld worden. In dit geval is er echter sprake van zes pseudo-herhalingen en 10 aaneengesloten meetjaren en wijst een statistische berekening uit dat de betrouwbaarheid >95% is dat er géén verandering in organische-stofgehalte is opgetreden (Van der Burgt en anderen, 2021).

Geconcludeerd wordt dat de modelbeschrijving inclusief de instelling 'geen grondbewerking' voldoende betrouwbaar is om hier voor verdere analyse toe te passen.

### 5.1.2 Organische stof dynamiek zonder externe aanvoer van OS

Het verloop van de bodem organische stof is voor de volledige vruchtwisseling van zes jaar doorgerekend met het voor bodem organische stof geïnitieerde NDICEA scenario. Dit is weergegeven in Figuur 3. De externe aanvoer is nul. De interne aanvoer bedraagt gemiddeld 5,292 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> verse organische stof, berekend uit opbrengst van gewassen en groenbemesters (gemeten) en default instellingen voor relatieve aandeel gewasrest en wortelrest ten opzichte van geogst product, en berekend met de gemeten opbrengst van de MMS.

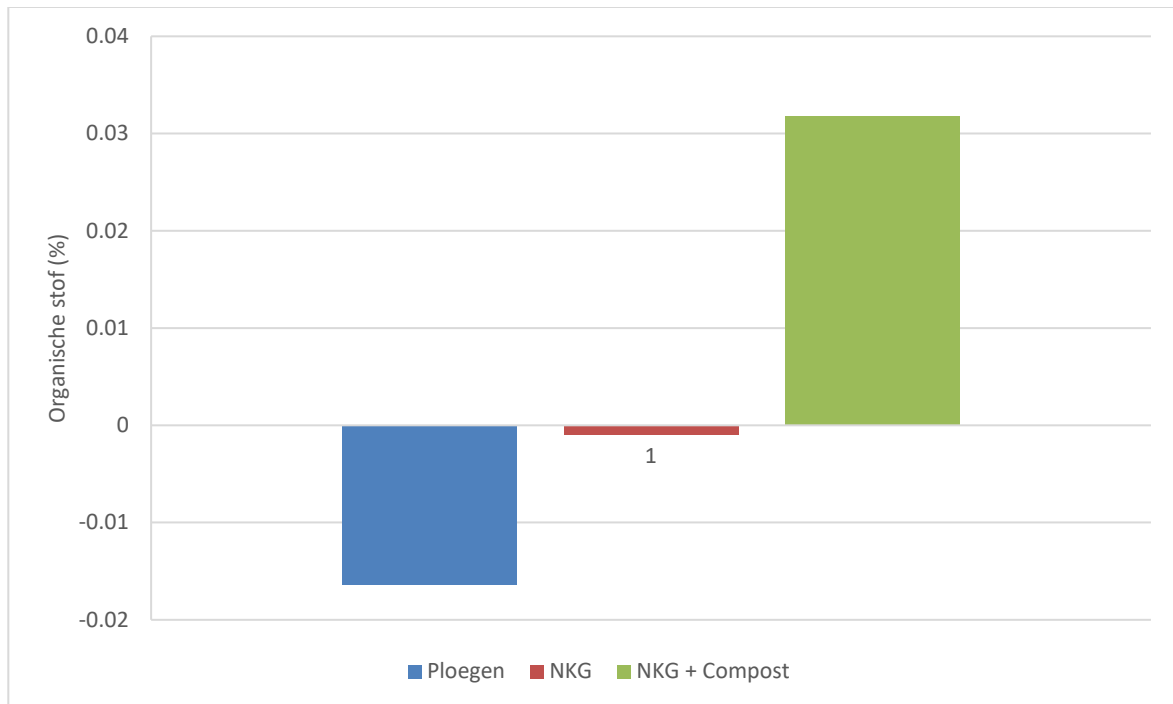


**Figuur 3** Verloop OS gehalte 0-30 cm gedurende een volledige vruchtwisseling cyclus.

De drie pools actieve bodem organische stof en de bijbehorende N-gehalten zijn volgens de NDICEA berekening stabiel over het tijdvak van de vruchtwisseling. Dit wordt bevestigd door de meetreeks van negen jaar (Van der Burgt en anderen, 2021). De netto koolstofvastlegging zonder externe aanvoer is daarmee ook nul.



Modelmatig is verkend wat het zou betekenen als (variant 1) NKG vervangen werd door Ploegen, en als (variant 2) in NKG groencompost zou worden toegevoegd op basis van P-evenwicht ( $36 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ,  $12 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ). Het resultaat staat in Figuur 4.



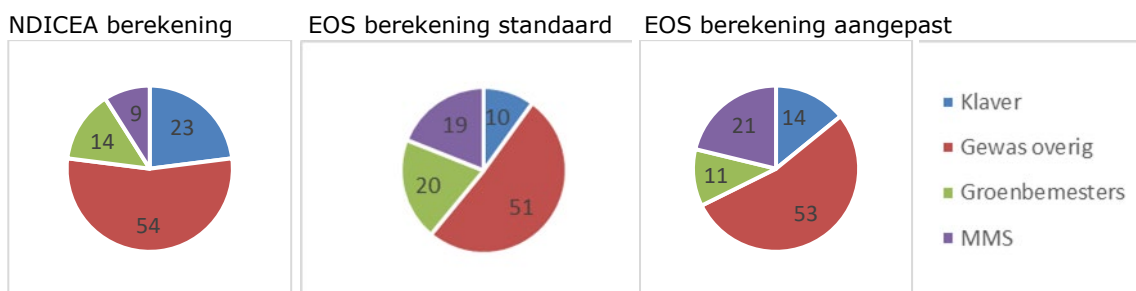
**Figuur 4** Gemodelleerde verandering van het organische stofgehalte in geval van Ploegen in plaats van NKG en in geval van toevoer van compost. Y-as: procentpunt verandering per jaar.

De veranderde modelinstelling 'Ploegen' resulteert in een berekende daling van de bodem organische stof van 0,015 procentpunt jaarlijks, overeenkomend met een verlies van  $665 \text{ kg OS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  ( $332 \text{ kg C}$ ) en daardoor een N-mineralisatie van  $24 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Zoals vermeld gaat dit uitsluitend om een berekend verschil op basis van de modelinstellingen, niet om metingen.

Toevoer van  $12 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  groencompost met daarin  $2160 \text{ kg OS}$  en  $60 \text{ kg N}$  levert een berekende aanwas op van ruim 0,03%, overeenkomend met  $1289 \text{ kg OS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  ( $645 \text{ kg C}$ ) en  $54 \text{ kg}$  vastgelegde  $\text{N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ .

#### Relatieve bijdrage OS-bronnen

De toegevoerde organische stof is uitgesplitst naar Klaver (de gewasresten van de MMS), Gewas overig, Groenbemesters en MMS en er is berekend wat de bijdrage van elke groep aan de organische stof balans is. Hierbij is het NDICEA-resultaat vergeleken met een standaard Effectieve Organische Stof berekening en een aangepaste EOS berekening. Dit staat in Figuur 5.



**Figuur 5** Relatieve bijdrage van verschillende OS-bronnen aan de OS balans.

#### Toelichting:

- De getallen uit de NDICEA-berekening volgen rechtstreeks uit de modellering.

- Voor de EOS-standaardberekening zijn de default data uit [www.handboekbodemenbemesting.nl](http://www.handboekbodemenbemesting.nl) gebruikt. Waar die ontbraken zijn inschattingen gemaakt.
- Voor de aangepaste EOS-berekening is met name de bijdrage van de groenbemesters lager ingeschat dan in het handboek. Dat verlaagt de bijdrage naar 11 in plaats van 20%. De in het handboek getoonde opbrengstcijfers zijn gebaseerd op inzaai van de groenbemester rond 1 augustus, en dat wordt op Planty Organic vrijwel nooit gehaald. De twee jaar waarin de opbrengst van de groenbemesters is gemeten bevestigen de veel lagere opbrengst (Van der Burgt en anderen 2020; Van der Burgt en Havenga 2021).

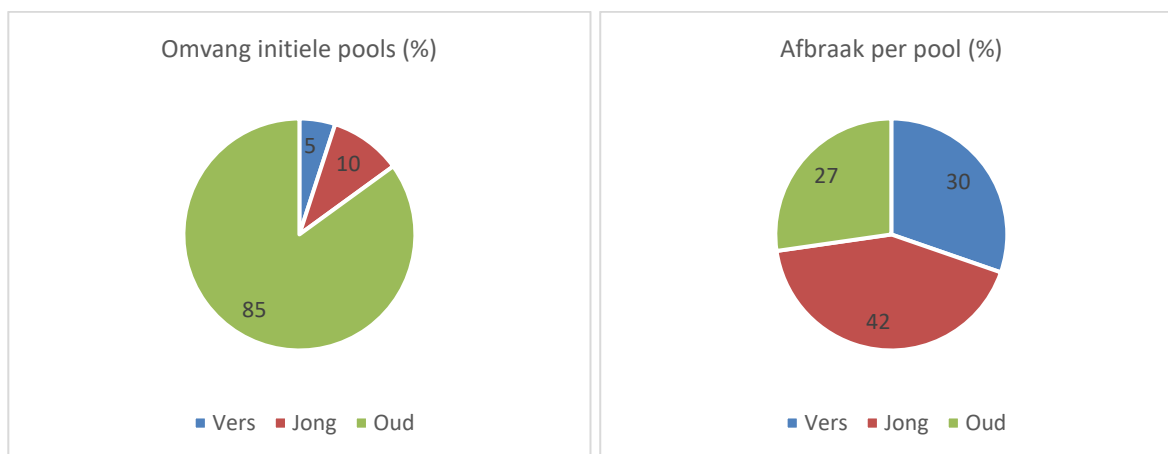
#### Bodem pools OS

Binnen NDICEA worden voor kleigrond drie pools bodem organische stof onderscheiden: Vers, Jong, Oud, op basis van Initial Age. De toegevoegde organische stof komt terecht in de Verse pool (gewasresten, wortelresten, groenbemesters) of in de Jonge pool (organische mest, compost). Met de tijd schuift het door naar de volgende pool. De absolute hoeveelheden Vers en Jong na initialisatie zijn informatief: dat is de organische stof die snel (Vers) of matig snel (Jong) stikstof levert. Dit kan vergeleken worden tussen de verschillende systemen. De resultaten voor Planty Organic staan in *Tabel 6* en *Figuur 5*. De gemiddelde jaarlijkse afbraak van 1711 kg is omgerekend 2,4% van de initiële hoeveelheid en ligt dus hoger dan de voor de EOS berekening vaak gehanteerde 2%.

**Tabel 6** Bodempools. Beginwaarden en afbraak in een vruchtwisselingscyclus.

Bodem pool	Begin (kg)	Begin (%)	Afbraak (kg)	Afbraak jr <sup>-1</sup> (kg)	Afbraak jr <sup>-1</sup> (%)
Vers	3671	5	3121	520	30
Jong	7319	10	4335	723	42
Oud	60695	85	2807	468	27
Totaal	71685		10263	1711	

Jonge en verse organische stof breken relatief veel sneller af dan de oude organische stof en dragen dus ook relatief sterk bij aan N-levering, in afhankelijkheid van hun C/N (zie het verschil links – rechts in *Figuur 6*). Deze pools zijn gevuld met organische input van ruwweg de afgelopen zes jaren. In het Planty Organic systeem is dat 72% van de autonome afbraak van de bodem OS. Met autonoom wordt hier bedoeld: exclusief nieuw toegevoegde OS.



**Figuur 6** Bodempools in het Planty Organic NDICEA bestand, geïnitieerd. Links: Omvang in % van totaal. Rechts: Afbraak in % van totaal.

### 5.1.3 Organische stof dynamiek met externe aanvoer van OS: Mest

Op Planty Organic is sprake van uitsluitend interne maaimeststof. Een vergelijking met andere meststoffen is er niet. Om toch zicht te krijgen op een mogelijk karakteristiek effect is modelmatig een vergelijking gemaakt met het gebruik van Rundvee Dunne Mest (RDM) en Vaste Geiten Mest (VGM). Daarbij is uitgegaan van de hypothetische situatie dat de in de maaimeststof aanwezig hoeveelheid fosfaat door verkoop aan een veehouder volledig gecompenseerd wordt door mestlevering, dus P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-evenwicht in de transactie. Dat levert de getallen op zoals ze in *Tabel 7* staan.

**Tabel 7** Vergelijking van MMS met RDM en VGM wat betreft toegediende stikstof en organische stof, op basis van P-evenwicht in de uitruil van voer (MMS) en mest.

	(t)	DS	OS	N	Nmin	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Retour	
		(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	N (%)	OS (%)
MMS	9,2	1000	900	3,1	0	0,75	2,7	g/kg	
			8280	285	0	69	248	kg	
RDM	46	92	71	4	1,9	1,5	5,4	g/kg	
			3266	184	87	69	248	65	39
VGM	13	291	174	9,9	2,4	5,3	12,8	g/kg	
			2265	129	31	69	167	45	27

*Toelichting:*

*In rood: de uitgangspunten: gemeten samenstelling van de MMS en P-evenwicht in de transactie.*

*In blauw: de samenstelling van de meststoffen RDM en VGM ([www.handboekbodembemesting.nl](http://www.handboekbodembemesting.nl))*

*In zwart: de berekende hoeveelheden in RDM en VGM retour naar het bedrijf*

In de negen jaar onderzoeksperiode is gemiddeld 9,2 ton maaimeststof geproduceerd en intern gebruikt met de in de tabel gegeven samenstelling. Daarin zat 69 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Bij fosfaatevenwicht in de transactie is sprake een sterk effect op de organische stof en de stikstof, in de tabel onder de kop 'retour': het % dat terugkomt als mest. Van de N komt 65% respectievelijk 45% terug in deze transactie, van de OS 39% respectievelijk 27%. Dat het verschil zo groot is heeft verschillende oorzaken waaronder vertering in de koe, stikstofverliezen uit mest, verdunning, toevoeging van andere stromen (voer, stro). Vanuit het oogpunt van OS- en nutriënten-balans is deze transactie dus zeer ongunstig voor de akkerbouwer.

In de NDICEA-modelberekening is vervolgens de maaimeststof vervangen door RDM respectievelijk VGM met bovenstaande tonnages en een aan de MMS identieke procentuele verdeling over de drie bemestingsmomenten in de vruchtwisseling. Het effect is samengevat in *Tabel 8*.

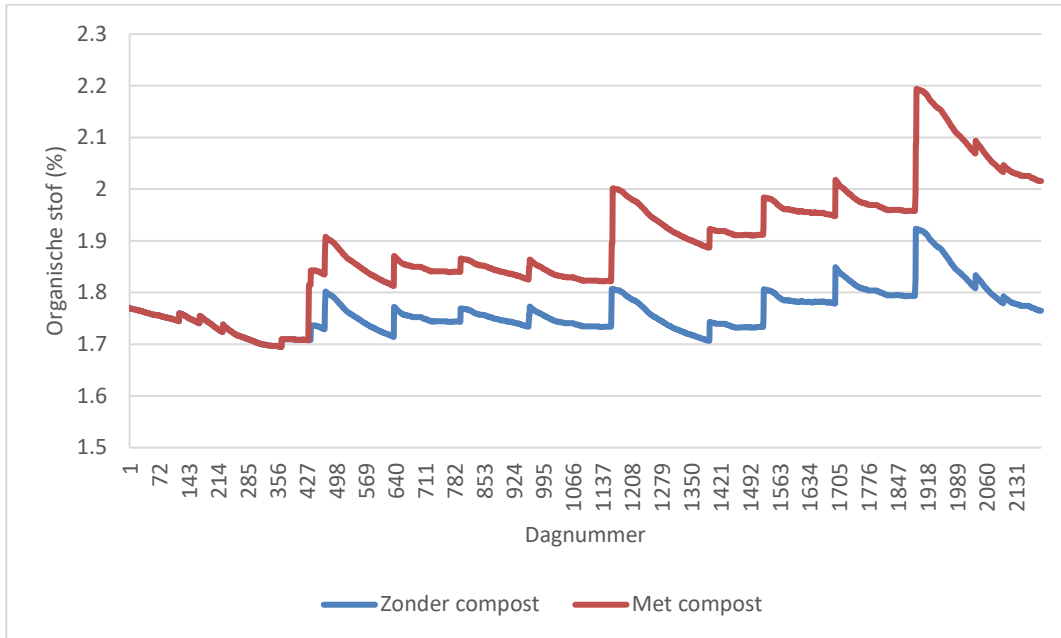
**Tabel 8** Effecten op N-beschikbaarheid, bodem-N en bodem organische stof van RDM en VGM in vergelijking met MMS op basis van gelijke P-aanvoer en vergelijkbare verdeling over de gewassen zoals het bij MMS gebeurt.

	N-beschikbaar			N in bodem	OS in bodem
	Peen (kg ha <sup>-1</sup> )	Haver (kg ha <sup>-1</sup> )	Poot-aardappel (kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	(kg jr <sup>-1</sup> )
RDM	-8	-10	-12	-3	-2
VGM	-10	-13	-16	-3	-66

De stikstofbeschikbaarheid gedurende het groeiseizoen neemt door de verschuiving van MMS naar RDM en VGM af. Dat is een gevolg van combinatie van minder N-aanvoer (zie hierboven), tragere mineralisatie van de organisch gebonden stikstof, een beperkt aandeel minerale stikstof in de mest en iets hogere vervluchtiging en denitrificatie. Bijgevolg blijft bij de keuze voor mest minder over voor stikstof bodemopbouw / onderhoud. Dat geldt bij VGM ook voor de organische stof balans.

### 5.1.4 Organische stof dynamiek met externe aanvoer van OS: Compost

Er zijn geen metingen beschikbaar voor een vergelijking van wel en geen composttoediening. Onderstaande is gebaseerd op NDICEA berekeningen zonder (gevalideerd) en met compost (uitsluitend modelberekening). Op Planty Organic is na de evaluatie 2012-2020 overgegaan op aanvoer van compost op basis van P-evenwicht. Dat komt bij 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> afvoer en een P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-gehalte van 3 kg ton<sup>-1</sup> in de compost ruwweg neer op 12 ton groencompost ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Dit is aangehouden voor onderstaande berekening. Het verwachte effect op de organische stof is weergegeven in Figuur 7 onder de aanname dat er binnen zes jaar geen opbrengsteffect van de compost is.



**Figuur 7** Verloop organische stof zonder en met compost.

*Toelichting:*

*Berekening met compost: daarbij is drie maal 24 ton toegediend in zes jaar met daarin 180 kg OS ton<sup>-1</sup> en 5 kg N ton<sup>-1</sup> en een C/N van 21 op basis van C-gehalte 58% van organische stof ( dat is de default waarde in NDICEA voor wat oudere organische stof).*

In zes jaar tijd zal volgens deze berekening het OS-gehalte toenemen van 1,77% tot 2,02%. Dit is geen meetbaar verschil, maar zou wel statistisch onderbouwd kunnen worden als er sprake is van een doorgaande meetreeks van zes percelen gedurende zes jaar. Na deze zes jaar is in totaal 12,96 ton OS aangevoerd met 360 kg N, waarvan 10,14 ton OS met daarin 336 kg N is toegevoegd aan de bodemvoorraad.

Het effect op de P-balans is eenvoudig: van -36 maar 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> overschot. In Tabel 9 zijn de resultaten samengevat.

**Tabel 9** Effect van composttoediening op OS-, N- en P-balans

Factor (eenheid)	Input	Eind	Vershil
OS (t)	13	10,1	-2,9
N (kg)	360	336	-24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)	216	0	216
Compost:	Zonder	Met (1)*	Met (2)**
N-efficiëntie (%)	75	47	73

*Toelichting:*

\* N-efficiëntie (1): N afvoer in product / N-input

\*\* N-efficiëntie (2): (N afvoer in product + toename N in bodem) / N-input

De afbraak van organische stof uit compost is relatief groter dan het vrijkomen van stikstof daarbij. Dat wordt veroorzaakt door de C/N verhouding. De manier van berekenen van de N-efficiëntie heeft een zeer groot effect op de uitkomst. Dit komt terug in de discussie. De P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> input staat gelijk aan de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> opname en afvoer met producten, dus netto blijft nul over. Dit betekent geenszins dat het toegediende fosfaat voor 100% is opgenomen. Dat ligt veel complexer, echter een dynamische benadering daarvan is geen onderdeel van deze studie.

### 5.1.5 Stikstof dynamiek

De in paragraaf 5.1.2 genoemde 72% gaat over de afbraak van OS uit de bodempools Vers en Jong. Een iets lager percentage geldt voor de autonome N-levering ten gevolge van die afbraak, afhankelijk van de C/N verhouding. Een geschatte 2/3 deel van de autonome N-levering van de bodem wordt dus bepaald door de agronomie van de voorgaande zes jaren, overeenkomend met het virtuele NDICEA leeftijdsbereik van de Jonge en Verse organische stof. De oude OS is vooral bepaald door het OS gehalte en draagt hier rond 1/3 bij aan de autonome N-levering.

#### *N-Balans en N-efficiëntie*

Voor zowel Planty Organic als het gangbare bedrijf op Kollumerwaard is de N-balans op basis van NDICEA bepaald met behulp van de vruchtwisselingsscenario's (Tabel 10), waarna de N-efficiëntie is berekend.

**Tabel 10** Stikstofbalans voor Kollumerwaard Planty Organic en Gangbaar. Getallen in kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> behalve N-efficiëntie, in %.

Variabele	Planty Organic	Gangbaar
Aanvoer met mest	0	189
Stikstofbinding	83	0
Depositie	21	21
Plantgoed/Zaad	3	3
Totaal aanvoer	107	213
Afvoer met producten	77	135
Berekend overschot	30	78
Vervluchtiging	0	6
Denitrificatie	7	19
Uitspoeling	18	47
Opbouw organische N	6	6
N-efficiëntie (1) %	72	63
N-efficiëntie (2) %	78	66

*N-efficiëntie (1): N in product / N-input*

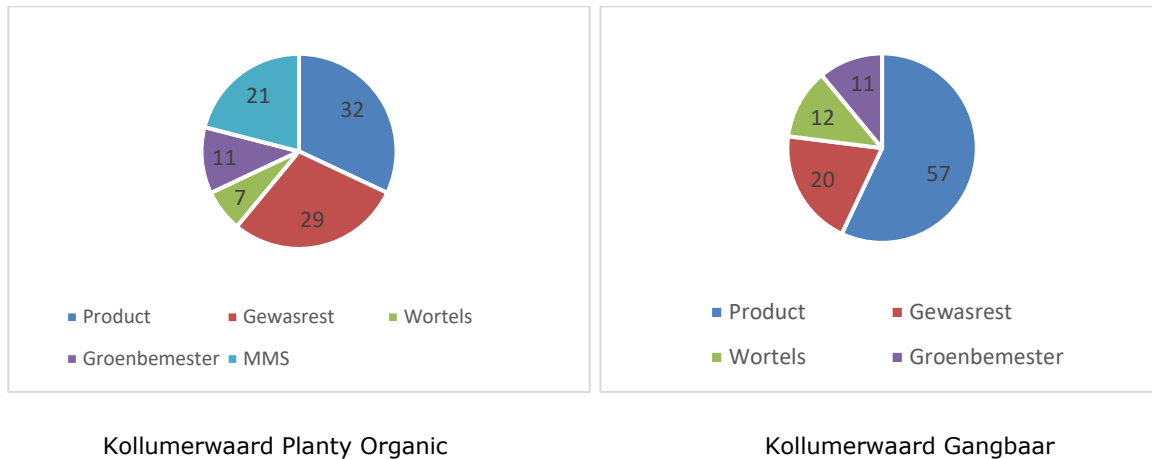
*N-efficiëntie (2): (N in product + toename N in bodem) / N-input*

De aanvoer met mest bestaat in Planty Organic uit bedrijfsinterne maaimeststof en is dus geen aanvoerpost. De stikstof die via stikstofbinding het bedrijf binnen komt, deels via maaimeststof, is wel een aanvoerpost. Depositie en Plantgoed/Zaad zijn meegenomen. Afvoer met producten omvat niet de MMS want die blijft intern.

Bij de bepaling van de N-efficiëntie worden alle N-inputs meegenomen dus ook N-binding, depositie en aanvoer met zaad- en pootgoed. Het stikstof overschot (aanvoer minus afvoer) bedraagt 30 respectievelijk 78 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. De drie bodem organische stof pools en de bijbehorende stikstof zijn voor Planty Organic in evenwicht. Er is dus geen verborgen input vanuit de bodem. Er is een klein N-'verlies' dat geen verlies is maar een investering in bodemvruchtbaarheid (6 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>). Het werkelijke verlies is 25 kg, bestaande uit denitrificatie vanuit de bouwvoor en uitspoeling naar de laag beneden de bewortelbare zone. Ook voor het gangbare bedrijfsgedeelte is er sprake van een (kleine) toename van de bodemstikstof. Dat verhoogt de N-efficiëntie (2) een beetje. Daarnaast zijn de verliezen in omvang bij het gangbare systeem ruwweg drie keer die van Planty Organic.

## Interne stikstofstromen

Het model maakt het mogelijk om de totale N-opname van gewassen en groenbemesters te bepalen, dus inclusief N in gewasresten en wortelmasse. Dit getal, als gemiddelde N-opname per hectare per jaar (2012-2020), kan vergeleken worden met de N-afvoer met producten. Dit levert een beeld op van de interne N-stromen. Deze berekening is gemaakt voor Planty Organic en het gangbare akkerbouw gedeelte van proefboerderij Kollumerwaard en is weergegeven in Figuur 8.



**Figuur 8** Procentuele verdeling van de gemiddelde jaarlijkse N-opname per hectare over verschillende categorieën. Links Planty Organic, rechts Gangbaar.

Bij Planty Organic bevat de gewasrest ook de gewasrest van de MMS. Groenbemester omvat boven- en ondergrondse delen. De totale gemiddelde opname is 236 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> voor Planty Organic en 212 voor Gangbaar. In Planty Organic verlaat ruim een kwart daarvan in verkochte producten het bedrijf. Voor Gangbaar is dat ruim de helft. Het niet-afgevoerde deel blijft op het perceel en draagt bij aan de bodemvruchtbaarheid van de komende jaren.

Dit verschil in de interne N-stromen wordt ook zichtbaar in de NDICEA-berekening van de mineralisatie van stikstof uit alle bronnen van organische stof samen. Voor Planty Organic is dat gemiddeld 151 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> en voor Gangbaar 111 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.

### 5.1.6 Fosfaat

#### Fosfaatbalans

Er is geen aanvoer met mest: de maaimeststof is intern. Depositie en aanvoer via zaad- en plantgoed is gering en wordt hier weggelaten. Er resulteert een netto afvoer van gemiddeld 36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per hectare per jaar (Tabel 11, kolom 'Resultaat'). In deze tabel wordt ook de berekening getoond bij 10% hogere of lagere productie. Voor de berekening met hogere of lagere opbrengst zijn de opbrengsten van de verkochte gewassen aangepast, die van de maaimeststof en de groenbemesters niet. De interne bemesting is identiek gehouden.

**Tabel 11** Fosfaat aan- en afvoer vergeleken met wettelijke norm en evenwicht. Getallen in kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.

Opbrengst niveau	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -aanvoer	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -afvoer	Resultaat	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -norm	Wettelijke P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ruimte boven aanvoer	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ruimte bij evenwicht	Gewenste P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ruimte bovenwettelijk	OS resultaat	N resultaat
-10%	0	32,4	-32,4	60	60	32,4	nvt	-91	-3
Standaard	0	36	-36	60	60	36	nvt	2	-2
10%	0	39,6	-39,6	60	60	39,6	nvt	96	1



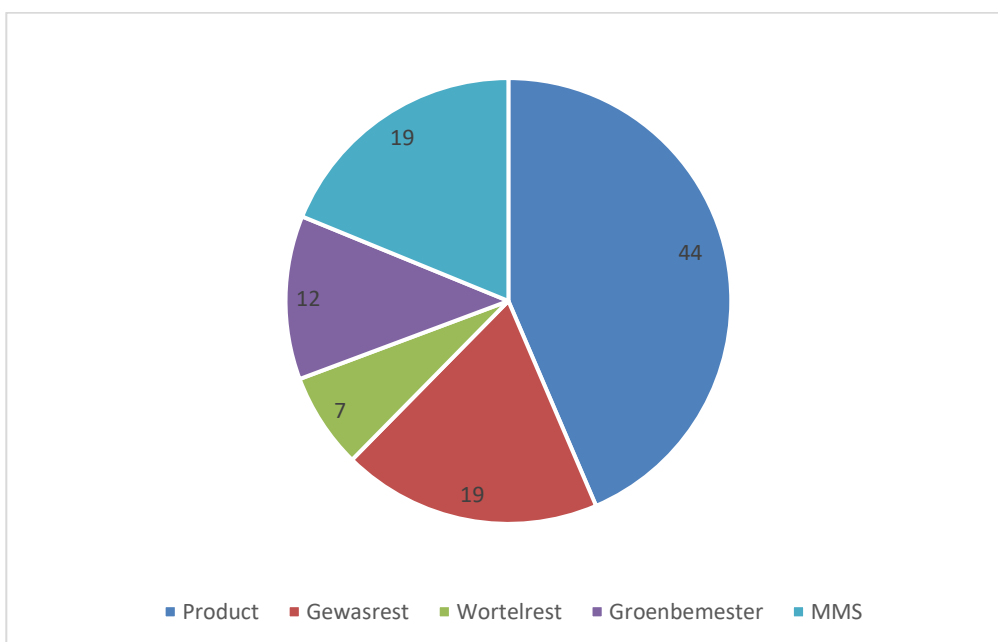
Een 10% lager of hogere opbrengst leidt tot zeer kleine verschillen in de P-, OS- en N-balans. Voor fosfaat speelt de wettelijke norm hier geen rol. Wel kan hieruit afgeleid worden dat bij een aanzienlijk lagere productie dan wettelijk verondersteld in combinatie met het gebruik maken van de volledige wettelijke P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ruimte, er sprake zal zijn van een aanzienlijk P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-overschot.

Dat de effecten klein zijn komt mede door de lage opbrengsten per hectare. De N-balans wordt beïnvloed door kleine veranderingen in N-fixatie van de Veldboon, een verandering in afvoer door de opbrengstverschillen, in veranderende terugvoer via gewasresten en in de andere (kleine) verliesposten. Netto is de opbouw in bodem N iets hoger bij de 10% hogere opbrengst.

Tenslotte blijkt uit de NDICEA-berekening (hier niet getoond) dat alle gewassen met uitzondering van de klaver/luzerne en de tarwe/veldboon, beide met eigen N-binding, onvoldoende stikstof ter beschikking hebben om de veronderstelde meeropbrengst te kunnen behalen. Er is dus sprake van een sterk N-gelimiteerd systeem.

#### *Interne fosfaatstromen*

De interne fosfaatstromen zijn gekwantificeerd en staan in Figuur 9.



**Figuur 9** Procentuele verdeling van de gemiddelde P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-opname over verschillende categorieën.

De groenbemesters zijn zowel bovengrondse als ondergrondse delen. De MMS omvat zowel het geoogste deel (de maaimeststof) als niet-geoogste maar gemaaide productie in het vroege voorjaar.

Van de jaarlijks gemiddeld opgenomen hoeveelheid fosfaat, 83 kg, wordt iets minder dan de helft als product afgevoerd. De rest circuleert intern. De verschillen met Figuur 8 zitten met name in het hoge P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-gehalte van de producten tarwe/veldboon en haver en het relatief ten opzichte van stikstof lage P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-gehalte van gewasresten. Net als bij stikstof krijgt de figuur pas betekenis als er meerdere sets naast elkaar worden gelegd en vergeleken.

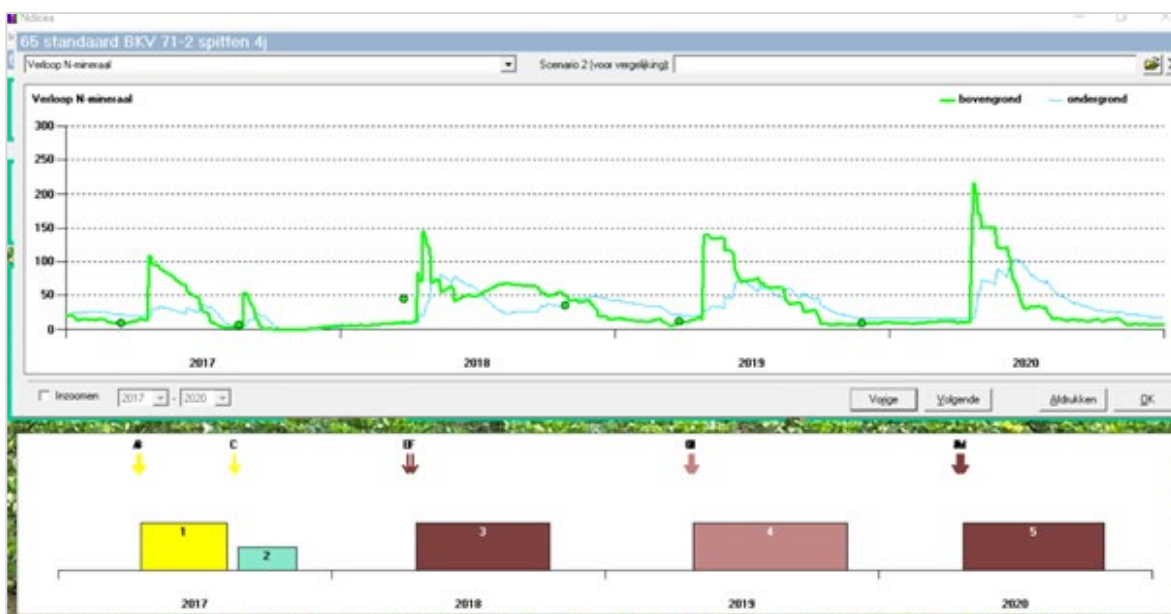
## 5.2 Systeemproof Bodemkwaliteit Veenkoloniën (BKV)

### 5.2.1 Validatie

In NDICEA zijn vier BKV plots doorgerekend. Deze plots zijn geselecteerd omdat hier in de jaren 2017-2019 N-mineraal (N-min) metingen zijn gedaan. Deze zijn ingevoerd in NDICEA en vergeleken met de modeluitkomsten. Het gaat om plots 65 en 71 van de 'Standaard' bemestingsbehandeling en plotten 76 en 82 van de 'Combi' behandeling (zie hoofdstuk 2). Voor alle plots is het scenario doorgerekend van een volledige vruchtwisseling van vier jaar.

*NB:* Bij plots 65 en 71 werd de Standaard grondbewerkingsbehandeling met Spitten toegepast. Op plots 76 en 82 werd NKG toegepast (vaste tand cultivator en ondergrondwoeler). Hierdoor zijn de verderop uitgewerkte resultaten tussen de Standaard en Combi behandelingen strikt genomen niet direct te vergelijken.

Van alle vier de plots is de RMSE berekend. Van plot 65 is in *Figuur 10* de grafiek getoond als voorbeeld. In *Tabel 12* staan de resultaten van de RMSE weergegeven.



**Figuur 10** Plot 65 gewasvolgorde en N-mineraal.

*Toelichting:* onderin de gewasvolgorde 1 zomertarwe, 2 groenbemester, 3 aardappel, 4 suikerbiet, 5 aardappel. De pijlen geven bemestingsmomenten aan. Bovenin staat het verloop van het gesimuleerde niveau N-mineraal in de bouwvoor (groene lijn) en de ondergrond (blauwe lijn), en de metingen in de bouwvoor (groene bolletjes).

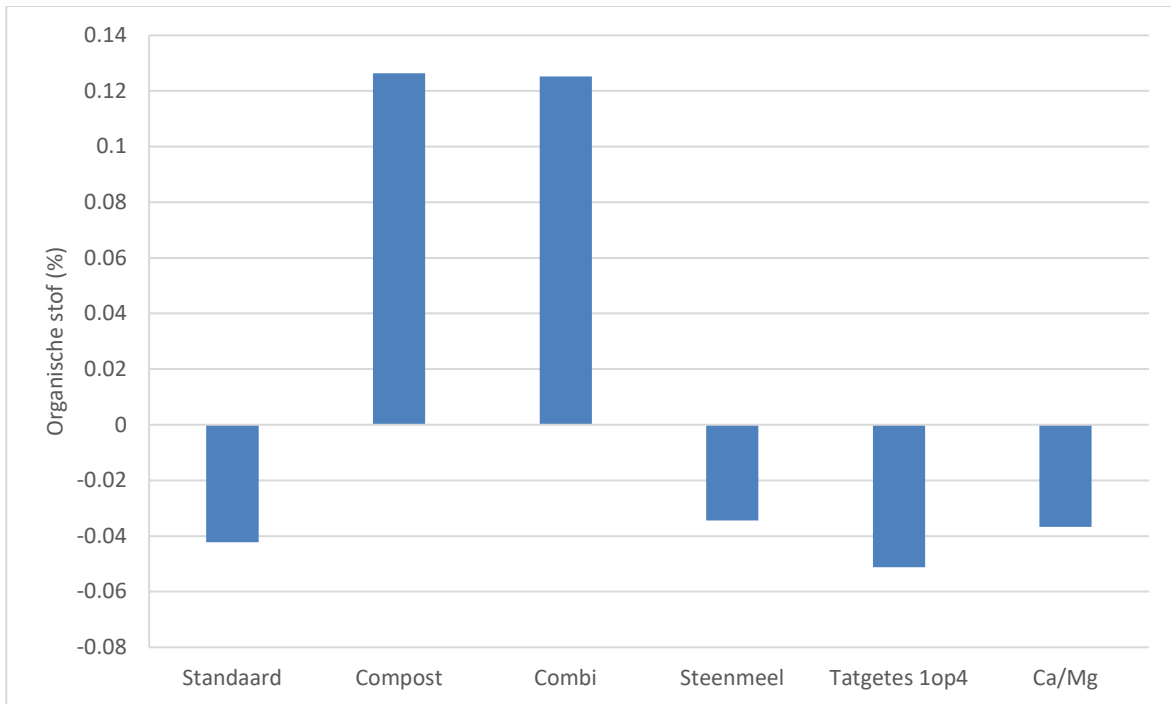
**Tabel 12** RMSE van vier percelen BKV.

Plot #	RMSE N (kg ha <sup>-1</sup> )	RMSE Na kalibreren (kg ha <sup>-1</sup> )
65	15,7	
71	14,6	
76	20,1	11,7
82	19,8	12,7

Plot 76 had een net iets te hoge RMSE (grens 20 kg ha<sup>-1</sup>, van der Burgt en anderen, 2006). Het kalibreren verbetert inderdaad de RMSE maar voegt onzekerheid toe en maakt de vergelijking tussen 65 – 71 enerzijds en 76 – 82 anderzijds minder makkelijk. Er is verder gewerkt met de niet-gekalibreerde scenario's.

## 5.2.2 Organische stof

De effecten op de bodem organische stof zijn per behandeling doorgerekend. Deze zijn weergegeven in Figuur 11.



**Figuur 11** Gemiddelde (van vier herhalingen) verandering in procentpunt organische stof na één rotatie (4 jaar) voor de verschillende bemestingsbehandelingen, allen met Spitten als grondbewerking.

De referentie (standaard) heeft een licht negatieve OS-balans. Van de behandelingen laten alleen 'Compost' en 'Combi' een positieve balans zien. In het laatste geval wordt dit uitsluitend door de compost veroorzaakt: composttoediening is onderdeel van 'Combi'. Behandeling 'Tagetes' scoort iets sterker negatief dan Standaard doordat Tagetes in de plaats komt van zomergerst. Zomergerst plus groenbemester laten net wat meer organische stof achter dan Tagetes.

Voor de vier geselecteerde plots zijn de resultaten van de organische stof balans getoond in Tabel 13. Het gaat om jaargemiddelde verlies of aanwas, berekend over de vruchtwisselingsperiode van vier jaar.

**Tabel 13** Berekend beginniveau en jaarlijkse verandering in organische stof (OS) bij vier plots van systeemproef BKV.

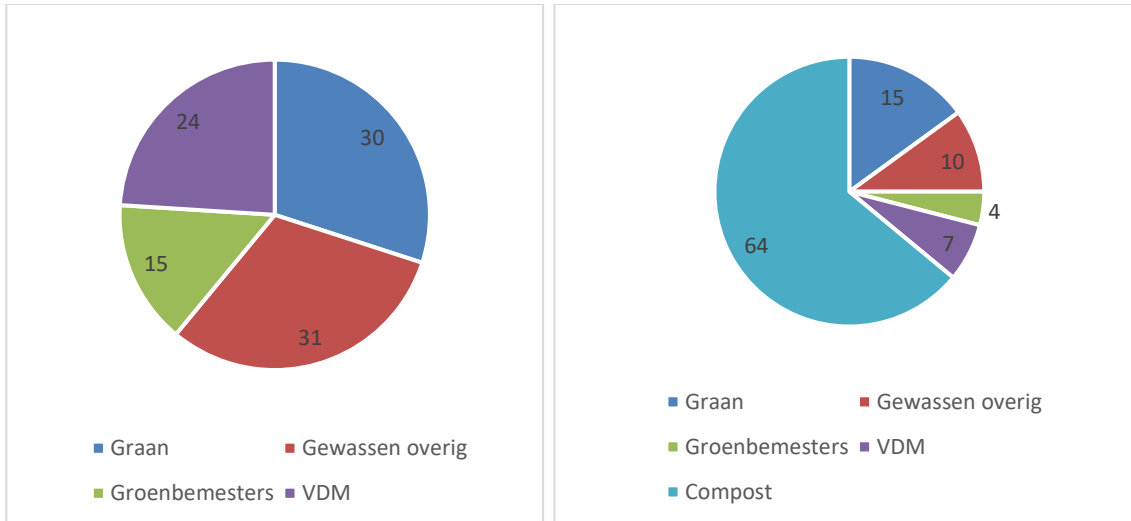
Plot #	Maatregel	Initieel niveau organische stof (%)	OS balans (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )
65	Standaard	6,8	-439
71	Standaard	11,3	-382
76	Combi	11,7	1281
82	Combi	11,7	1308

Het veel lagere initiële niveau organische stof van plot 65 werkt niet door in de afbraakberekening, zie voor nadere uitleg de rekenregels in hoofdstuk 2.

### Relatieve bijdrage OS bronnen

De toegevoerde organische stof is voor plot 71 en 76 uitgesplitst naar graan (zomergerst, stro afgevoerd), gewas overig, groenbemesters, vleesvarkens drijfmest en compost en er is met NDICEA berekend wat de

bijdrage van elke groep aan de organische stof balans is op basis van een vierjarige vruchtwisseling. Dit resultaten hiervan staan in Figuur 12.



**Figuur 12** Relatieve bijdrage van verschillende OS bronnen aan de OS balans. Links plot 71, zonder compost, rechts plot 76, met compost.

Strikt genomen mogen plot 71 en 76 niet rechtstreeks vergeleken worden wat betreft de OS balans omdat naast de behandelingen ook de grondbewerking verschilt. Er kunnen echter wel degelijk enkele zeer duidelijke patronen onderscheiden worden. In plot 71 wordt stro van zomergerst afgevoerd. Desondanks neemt het graan bijna één derde van de bijdrage aan de organische stof voor z'n rekening, even veel als de drie overige gewassen. Je kunt ook zeggen dat in het jaar met graan de groenbemester kan groeien; dat ene jaar uit vier levert dan 45% van bijdrage aan de OS balans.

In plot 76 wordt het stro ingewerkt waardoor het ten opzichte van de overige drie gewassen een grotere bijdrage levert. Dit wordt procentueel én absoluut volledig overvleugeld door de compost, 60 ton in vier jaar.

Er is nogmaals maar op een ander manier naar de maatregel 'compost' gekeken, door het gemiddelde te nemen van de NDICEA scenario's van plot 65, 71, 86 en 92 (spitten, zonder compost) en van plot 66, 72, 90, 95 (spitten, met compost).

In Tabel 14 staan de resultaten samengevat, wederom onder de aanname dat de opbrengsten in de eerste jaren na composttoediening niet veranderen.

**Tabel 14** Effect van composttoediening op OS, N en P balans.

Factor (eenheid)	Input	Eind	Vershil
OS (t)	10,8	9,1	1,7
N (kg)	498	436	62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)	132	132	0
Compost:	Zonder (1)	Met (1)	Met (2)*
N-efficiëntie (%)	0,61	0,38	0,61

\* N-efficiëntie (1):  $N \text{ in product} / N\text{-input}$

\*\*N-efficiëntie (2):  $(N \text{ in product} + \text{toename } N \text{ in bodem}) / N\text{-input}$

De afbraak van organische stof van compost is beperkt. De mineralisatie van stikstof daarbij is relatief nog veel geringer: na vier jaar is onder deze omstandigheden netto slechts 16 kg gemineraliseerd. Of de mutatie in bodem-N meegenomen wordt in de berekening van de N-efficiëntie maakt een zeer groot verschil uit.

Het toegediende fosfaat leidt tot een even grote toename van het fosfaatoverschot omdat de opbrengsten van de gewassen in deze berekening gelijk is gehouden. Gemeten opbrengsten op BKZ (de Haan en anderen 2018a) en BASIS (zie verderop) rechtvaardigen deze veronderstelling.

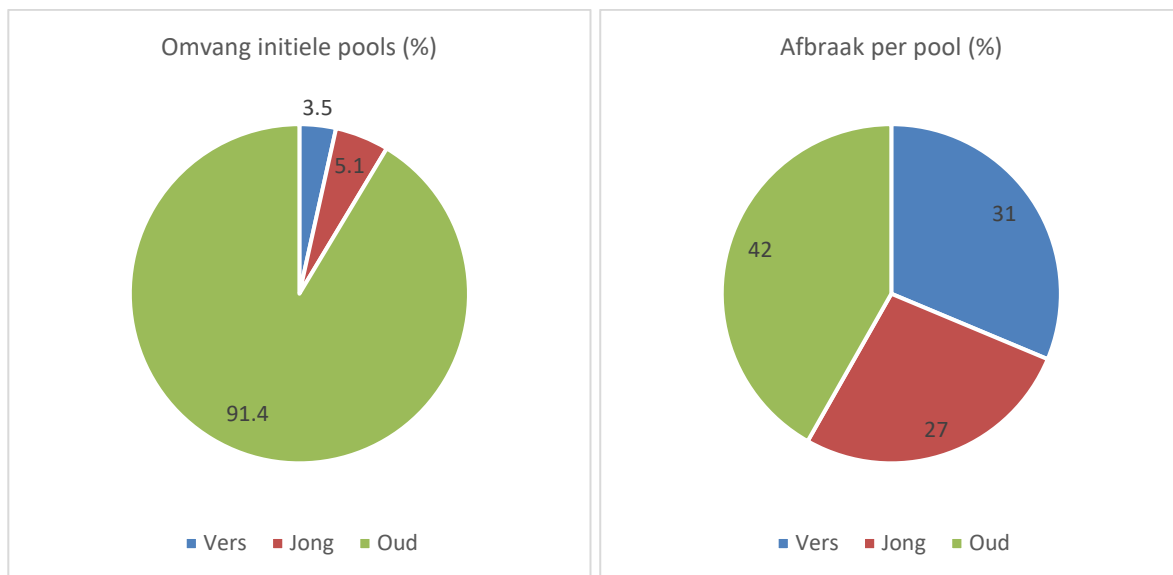
## Initiële bodem pools

In Tabel 15 en Figuur 13 staan gegevens over de omvang en de afbraak van de drie initiële bodempools van Plot 71. Dit betreft de actieve organische stof. In het model wordt de resterende organische stof (11,3 % in totaal) als inert beschouwd, in dit geval rond de 375 ton. Het overgrote deel van de OS wordt dus als inert beschouwd als het om afbraak gaat.

**Tabel 15** Bodempools plot 71, beginwaarden en afbraak in één vruchtwisselingscyclus van vier jaar.

Plot 71, Bodem pool	Begin (kg)	Begin (%)	Afbraak (kg)	Afbraak/jr (kg)	Afbraak/jr (%)
Vers	2490	3,5	2092	523	31
Jong	3679	5,1	1798	449,5	27
Oud	65431	91,4	2792	698	42
Totaal	71600		6682	1671	

Jonge en verse organische stof breken relatief snel af ten opzichte van de oude organische stof. Deze pools zijn gevuld met organische input van de afgelopen jaren. Ca. 58% van de autonome afbraak wordt dus bepaald door de agronomie van de voorgaande vier jaren.



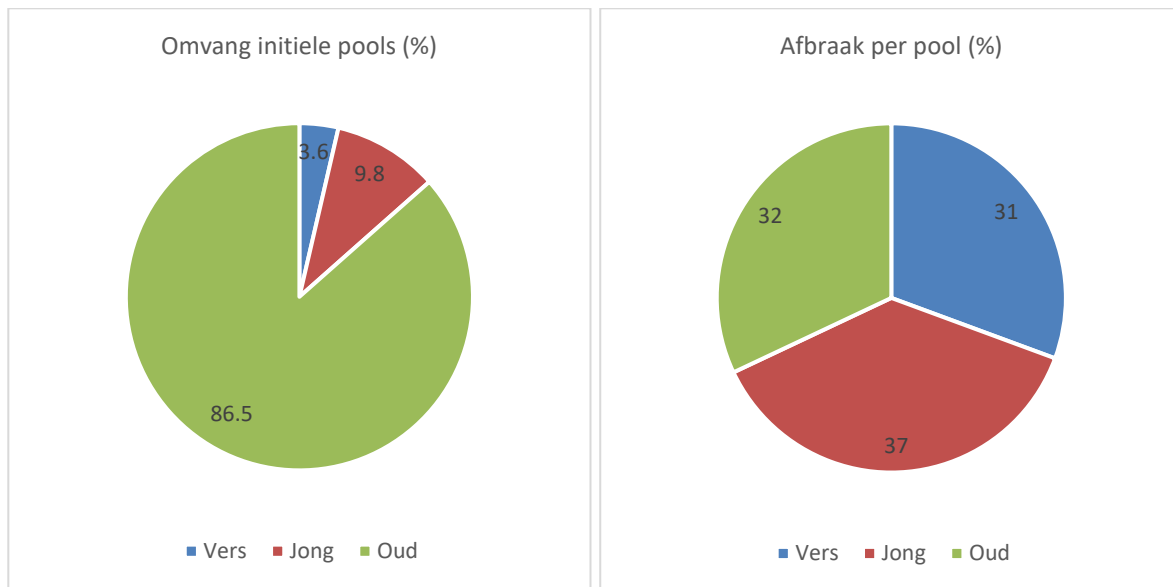
**Figuur 13** Bodempools in plot 71 NDICEA bestand, geïnitieerd. Links: omvang in % van totaal. Rechts: afbraak in % van totaal.

Hetzelfde is gedaan voor plot 76, met compost als belangrijk verschil ten opzichte van plot 71, zie Tabel 16 en Figuur 14.

**Tabel 16** Bodempools plot 76, beginwaarden en afbraak van organische stof in één vruchtwisselingscyclus van vier jaar.

Plot 76, Bodem pool	Begin OS (kg)	Begin OS (%)	Afbraak (kg)	Afbraak/jr (kg)	Afbraak/jr (%)
Vers	2934	3,6	2470	618	31
Jong	7977	9,8	3016	754	37
Oud	70089	86,5	2584	646	32
Totaal	81000		8070	2018	

Door gebruik van compost wordt de pool 'vers' iets groter en de pool 'Jong' flink groter, zowel absoluut als relatief ten opzichte van het totaal. Ook de afbraak van die twee pools neemt daardoor toe, met name de 'jonge' pool. Dat is de pool waar de compost op basis van Initial Age in terecht komt.



**Figuur 14** Bodempools in plot 76 NDICEA bestand, geïnitieerd. Omvang in % van totaal, afbraak in % van totaal.

### 5.2.3 Stikstof dynamiek

#### *N-balans en efficiëntie*

Van de vier geselecteerde plots is de stikstofbalans uit NDICEA weergegeven in Tabel 17. Door een verschil in opbrengst (afvoer) tussen plot 65 en 71 (herhalingen) ontstaan er ook verschillen in uitspoeling en opbouw organische N, en uiteraard in N efficiëntie.

Het maakt veel uit voor de N-efficiëntie of er rekening wordt gehouden met mutaties in bodem-N. Bij 'Standaard' is sprake van negatieve N-opbouw, dus feitelijk is er sprake van N-input uit bodemvoorraad. De efficiëntie neemt af als daar rekening mee wordt gehouden. Bij 'Combi' is het net andersom: een deel van de input wordt vastgelegd in de bodem en is dus eigenlijk geen input (of de toegenomen bodemvruchtbaarheid is output). De efficiëntie neemt dus toe als daar rekening mee wordt gehouden.

**Tabel 17** N-balans van vier plots.

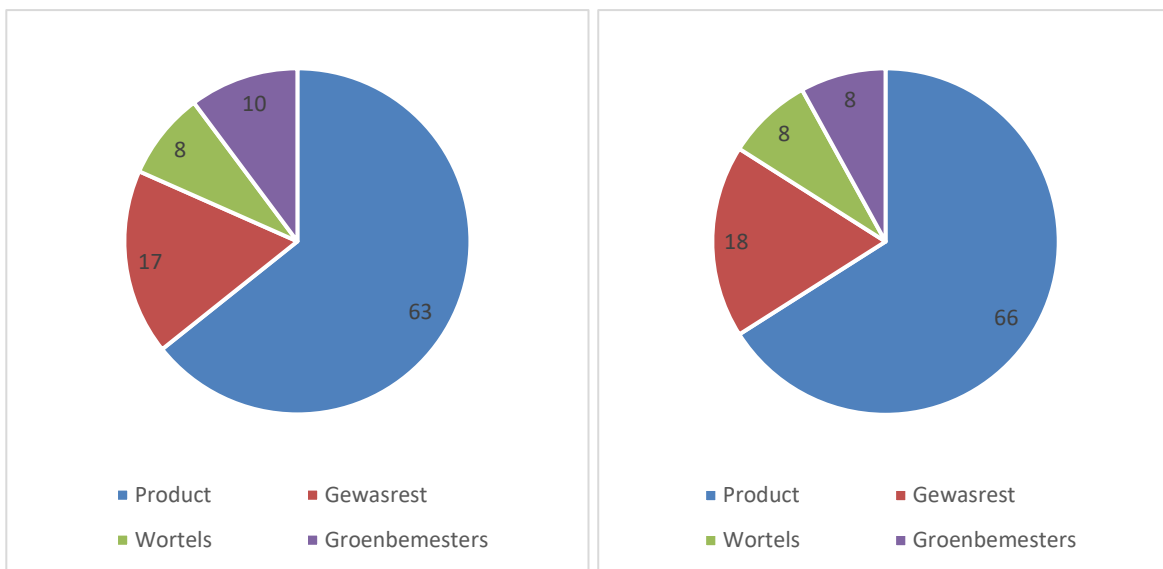
Grondbewerking Behandeling Plot #	Spitten Standaard 65	Spitten Standaard 71	NKG Combi 76	NKG Combi 82
Compost toegediend	Nee	Nee	Ja	Ja
Aanvoer met mest	181	181	259	259
Stikstofbinding	0	0	0	0
Depositie	28	28	28	28
Plantgoed/Zaad	4	4	4	4
Totaal aanvoer	213	213	291	291
Afvoer met producten	113	127	131	131
Berekend overschot	100	86	160	160
Vervluchtiging	12	12	12	12
Denitrificatie	20	19	22	22
Uitspoeling	96	80	68	67
Opbouw organische N	-22	-16	70	72
Toename N-min	-4	-5	-6	-4
N efficiëntie (1) %*	53	60	45	45
N efficiëntie (2) %**	41	50	67	68

\* N-efficiëntie (1):  $N \text{ in product} / N\text{-input}$

\*\*N-efficiëntie (2):  $(N \text{ in product} + \text{toename } N \text{ in bodem}) / N\text{-input}$

#### Interne stikstofstromen

Het model maakt het mogelijk om de totale N-opname van gewassen en groenbemesters te bepalen, inclusief N in gewasresten en wortelmasse. Dit getal, als gemiddelde N-opname  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ , kan vergeleken worden met de N-afvoer met producten, wat een beeld oplevert van de interne N-stromen. Deze berekening is gemaakt voor plot 71 en 76 en staat in Figuur 15.



**Figuur 15** Procentuele verdeling van de gemiddelde N-opname over verschillende categorieën. Links Plot 71 (Standaard), rechts plot 76 (NKG).

Het verschil is gering. De opbrengst is bij plot 76 iets hoger waardoor ook de gewasrest relatief iets toeneemt. Twee derde deel van de gemiddeld opgenomen N wordt afgevoerd, één derde deel blijft op het veld.

## 5.2.4 Fosfaat

### Fosfaatbalans

Bij fosfaat is geen dynamische berekening voorhanden. Het gaat uitsluitend om een aan- en afvoer, en een vergelijking met de wettelijke normering. Zie *Tabel 18*. Ter vergelijking zijn gegevens gebruikt uit KWIN (Voort 2018).

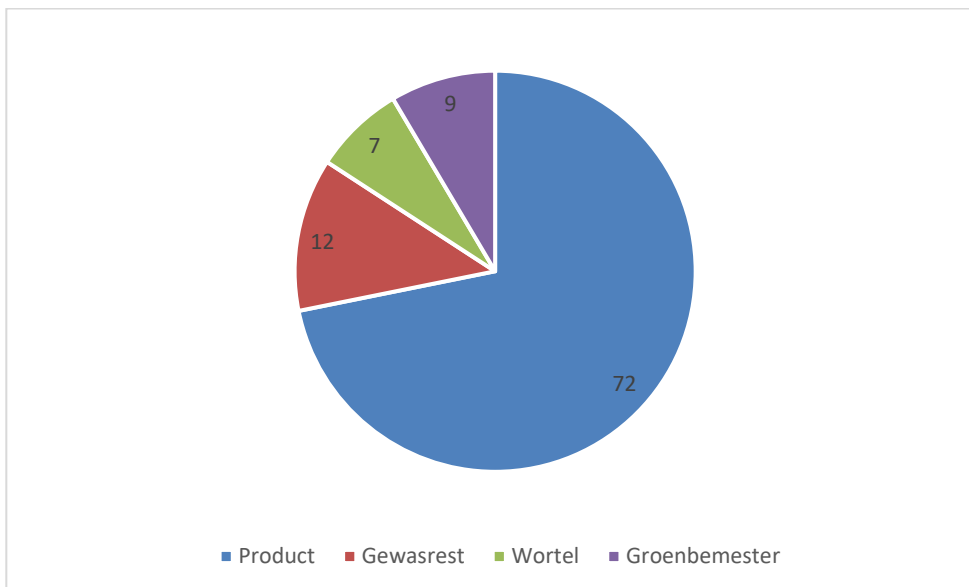
**Tabel 18** Fosfaat aan- en afvoer vergeleken met wettelijke norm en evenwicht.

Opbrengst niveau	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -aanvoer	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -afvoer	Resultaat	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aanvoer norm	Wettelijke P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ruimte boven aanvoer	extraP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ruimte bij evenwicht	Gewenste P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ruimte bovenwettelijk	OS resultaat
-10%	61	66	-5	60	-1	5	6	-103
Standaard	61	73	-12	60	-1	12	13	referentie
10%	61	80	-19	60	-1	19	20	104
KWIN	58	54	4	60	2	-4	nvt	nvt

De bemesting van het object Standaard is uitgevoerd met varkensdrijfmest en tripelsuperfosfaat (vanaf 2017 bij de aardappelen). Deze bemesting ligt een fractie hoger dan de wettelijke toegestane hoeveelheid. De afvoer ligt aanzienlijk hoger. Dit komt redelijk goed overeen met een andere data-analyse over BKV (de Haan en anderen 2020). Een vergelijking met KWIN (Voort 2018) toont dat de geadviseerde aanvoer vrijwel op de wettelijke norm ligt, maar dat de veronderstelde afvoer aanzienlijk lager ligt dan wat op BKV gerealiseerd wordt.

### Interne fosfaatstromen

De interne fosfaatstromen staan in *Figuur 16*.



**Figuur 16** Procentuele verdeling van de gemiddelde P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-opname over verschillende categorieën.

Bijna driekwart van de totale fosfaatopname verlaat het perceel; een kwart blijft intern en wordt als organisch fosfaat aan de bodem toegevoegd.



## 5.3 Systeemproof BASIS

### 5.3.1 Validatie voor maatregel NKG

In onderstaande paragrafen worden in NDICEA gemodelleerde verschillen getoond. Bij overigens gelijke behandelingen zullen er verschillen optreden omdat in het model een effect voor grondbewerking is ingebouwd, zie paragraaf 2.1.4 . Daarna wordt gekeken of de resultaten overeenstemmen met metingen van het organische stof gehalte.

Voor de NDICEA scenario's van perceel J9-4 is de RMSE bepaald, a.d.h.v. veldmetingen van N-min; zie *Tabel 19*.

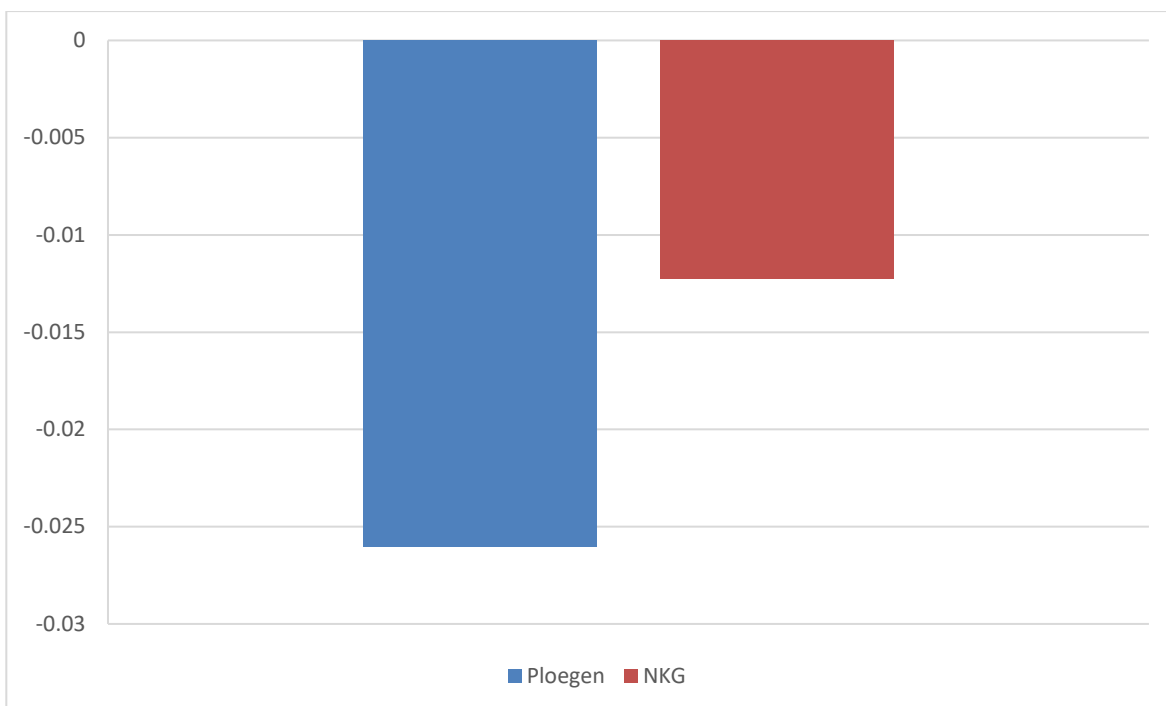
**Tabel 19** RMSE van de NDICEA scenario's van BASIS voor grondbewerkingsverschillen op perceel J9-4.

Proef	RMSE
BASIS – NKG	15,6
BASIS – Ploegen	13,4

De RMSE van beide scenario's valt ruim binnen  $20 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$  en zijn dus geschikt voor verdere analyse

### 5.3.2 Organische stof balans voor maatregel NKG

De veranderingen in het percentage organische stof per jaar (gemiddeld) voor de Ploegen en NKG varianten zijn weergegeven in *Figuur 17*. Het gaat om een gemodelleerd verschil.



**Figuur 17** Gemodelleerde verandering van OS per jaar. Beginwaarde OS bouwvoor: 3,2%.

Volgens de modelverwachting levert NKG een positieve bijdrage aan de OS balans ten opzichte van ploegen. De OS-verandering bij ploegen is met gemiddeld  $1024 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$  flink negatief. Dat kon in deze subplots niet met metingen ondersteund worden. Van andere plots (zie verderop: compost) is wel een meetreeks van OS bekend. Vanuit velddata wordt op BASIS een klein verschil gevonden ten gunste van NKG tussen Ploegen en NKG wat betreft organische stof (Wesselink en anderen 2022).

### 5.3.3 Stikstof dynamiek voor maatregel NKG

De stikstofbalansen van BASIS op basis van NDICEA resultaten worden in *Tabel 20* weergegeven:

**Tabel 20** Stikstofbalansen van systeemproef BASIS, waarbij Ploegen met NKG vergeleken is. Getallen in  $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  behalve N-efficiëntie, in %.

	Ploegen	NKG
Aanvoer Met Mest	119	117
Stikstofbinding	5	7
Depositie	25	25
Totaal Aanvoer	149	149
Afvoer Met Producten	103	106
Berekend Overschot	46	43
Vervluchtiging	10	9
Denitrificatie	18	17
Uitspoeling	54	43
Opbouw organische N	-31	-20
N-efficiëntie (1)	69	71
N-efficiëntie (2)	48	58

*N-efficiëntie (1): N in product / N-input*

*N-efficiëntie (2): (N in product + toename N in bodem) / N-input*

Door de verondersteld geringere afbraak van organische stof bij NKG komt er minder stikstof uit mineralisatie beschikbaar. Bij zo goed als gelijke opbrengst leidt dat tot kleinere verliezen, met name uitspoeling, en tot een kleinere afname van de bodem organische N. de N-efficiëntie (1) is daardoor voor NKG iets hoger dan voor Ploegen, en de N-efficiëntie (2) flink hoger. N-efficiëntie (2) is in beide gevallen aanzienlijk lager omdat vrijkomende N uit de bodem niet benut wordt.

### 5.3.4 Organische stof dynamiek voor maatregel OS aanvoer: Maaimeststof (MMS)

Er is gebruik gemaakt van gegevens van perceel J10-3 (gangbaar), veldnummers 27, 28, 33 en 34 (herhalingen) en subveldjes B (mest; standaard), C (MMS lage dosering) en D (MMS hoge dosering, meestal het dubbele van lage dosering), 2012-2019.

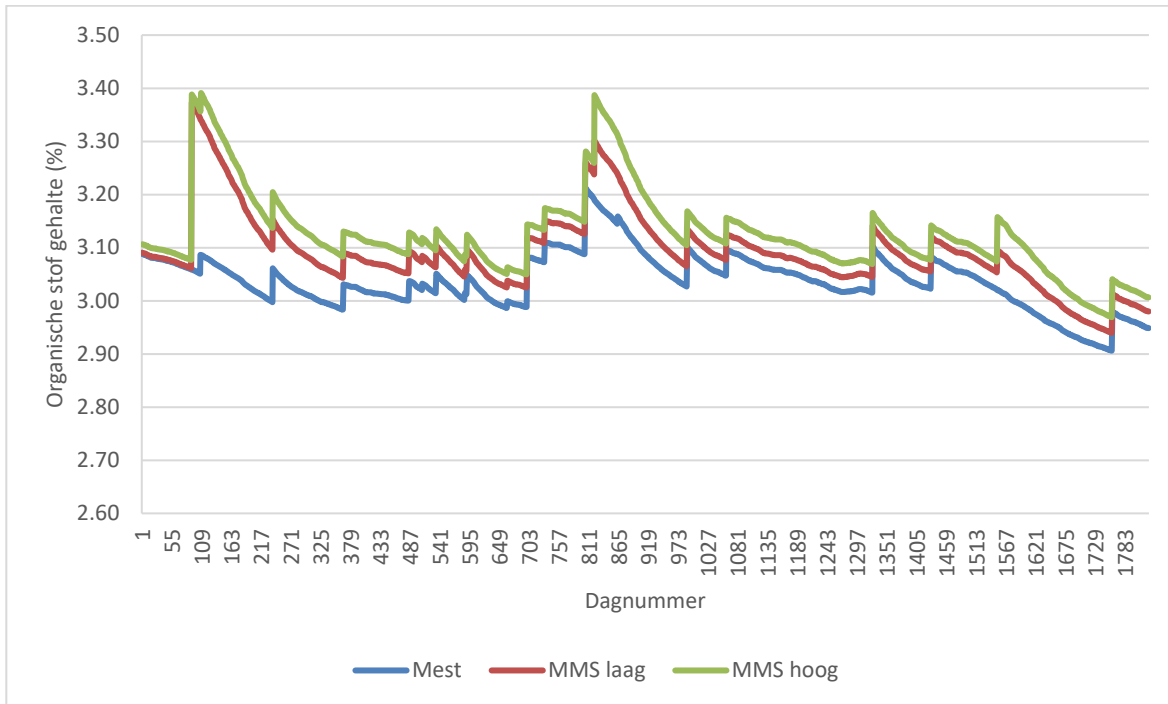
De gemiddelde opbrengsten van de vier herhalingen zijn gebruikt als input voor NDICEA. De dataset loopt van 2012 tot en met 2019, maar er zijn opbrengsten gemeten vanaf 2015. Voor 2012-2014 zijn wat opbrengst betreft de drie varianten als identiek aangenomen en gebaseerd op inschattingen vanuit de hele BASIS-dataset. Verschillen in bemesting (de drie behandelingen) zijn er vanaf 2012. Om een zo zinvol mogelijke vergelijking te kunnen maken zijn de drie NDICEA scenario's elk in twee delen geknipt: 2012-2014 en 2015-2019. De eerste drie jaar (met bemestingsverschillen, zonder opbrengstverschillen) worden gebruikt om de initiële bodem organische stof van de volgende jaren te bepalen. Daarmee wordt in de uiteindelijke resultaten (2015-2019) het verschil in bemesting van 2012-2014 meegenomen, maar worden de gemeten (opbrengst)verschillen van uitsluitend 2015-2019 in een vergelijking tussen de standaard en de MMS behandelingen meegenomen.

Na drie jaar behandelingsverschillen zijn er kleine verschillen in de bodempools ontstaan per januari 2015, zie *Tabel 21*. Alleen de pool Jong vertoont verschillen tussen de behandelingen op de drie parameters Hoeveelheid, N-gehalte en Virtuele beginleeftijd. Mest en MMS laag hebben vrijwel eenzelfde totaalhoeveelheid bodem organische stof, en MMS hoog heeft iets meer organische stof met een iets hogere N-concentratie. De waarden uit *Tabel 21* zijn gebruikt in de scenario's voor 2015-2019.

**Tabel 21** NDICEA-bodempool parameters na 2012-2014.

Behandeling	Pool	Hoeveelheid (kg/ha)	N (%)	Virtuele begin leeftijd (jaar)
Mest	Oud	110815	6,1	24
	Jong	8985	4,2	2,9
	Vers	5277	2	1,5
MMS laag	Oud	110815	6,1	24
	Jong	9078	4,2	2,8
	Vers	5277	2	1,5
MMA hoog	Oud	110815	6,1	24
	Jong	9729	4,3	2,8
	Vers	5277	2	1,5

De opbrengsten in de drie systemen tonen een klein verschil, wisselend over de verschillende teelten en jaren, met gemiddeld een kleine meeropbrengst voor de twee MMS systemen (zie stikstofbalans, afvoer met producten, Tabel 22). De meeropbrengst zit vooral in de grasklaver opbrengst, maar is statistisch niet significant vanwege grote variabiliteit tussen de vier snedes. In Figuur 18 worden de verschillen in het verloop van de organische stof tussen de drie behandelingen in beeld gebracht.



**Figuur 18** Verloop organische-stofgehalte (%) in de laag 0-30 cm.

Op dag 91 ontstaat een groot verschil tussen enerzijds Mest en anderzijds MMS laag resp. MMS hoog door een zware gift Maaimeststof (22,6 ton vers per hectare, met 65% ds). De giften voor MMS laag en MMS hoog waren toen identiek, maar bij MMS hoog werd nog additioneel 30 ton dunne mest gegeven. De organische stof van MMS breekt veel sneller af dan die van (dunne of vaste) mest, dus de pieken na MMS toediening zakken snel weer af. Uiteindelijk blijft er na deze negen jaar ten opzichte van de referentie een klein verschil over van 1272 kg OS bij MMS laag en 2335 kg OS bij MMS hoog.

### 5.3.5 Stikstofbalans voor maatregel OS aanvoer: Maaimeststof (MMS)

In Tabel 22 staan de stikstofbalansen voor de drie behandelingen mest (referentie), MMS laag (20 ton ha<sup>-1</sup>jr<sup>-1</sup>) en MMS hoog (40 ton ha<sup>-1</sup>jr<sup>-1</sup>).

**Tabel 22** N-balans, in kg ha<sup>-1</sup>.

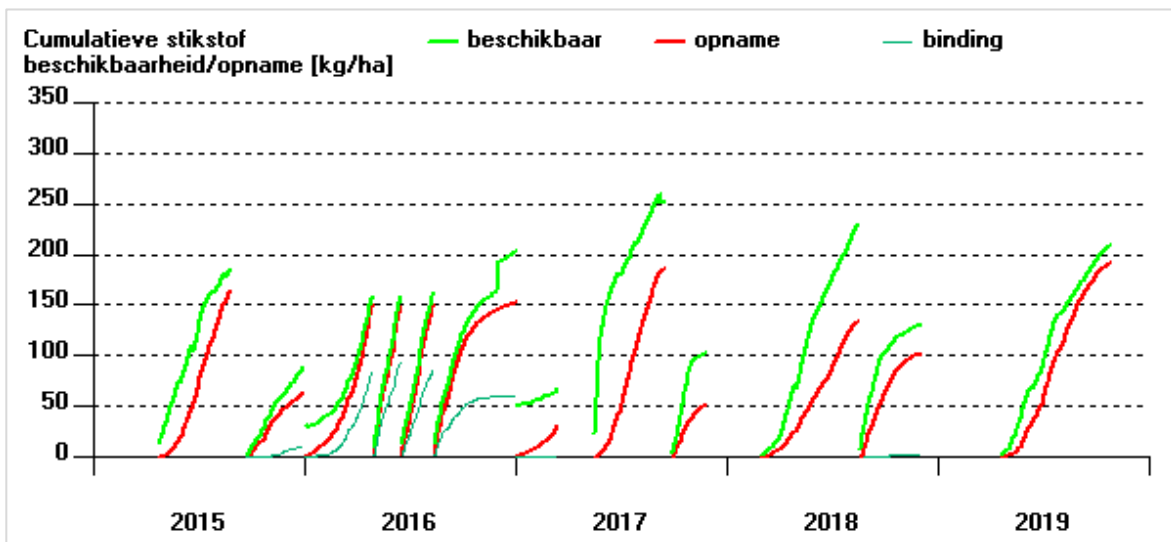
Variabele	Mest	MMS laag	MMS hoog
Aanvoer met mest / MMS	67	114	150
Stikstofbinding	66	65	56
Depositie	25	25	25
Totaal aanvoer	158	204	231
Afvoer met producten	148	159	159
Berekend overschot	9	45	72
Vervluchtiging	2	1	1
Denitrificatie	20	33	41
Uitspoeling	24	37	50
Opbouw N in OS	-36,6	-25,5	-20,1
N-efficiëntie (1)	94	78	69
N-efficiëntie (2)	71	65	60

N-efficiëntie (1):  $N$  in product /  $N$ -input

N-efficiëntie (2):  $(N$  in product + toename  $N$  in bodem) /  $N$ -input

De oplopende hoeveelheid aangevoerde stikstof leidt nauwelijks tot verhoogde opbrengst. Er vindt wel oplopende 'investering' in de bodem plaats (afnemende netto afbraak van bodem OS), maar een groot deel van de extra aangevoerde stikstof bij MMS laag en MMS hoog ten opzichte van Mest gaat verloren door denitrificatie en uitspoeling.

Dat de extra N-toediening met MMS nauwelijks leidt tot een meeropbrengst kan verschillende oorzaken hebben. Eén daarvan ligt in dit geval voor de hand. Bij het scenario met Mest is al sprake van een voldoende stikstofaanbod (Figuur 19). Dan valt nauwelijks te verwachten dat door een nog ruimer aanbod de opbrengst aanzienlijk zal stijgen. Met andere woorden: bij Mest lijkt stikstof niet de limiterende factor, en bij MMS laag en MMS hoog al helemaal niet. De gekozen doseringen MMS hebben dus vooral een negatief effect: hogere verliezen.



**Figuur 19** Stikstofbeschikbaarheid ten opzichte van gewasopname, behandeling Mest.

Met name in 2017 en 2018 ligt de N-beschikbaarheid ver boven de benodigde N (N-opname). Ook in de andere jaren is de stikstof niet limiterend.

### 5.3.6 Fosfaatbalans voor maatregel OS aanvoer: Maaimeststof (MMS)

Tabel 23 heeft betrekking op 2015-2019 met daarin onbemeste grasklaver. Het is dus een uitsnede uit de vruchtwisseling, wat de lage P-aanvoer bij 'Mest' verklaart.

Toevoegen van MMS heeft, net als bij stikstof, een zeer kleine verhoging van de afvoer tot gevolg, maar die staat in geen verhouding tot de extra aanvoer.

**Tabel 23** Fosfaat balans voor de drie behandelingen, in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>jr<sup>-1</sup>.

	Mest	MMS laag	MMS hoog
Aanvoer	35	57	70
Afvoer	57	59	59
Balans	-22	-2	11

### 5.3.7 Organische stof dynamiek en N- en P-balans voor maatregel OS aanvoer: compost

Op BASIS is de werkzaamheid van compost onderzocht op perceel J9-6. Binnen onderstaande vergelijking is gekeken naar de grondbewerking 'Ploegen' bij een gangbare bedrijfsvoering, en is de controle vergeleken met 20 ton (C20) en 40 ton (C40) compost per jaar (10 van de 12 jaren), gemiddelde gegevens van vier herhalingen. De gegevens zijn ingevoerd in NDICEA. Er waren geen N-mineraal data beschikbaar, wel vier momenten waarop de bodem organische stof gemeten is (2011, 2014, 2016, 2021).

Het gemeten gehalte organische stof toont een zeer sterke daling. De laatste metingen, in 2021, laten een zeer sterke daling zien ten opzichte van 2016. Binnen het project Slim Landgebruik zijn in 2019 ook metingen verricht (Koopmans en anderen, 2019). Deze metingen (C-elementair, OS-gloeiverlies, OS-NIRS) zijn onderling niet consistent: de ene labmethode lijkt te duiden een sterke daling en een andere juist op een stabiel niveau. Hier liggen vragen over de betrouwbaarheid van de metingen van organische stof en koolstof. Bij gebrek aan beter is gebruik gemaakt van de organische stof data van de vier bovengenoemde jaren en niet die uit Slim Landgebruik 2019.

Binnen NDICEA bleken de default waarden voor initiële organische stof (hoeveelheid, N-gehalte, initiële afbraaksnelheid) en algemene afbraaksnelheid niet in staat de sterke afbraak te simuleren. Door handmatig aan te passen, met sterk afwijkende waarden, kon wel een redelijke vergelijkbare afbraak gesimuleerd worden, maar dan nog steeds te weinig afbraak.

Dit heeft gevolgen voor de hier gemaakte vergelijking: de algemene NDICEA afbraakfactor is met 1,60 bijna twee keer zo hoog als de default waarde (0,82 voor dit type grond), en dat betekent dat de compost dus ook twee keer zo snel wordt afgebroken. Dat is in lijn met de metingen (zie de opmerking over de metingen hierboven): de verschillen tussen de behandelingen zijn (iets minder dan) de helft van wat op grond van de default afbraaksnelheid en op grond van de humificatie coëfficiënt 0,90 van compost verwacht mag worden.

**Tabel 24** OS-, N- en P-balans over 12 jaar, en N-efficiëntie.

Factor	Eenheid	Controle		C20				C40			
		Input	Eind	Input	Eind	Vershil t.o.v. controle	Vershil (%)	Input	Eind	Vershil t.o.v. controle	Vershil (%)
OS	t ha <sup>-1</sup>	0	83	31	97	14	45	64	111	28	44
N	kg ha <sup>-1</sup>	1380	-208	2710	487	280		4032	1180	972	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg ha <sup>-1</sup>	788	132	1488	852	720		2208	1572	1440	
N-efficiëntie (1)	%	85		44				30			
N-efficiëntie (2)	%	70		62				59			

*N-efficiëntie (1): N in product / N-input*

*N-efficiëntie (2): (N in product + toename N in bodem) / N-input*

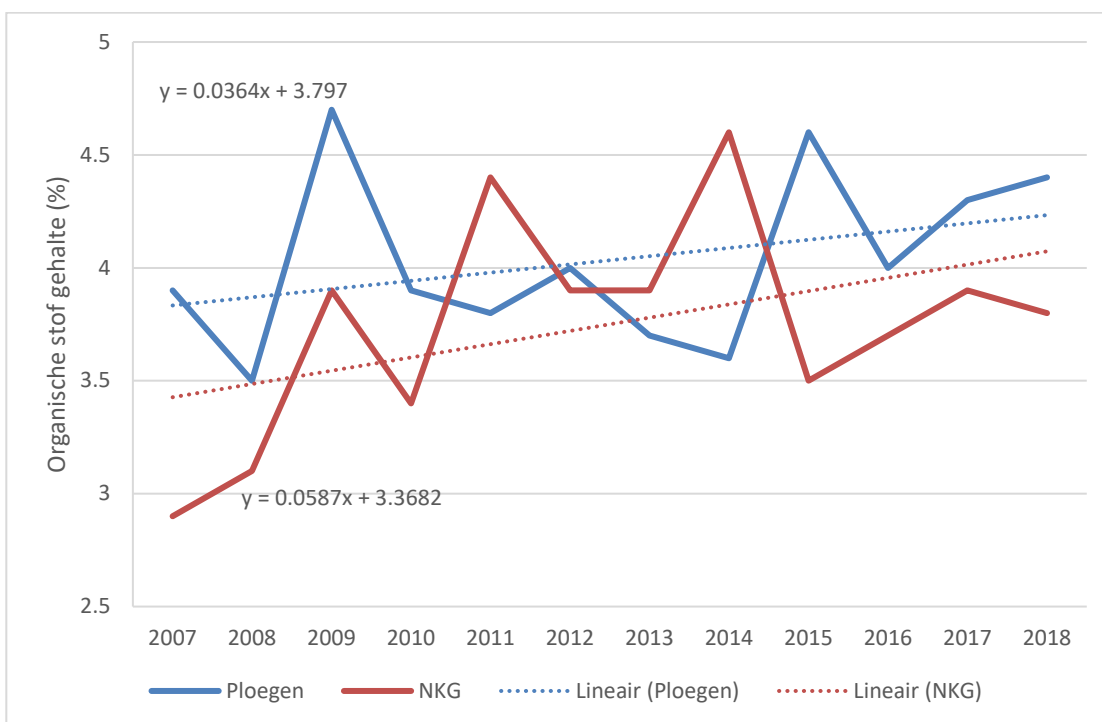
## 5.4 Systeemproof Bodemkwaliteit Zand (BKZ)

### 5.4.1 Validatie voor de maatregel NKG

Er is gebruik gemaakt van de plots 18.1a (ploegen) en 27.1a (NKG) over de jaren 2007-2018. De vruchtwisseling van 18.1a is echter een jaar verschoven ten opzichte van die van 27.1a wat een directe vergelijking niet goed mogelijk maakt. De RMSE bedroeg respectievelijk 29,6 en 24,6 en dat is te hoog voor een betrouwbare modellering. Deze twee gecombineerd maken dat de verdere beschrijvingen voor zover het de NDICEA modelleringen betreft met onzekerheid omgeven zijn.

### 5.4.2 Organische stof dynamiek voor de maatregel NKG

Van beide plots zijn meetreeksen organische stof aanwezig, zie *Figuur 20*.



**Figuur 20** Organische stof metingen.

Voor beide behandelingen is sprake van een stijgende trendlijn; die van NKG stijgt sterker dan die van Ploegen. Bij NKG zou op basis van de trendlijn 900 kg per jaar méér organische stof aanwas zijn dan bij Ploegen.

### 5.4.3 Stikstofbalans voor de maatregel NKG

Voor de twee plots zijn in NDICEA stikstofbalansen opgesteld. Die staan in Tabel 25. Zoals opgemerkt zijn deze balansen wegens te grote RMSE met onzekerheid omgeven.

**Tabel 25** Stikstofbalansen van systeemproef BKZ, waarbij NKG met ploegen vergeleken is. Getallen in kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.

Variabele	N Ploegen	N NKG
Aanvoer Met Mest	243	202
Stikstofbinding	11	24
Irrigatie	2	2
Depositie	25	25
Totaal Aanvoer	281	253
Afvoer Met Producten	148	109
Berekend Overschot	133	144
Vervluchtiging	14	11
Denitrificatie	25	23
Uitspoeling	117	120
Opbouw organische N	-13	1
N-efficiëntie (1) %	53	43
N-efficiëntie (2) %	48	43

*N-efficiëntie (1): N in product / N-input*

*N-efficiëntie (2): (N in product + toename N in bodem) / N-input*

Er is sprake van een groot verschil in aanvoer van mest en een groot verschil in afvoer met producten (opbrengst). Mede gezien de verschuiving van de vruchtwisselingen in de tijd kan dit verschil niet toegewezen worden aan de behandeling NKG. Op dit punt levert het onderzoek dus geen nieuwe inzichten op.

#### 5.4.4 Fosfaatbalans voor de maatregel NKG

Afgezien van incidentele verschillen in bemesting is de fosfaataanvoer voor beide systemen identiek. De afvoer is bij NKG lager dan bij Ploegen maar dit is niet het gevolg van een systematisch verschil in opbrengst. De P-balans gemiddeld per jaar is derhalve vergelijkbaar voor beide systemen. Toch kan er sprake zijn van een klein effect indien niet louter de P-balans op (gemiddeld) jaarbasis bekeken wordt maar ook de opbouw van organische stof erbij betrokken wordt, zoals ook bij de benadering van de N-balans bepleit wordt.

## 5.5 Samenvattend overzicht OS- N- en P-balansen

Tabel 26 geeft een samenvattend overzicht van de balansuitkomsten van de modelberekeningen. Voor een volledig overzicht van de belangrijkste kengetallen uit de modelberekeningen wordt verwezen naar *Bijlage 3*.

#### *OS:N:P overschotten*

De onderzochte maatregelen en systemen kunnen niet alleen verschillen wat betreft in de overschotten op de OS-, N-, en P-balans, maar ook in de verhouding van deze overschotten (Tabel 26). In het algemeen kan een hogere OS-balans als positief worden gezien en maar zijn hogere N- en P-balansen juist niet gewenst. Dit gegeven kan de basis zijn voor een uitbreiding van de evaluatie van maatregelen en systemen. Bijvoorbeeld de maatregel 'Tagetes in plaats van Gerst + groenbemester' leidt in BKV tot een negatieve OS-balans, minder N-vastlegging en grotere N-verliezen, maar daar staat een verbetering van de P-overschot tegenover. Een voorbeeld van een vergelijking van teeltsystemen is de aanvoer van compost in Planty Organic en BKV. Tabel 26 laat zien dat deze maatregel in beide systemen leidt tot vergelijkbare overschotten op de P-balans, maar dat het overschot op de OS- en N-balansen aanzienlijk verschilt. In dit voorbeeld kan het verschil worden verklaard uit de andere hoeveelheden compost die gemiddeld jaarlijks werden aangevoerd (bij BKV veel meer) en uit verschillen in N-gehalte van de gebruikte compost (bij BKV hoger).

**Tabel 26** Overzicht balansoverschotten en -tekorten van geselecteerde maatregelen in geselecteerde systeemproeven (in kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, berekend over 12 jaar).

Maatregel	Systeem	Planty Organic	BKV	BASIS	BKZ
Referentie	OS	33	-428	-3906	-312
	N	27	75	48	117
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33	-6	11	-1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aanvoer: VGM i.p.v. MMS	OS	-125			
	N	*1			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aanvoer: RDM i.p.v. MMS	OS	-13			
	N	*1			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33			
		12 ton	10 ton	20 / 40 ton	10 ton
OS aanvoer Compost	OS	1650	1713	-2727 / -1555	713
	N	75	195	149 / 256	160
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3	14	71 / 131	20
				laag / hoog	
OS aanvoer MMS *2	OS			+1272 / +2335	
	N			+35 / +62	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			+20 / +33	
NKG *3	OS	665	-425	-3339	-100
	N	37	71	48	131
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-33	-8	11	12
Tagetes i.p.v. Gerst + groenbemester	OS		-519		
	N		76		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		-6		

\*1 In Planty Organic is bij vervanging van MMS door RDM of VGM volgens de modelberekeningen te weinig stikstof beschikbaar om de veronderstelde opbrengst te kunnen halen. Dan is er geen uitspraak meer mogelijk over de N-dynamiek.

\*2 Bij BASIS is het effect van MMS niet over de volle scenario lengte berekend. De getallen hier hebben betrekking op 4 jaar en zijn de waarden t.o.v. geen MMS aanvoer in vier jaar.

\*3 Bij Planty organic is NKG de referentie, bij de andere proeven is ploegen of spitten de referentie.

### Planty Organic

Bij uitsluitend intern aanvoer is er sprake van een minieme daling van de OS (-21 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>), een verlies van 25 kg en een opbouw van bodem-N van 5 kg ha<sup>-1</sup>jr<sup>-1</sup>. Door **extra** aanvoer van compost op basis van P-evenwicht in de balans is de OS balans sterk positief, het N-verlies iets groter (27 ipv 25) kg) en de N-opbouw aanzienlijk groter (54 ipv 6). De P-balans is dan nul.

Indien MMS **vervangen** wordt door Rundvee Dunne Mest (RDM) of Vaste Geiten Mest (VGM) op basis van gelijke vracht P in RDM en VGM als wat in MMS aanwezig is, is de OS balans bij RDM vrijwel gelijk aan die van MMS: minder aanvoer (Tabel 7) maar tragere afbraak. Bij VGM wordt de OS balans sterker negatief. NKG (in dit geval de standaard werkwijze vergeleken met ploegen (uitsluitend modelberekening) levert een hogere OS opbouw op, een hogere N-vastlegging in die OS en een lager verlies.



---

### *BKV*

Aanvoer van compost vergroot de opbouw van OS en bodem-N aanzienlijk maar vergroot ook de verliezen omdat de opbrengst nauwelijks beïnvloedt wordt. Het fosfaatoverschot neemt sterk toe. In de tabel is gerekend met de extra P uit compost; in de proef is de totale P-toevoer bij behandeling 'compost' deels gecompenseerd door een lagere aanvoer uit kunstmest. Als dat verdisconteerd wordt is het verschil in overschot niet 33 maar 25.

### *BASIS*

Extra compost heeft een sterk effect op alle vier de parameters uit de tabel; alle overschotten nemen toe. De opbrengst wordt nauwelijks beïnvloed.

Extra toevoer van MMS heeft deels een vergelijkbaar effect als compost, met één belangrijk verschil. Omdat de afbraak van MMS veel sneller verloopt dan bij compost is de bijdrage aan OS opbouw en de bodem-N veel lager, maar zijn de verliezen relatief hoger.

NKG ten opzichte van ploegen heeft een licht positief effect op zowel OS balans als N-balans. De OS balans wordt minder negatief, en de N-balans wordt ook positief bijgesteld. De (in het model veronderstelde) verminderde N-mineralisatie door NKG leidt tot iets betere resultaten.

### *BKZ*

Het positieve effect van NKG op opbouw bodem OS ( $900 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) is afgeleid uit metingen. Op basis van modellering nemen de N-verliezen iets af en neemt de opbouw van bodem-N iets toe.

---

# 6 Discussie

## 6.1 Introductie

In hoofdstuk 1 zijn de kennisvragen geformuleerd die in dit onderzoek zijn opgepakt. Het betrof een zoektocht naar een integrale interpretatie van OS – N – P balansen, en de mogelijkheden om (regionale) kringlopen te sluiten. Daarnaast lagen er twee methodische vragen hoe een zo informatief mogelijke organische stof balans en stikstofbalans op te stellen en een op beleid gerichte vraag over de relatie tussen wettelijke P-aanvoer en werkelijke P-afvoer. Vanuit deze invalshoeken worden hieronder de resultaten van dit onderzoek besproken (paragraaf 6.2). Daarop volgt een meer algemene beschouwing (paragraaf 6.3) en de afwegingen rondom de kennisvragen (paragraaf 6.4).

## 6.2 Reflectie op de resultaten uit het onderzoek

### 6.2.1 Effect van uitsluitend intern OS-aanvoer op de OS-N-P balansen

In dit onderzoek is één systeem betrokken zonder externe aanvoer van OS (Planty Organic). Daarnaast is op BKV een systeem aanwezig vrijwel zonder externe aanvoer van OS. Dat wordt hier aangehaald.

#### *Planty Organic*

Onder de gegeven omstandigheden van het experiment kan een biologische akkerbouwrotatie gehandhaafd worden met een stabiele OS, een hoge N-efficiëntie en negatieve balansen voor alle overige nutriënten. N-binding en N-beschikbaarheid zijn limiterende factoren voor de productie. Aanvoer van compost tot P-evenwicht, hier  $36 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ , lijkt op korte termijn de productiviteit niet of nauwelijks te kunnen verhogen. Op langere termijn zou het wel de N-beschikbaarheid kunnen verhogen en mogelijk de bodemkwaliteit verhogen waardoor de productie hoger kan komen te liggen, maar daar tegenover staat een toenemend risico op uitspoelingsverliezen in najaar en winter. Verhoging van het organische stof gehalte zal dus altijd gepaard moeten gaan met (verdergaande) maatregelen om uitspoeling te voorkómen.

#### *BKZ*

Voor een goed begrip van het doorgerekende BKV-systeem wordt een vergelijking gemaakt met een ander BKZ-systeem, nl. 'Laag', Dit is een systeem vrijwel zonder externe aanvoer van OS (De Haan en anderen 2018a). In dat systeem 'Laag' ten opzichte van 'Standaard' blijkt de OS bij 'Laag' lager te liggen dan bij 'Standaard' maar wel stabiel te zijn. De P-aanvoer is gelijk, de P- en N-afvoer iets lager bij 'Laag' door iets lagere opbrengsten. Het N-bodemoverschot is lager bij 'Laag', wat zich vertaalt in minder uitspoeling en een lager nitraatgehalte in het grondwater. Dit is een voorbeeld van een systeem vrijwel zonder externe OS-aanvoer en een uitgekende nutriënten aanvoer uit kunstmest en OS-arme mestsoorten van dierlijke herkomst. De N-efficiëntie is gelijk voor beide systemen, berekend volgens methode 1: afvoer/aanvoer. Berekend volgens methode 2 ((afvoer + bodemmutatie)/aanvoer) zal voor systeem 'Standaard' iets hoger uitpakken vanwege de lichte toename van bodem-N wat geen verliespost is. Dat is in het genoemde rapport niet berekend. Een berekende schatting van de N-vastlegging ziet er uit als in *Tabel 27*. De bovenste berekening gaat uit van het gemeten verschil in procentpunt en de gemeten C/N en een aantal aannames, De onderste berekening gaat uit van gemeten verschil in bodem N-totaal en aanname bulkdichtheid.

**Tabel 27** Twee berekeningen/schattingen van N-opbouw 2004-2011, BKZ OS-aanvoer 'Standaard' ten opzichte van 'Laag', 0-30 cm.

Verschilmeting	0,4	Procentpunt
Aanname	1,35	Bulkdichtheid
Berekening	16200	Kg OS verschil
Aanname	50	% C in OS
Meting	21	C/N
Berekening	386	kg N verschil
Aanname	7	aantal jaren
Berekening	55	N-vastlegging per jaar
Verschilmeting	60	N mg/kg grond
Berekening	243	kg N verschil
Berekening	35	N-vastlegging per jaar

De uitkomst van de twee berekeningen ligt in de zelfde grootteorde: 35-55 kg N die per jaar wordt vastgelegd in 'Standaard' ten opzichte van 'Laag'. Dat is een substantiële hoeveelheid ten opzichte van de aanvoer. De derde, indirecte methode is het verschil in aangevoerde N via mest: bij 'Standaard' 33 kg meer dan bij 'Laag'. De N-efficiëntie methode 2 ligt voor 'Standaard' aanzienlijk hoger dan bij methode 1: 76 ten opzichte van 59%. Voor 'Laag' maakt de berekeningsmethode niets uit omdat de bodem N mutatie nihil is.

Beide systemen (Planty Organic en BKZ-'Laag') laten zien dat afwezigheid van externe OS aanvoer weliswaar kunnen leiden tot evenwicht in OS en relatief of absoluut lage(re) verliezen van N door uitspoeling, maar dat er minder of meer op productievermogen wordt ingeleverd.

### 6.2.2 Externe aanvoer in de LTE vergelijkingen.

Aanvoer van organische stof in de vorm van dierlijke mest speelt een rol in de verschillende LTE's maar niet als factor voor een vergelijking. In vergelijking liggen experimenten met compost en maaimeststof MMS.

#### Compost

De experimenten met compost leiden op korte termijn niet of nauwelijks tot hogere opbrengsten. Dat blijkt uit de metingen op BKV, BASIS en BKZ (hier niet beschreven). Ook de modelbenadering bij de extrapolatie van Planty Organic laat vrijwel geen opbrengststijging toe. Een verklaring hiervoor is dat compost met zijn lage initiële afbraaksnelheid (hoge humificatiecoëfficiënt, Handboek Bodem en Bemesting) een zeer lage en langzame N-mineralisatie met zich meebrengt en de overige aspecten van bodemkwaliteit slechts langzaam beïnvloedt. Op Planty Organic, sterk stikstof gelimiteerd, is de N-levering dusdanig laag dat er nauwelijks extra ruimte voor productie ontstaat in de eerste jaren van toediening. Bij de andere drie systemen is niet systematisch sprake van beschikbare stikstof die de productie limiteert, dus daar mag vanuit N-dynamiek niet eens een effect verwacht worden.

Compost is zeer effectief als het gaat om in één keer veel OS toe te voegen die ook nog eens lang aanwezig blijft (hoog aandeel EOS). Veel van de positieve eigenschappen die aan organische stof worden toegekend zullen echter maar zeer traag tot expressie komen: veel toevoegen is nog steeds weinig ten opzichte van de aanwezige voorraad. De vaak hooggespannen verwachtingen van de effecten van organische stof toevoer (voor de werking: zie Zwart en anderen, 2013) worden door Ros (2020) genuanceerd: het gaat langzaam en de effecten zijn klein.

#### MMS

Maaimeststof is als factor onderzocht op BASIS (extern aangevoerd) en speelt een dominantie rol in Planty Organic (intern).

De bij BASIS aangevoerde MMS in verschillende doseringen is opgebracht als *extra* bemesting. Er is dus niet gecorrigeerd in andere bemestingen voor N-aanvoer. Deze toevoeging leidt niet tot hogere opbrengsten, wel tot een iets hoger OS gehalte, tot hogere verliezen, een lagere N-efficiëntie en een negatief effect op de P-

---

balans. Dit is goed te verklaren uit de eigenschappen van het systeem (geen stikstof-beperking) en de eigenschappen van de groene mest (lage humificatiecoëfficiënt).

Bij Planty Organic is MMS de enige directe (interne) bemesting in een stikstof gelimiteerd systeem. Hier maakt MMS wel het verschil uit, met name in de N-levering. De bijdrage aan de organische stof voorziening is minder dominant, maar nog steeds substantieel. De overige interne OS-stromen zijn daarnaast belangrijk.

### *Compost versus MMS*

Compost en MMS zijn in zeker opzicht tegenpolen: lage respectievelijk hoge initiële afbraaksnelheid, en hoge respectievelijk lage N-levering in het eerste jaar van toediening. Van een in het voorjaar toegediende compost zal 5-10% van de stikstof dat jaar mineraliseren; voor MMS kan dat oplopen tot 60% (modelberekening NDICEA)

### *Vruchtwisseling*

Door een aanpassing in de vruchtwisseling kan meer interne organische stof geproduceerd worden, evenals door het niet meer verkopen van stro. Dit wordt verkend in het project Slim Landgebruik. Graan speelt daarbij een hoofdrol vanwege de toevoer van wortelresten, vanwege de mogelijkheid om stro in te werken en vanwege de mogelijkheid om groenbemesters vroeg in te zaaien. Vruchtwisseling was alleen onderdeel van de vergelijking op BKV waar de teelt van zomergerst + groenbemester werd vergeleken met een hoofdteelt Tagetes ten dienste van aaltjesbeheersing. Deze maatregel had een positief effect op de mineralenbalansen en de bedrijfseconomie (De Haan en anderen 2020) maar een licht negatief effect op de OS-balans.

Uit andere rapporten zoals die binnen het project Slim Landgebruik blijkt vruchtwisseling naast toepassing van compost een belangrijke factor als het gaat om impact op de OS balans in de akkerbouw (Timmermans en anderen 2022; Schepens en anderen 2022).

## 6.2.3 Externe OS-aanvoer algemeen

Aanvoer van buiten is makkelijk maar wettelijk beperkt. Behalve OS komen er ook mineralen mee in bepaalde verhoudingen. Met wat rekenwerk en een mix aan meststoffen kan een redelijk (mineralen)evenwichtig bemestingsplan opgesteld worden. De N-dynamiek daarvan kan verfijnder bekeken worden dan via het gebruik van tabelwaarden door inzet van NDICEA, meerjarig. Bij 'nieuwe' reststromen kan een belemmerende factor zijn de onbekendheid van de mineralisatie van stikstof, in oude term de N-werkingscoëfficiënt, en in NDICEA-term de Initial Age. De samenstelling zal vaak wel bekend zijn en kan in ieder geval makkelijk gemeten worden; de afbraakcurve en N-levering vaststellen vergt ingewikkelder onderzoek zoals incubatieproeven (Hanegraaf en anderen, 2020; De Haan en anderen 2013; Van der Burgt en anderen 2010).

Voor organische mest en compost is een pakket aan beperkende wettelijke maatregelen geldig. Daar wordt hier niet op ingegaan. Alleen voor compost worden hier aanvullende opmerkingen geplaatst.

Compost is een zeer voorspelbare bron voor organische stof verhoging van landbouwgrond. OS-gehalte en C/N verhouding zijn bepalende factoren. Er zitten wel dilemma's aan vast:

- Organische stof: bij voortgezette toediening van compost zal het organische stofgehalte toenemen en zal een cumulatief effect gaan optreden in de N-mineralisatie door het hele jaar heen. Als dat niet leidt tot hogere opbrengsten zullen de verliezen aan stikstof alsnog toenemen en zal de N-efficiëntie afnemen. Hier komt het vraagstuk van de vruchtwisseling en de inzet van groenbemesters om de hoek: de N-efficiëntie zou beoordeeld moeten worden op vruchtwisselingsniveau, niet op gewas-, jaar-, en perceel niveau.
- Organische stof: ook los van een stikstofeffect kan opbrengstverhoging optreden door tal van (kleine of grotere) veranderingen in de bodemeigenschappen. Dit is onderbouwd in De Haan en anderen (2018a) maar de impact is vooral nog niet groot
- De wettelijke kant: er wordt een zekere N-werking toegekend die maar een fractie is van de totaal toegediende N. In termen van enkele jaren klopt dat aardig. Bij voortdurend gebruik komt echter

---

het cumulatieve effect in beeld, zie hierboven. Daar zal dan op gereageerd moeten worden om de systeemprestaties niet te laten dalen.

- De wettelijke kant: fosfaattoevoer boven de afvoer leidt tot ophoping en uiteindelijk tot gedeeltelijke uitspoeling. Door bij compost slechts een deel van het fosfaat mee te rekenen in de wettelijke bemestingsruimte wordt extra fosfaat toegevoegd aan een bodem die vaak toch al veel fosfaat bevat, wat vanuit P-oogpunt onnodig is en niet tot hogere opbrengsten zal leiden.
- De beschikbaarheid van compost is beperkt. De productie is minder dan 0,7 miljoen ton per jaar (afvalcirculair.nl). Per hectare akker- en tuinbouwgrond is dat minder dan 1 ton per jaar en kan dus op korte termijn nauwelijks een verandering teweeg brengen.
- Vervuiling van (groen-)compost met o.a. plastics vormt een andere belemmering in gebruik. Het Keurcompost Keurmerk komt hieraan tegemoet (www.keurcompost.nl), als ook eisen in de VVAK-certificering voor akkerbouwbedrijven.

#### 6.2.4 Behoeftte aan OS-aanvoer verlagen door maatregel NKG

Wintergaan, -koolzaad, -veldboon en gras(klaver)/luzerne hebben een lange periode zonder grondbewerking. De grondbewerking zelf kan daarnaast minder intensief worden: NKG of gereduceerde grondbewerking. Grondbewerking wordt verondersteld de afbraak van organische stof te versnellen, dus andersom zou NKG of andere vormen van gereduceerde grondbewerking de afbraak kunnen remmen en dus de noodzaak voor compensatie via aanvoer reduceren. De afbraak van organische stof remmen door verminderde grondbewerking is voor de Nederlandse LTE proefvelden echter niet aangetoond.

Dat het op het Planty Organic proefveld alleen met een verlaagde afbraakfactor in het model lukt om de organische stof dynamiek goed te modelleren is een aanwijzing maar geen bewijs. Zo ook de modelmatige vergelijking op BKV en BASIS in deze studie. Op BKZ lijkt NKG een gemeten effect te hebben op OS. Verder zou NKG via effecten op de opbrengst de efficiëntie van een akkerbouwsysteem kunnen beïnvloeden. Daarvan komt in de LTE's geen eenduidig resultaat naar voren, en voor zover er een positief effect is op de opbrengst is het beperkt en slechts voor enkele gewassen het geval. Een negatief effect op opbrengst komt ook voor (bij voorbeeld bij de teelt van peen; de Haan en anderen 2018a, Van Balen en anderen, (2023).

#### 6.2.5 OS-aanvoer en N-dynamiek

Een systeem dat drijft op gerichte en nauwkeurig gedoceede aanvoer van N kan een hoge N-efficiëntie bereiken. De extreme vorm daarvan is de volledig gecontroleerde groenteteelt in kassen waarbij grond en organische stof geen rol meer spelen. BKZ systeem 'Laag' is de volvelds variant die vermoedelijk nog aan N-efficiëntie kan winnen door in de tijd gespreide toediening, los van de vraag of dat praktisch en bedrijfseconomisch uitvoerbaar is.

Vrijwel iedere aanvoer van organische stof van buiten het systeem brengt stikstof mee, uitzonderingen daargelaten. De snelheid waarmee de stikstof door mineralisatie beschikbaar komt verschilt sterk per soort organische input, maar allen hebben een kleinere of grotere vertragingfactor. Daarnaast bevatten organische mesten meer of minder direct beschikbare minerale N.

##### *Minerale N in mest*

Een hoog aandeel minerale stikstof ten opzichte van organische stikstof verhoogt de directe werkzaamheid en verlaagt de (langzaam verlopende) bijdrage van de mineralisatie. Het is afhankelijk van gewas en timing of een hoog aandeel minerale N een voordeel biedt. Er zitten ook nadelen aan: tijdelijk onevenwichtig aanbod van stikstof voor het gewas, mogelijk negatief effect op regenwormen (www.goedbodembeheer.nl/drijfmest-en-regenwormen), risico van denitrificatie en risico op uitspoeling.

##### *Mineralisatie van N uit mest*

Naarmate de N-mineralisatie trager verloopt verschuift de mestsoort van 'meer plantenvoedend' naar 'meer bodemgericht'. Dat heeft gevolgen voor zowel het eerste seizoen van toediening, maar ook voor de jaren erna waarin *alle* eerder toegevoegde organische stof traag en temperatuur gedreven afgebroken wordt en stikstof levert.

Een landbouwsysteem dat meer gaat rusten op organische bemesting wordt dus automatisch een landbouwsysteem waarbij een toenemend aandeel van de beschikbaar komende stikstof niet uit de bemesting van dat jaar komt maar uit de bodem, dus uit alle toevoegingen van voorgaande jaren. Dat heeft twee gevolgen:

- Bij het opstellen van een bemestingsplan per gewas (perceel) wordt de voorgeschiedenis belangrijker. Het N-leverend vermogen uit de Eurofins analyses (<https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/n-leverend-vermogen>) probeert daar zicht op te geven. Modelleren is een andere methode waarbij een model gebruikt moet worden dat de interactie tussen C en N hanteert. Bij NDICEA is dat het geval, evenals bij het in Denemarken ontwikkelde model "Daisy" (Salazar en anderen, 2017; <https://daisy.ku.dk>). Het model Roth-C beschrijft uitsluitend de C-dynamiek (<https://www.rothamsted.ac.uk/rothamsted-carbon-model-rothc>).
- De N-mineralisatie is een jaarrond proces. Om verliezen door uitspoeling in met name najaar en winter te voorkomen zal een substantiële verschuiving van gewasgerichte N-bemesting naar bodemafhankelijke N-mineralisatie gepaard moeten gaan met aanpassingen in de vruchtvolgorde met als belangrijkste doel de opname van stikstof in de tweede helft van het seizoen te bevorderen om enerzijds beperkingen in beschikbare stikstof vroeg in het seizoen te omzeilen en anderzijds de vrijkomende stikstof voor de winter zo goed mogelijk te benutten.

### 6.2.6 N-aanvoer door vlinderbloemigen; vrijheidsgraad van stikstof

N-binding door vlinderbloemigen speelt een rol in de LTE's maar is niet als variabele in een vergelijkende veldproef opgenomen. Het heeft gevolgen voor de vruchtwisseling en de OS balans, en het beïnvloedt de N-balans zonder aanvoer van fosfaat. In LTE Planty Organic speelt N-binding de hoofdrol met 83 kg N aanvoer gemiddeld  $\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$  in de vorm van grasklaver MMS ( $319/6 = 53 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ ), Veldboon (mengteelt met tarwe) ( $118/6 = 20 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ ) en groenbemesters  $64/6 = 9 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ ). Deze aanvoer is ondeelbaar verbonden met de aanvoer van organische stof.

De stikstof die in de wortelresten van de vlinderbloemigen zit heeft een lage vrijheidsgraad (Burgt en Timmermans, 2008) want die kan niet verplaatst worden naar een ander perceel en mineralisatie begint zodra het gewas ingewerkt wordt of afsterft. Ook de bovengrondse delen van groenbemesters hebben een lage vrijheidsgraad. De maatregel MMS heeft een veel hogere vrijheidsgraad: het is verplaatsbaar en doseerbaar, en het moment van toediening kan gekozen worden. Het beschikbaar komen van N blijft daarna afhankelijk van met name temperatuur en vocht.

### 6.2.7 Perceel-interne N- en P-stromen

Wat betreft de organische stof balans worden de perceel-interne stromen vanouds al meegenomen in NDICEA. Voor stikstof is dat beeld veel minder eenduidig, en voor fosfaat nog minder.

#### Stikstof

De vergelijking tussen Planty Organic, het gangbare akkerbouwbedrijf van Kollumerwaard en BKV Standaard voor stikstof staat in *Tabel 28*. Onder 'Aandeel intern' wordt verstaan het procentuele aandeel stikstof dat door gewassen plus groenbemesters wordt opgenomen maar niet als product het bedrijf verlaat, op het perceel blijft en later stikstof gaat leveren door mineralisatie.

**Tabel 28** Vergelijking van drie systemen op N-karakteristieken.

Systeem	Input (kg N ha <sup>-1</sup> )	Productie (kg N ha <sup>-1</sup> )	N-efficiëntie (1) (%)	Aandeel intern (%)	Verlies (kg ha <sup>-1</sup> )
Planty Organic	104	77	74	68	25
Kollumerwaard Gangbaar	204	135	66	43	67
BKV standaard	197	121	61	34	105

Het Planty Organic systeem is volledig gericht op N-optimalisatie omdat het een N-gelimiteerd systeem is. Intuïtief zou vermoed kunnen worden dat een systeem met weinig productie ten opzichte van de interne stromen wel eens erg N-inefficiënt zou kunnen zijn. Dat is in het geval van Planty Organic het tegendeel.

---

Behalve een hoge N-efficiëntie is er ook nog eens sprake van extreem lage verliezen. De keerzijde is een aanzienlijk lagere productie: ruim de helft van de andere systemen.

Dit zijn slechts drie systemen naast elkaar waaruit niet zomaar conclusies over samenhang of oorzaak getrokken kunnen worden. De laatste twee kolommen nodigen echter wel uit tot nadenken en verder onderzoek: Een hoger aandeel interne N lijkt samen te gaan met lage verliezen.

De mogelijke bouwstenen voor een zeer N-efficiënt systeem zijn benoemd in van der Burgt en anderen (2021) en omvatten veel meer dan 'aandeel interne N'. Hier samengevat:

- Zo min mogelijk een hoog N-min gehalte in de bouwvoor
- Minimale vervluchtiging van N uit (kunst)mest
- N-input volledig plantaardig: geen N-min in de meststof \*
- Hoog aandeel interne N-kringloop \*\*
- Maximale grondbedekking in de tijd \*\*
- Maximale inzet van groenbemesters (zie vorige punt) \*
- Optimale bodemstructuur: vaste rijpaden \*
- NKG voor verminderde verstoring bodemleven\*
- Ruime vruchtwisseling en hoge eigen N-binding \*
- Maximale biodiversiteit, waaronder mengteelten \*

\* = in het ontwerp in te plannen

\*\* = makkelijk te kwantificeren en op te nemen in een tabel 'proxi's' voor N-efficiëntie'.

In een bedrijfsbeschrijving in het Bionext project 'Koplopers in kringlooplandbouw' wordt een akkerbouwbedrijf geanalyseerd met een zesjarige vruchtwisseling en in die zes jaar één mestgift van 40 ton vaste geitenmest (Van der Burgt 2022, ongepubliceerd intern rapport Bionext). Dit resulteert (modelberekening met NDICEA) in een zeer lichte daling van het OS gehalte, ten gevolge daarvan een onzichtbare maar wel reële toevoer van  $17 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ , P-evenwicht en een licht K-tekort op de balans. De N-efficiëntie (1) is 86%, N-efficiëntie (2) is 76%. Veel van de hierboven genoemde karakteristieken zijn van toepassing op dit bedrijf.

### Fosfaat

Bij 900 kg OS opbouw per jaar, zoals genoemd in paragraaf 5.4.4 over BKZ, is sprake van een kleine maar geleidelijke opbouw van P-organisch, dat uiteindelijk een klein effect zal hebben op de P-beschikbaarheid door extra afbraak van organische stof en het vrijkomen van P daarbij, net als bij N. Een heel ruwe inschatting leert dat bij een C:P ratio van 60 (Jindo et al. 2023) en een C-gehalte van 50% in de OS, hier jaarlijks  $17 \text{ kg P}_2\text{O}_5$  wordt vastgelegd in OS. Dat is aanzienlijk vergeleken met de P-aanvoer en beïnvloedt dus, net als bij N, de P-efficiëntie indien vastgelegd P niet als 'verlies' wordt meegeteld. Cumulatief heeft dat invloed, maar de mineralisatie en dus de invloed op plant beschikbaar fosfaat is, ook na jarenlange accumulatie, waarschijnlijk aanzienlijk geringer dan bovengenoemde  $17 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Of dat relevant is valt buiten het bestek van dit onderzoek.

Fosfaat heeft (dus) een aanzienlijke component 'interne kringloop'. De fosfaatdynamiek is echter aanzienlijk complexer dan die van de stikstof. Van Wijk (2016) geeft een ruwe kwantitatieve benadering van wat uit mineralisatie van (interne) fosfaat verwacht mag worden. Zowel op Planty Organic (P-deficit) als op gemengd biodynamische bedrijf Zonnehoeve (P-evenwicht) stijgt het relatieve aandeel organische P in de loop der tijd (Ongepubliceerde data Louis Bolk Instituut). De fosfaatopname verloopt heel anders dan bij stikstof. Bodemstructuur, beworteling en bodemleven spelen een belangrijke rol daarbij. Hier ligt nog een onderzoeksterrein braak als we naar een toekomst kijken met hooguit P-evenwicht maar misschien ook negatieve P-balansen in de akkerbouw. Het Planty Organic proefveld biedt daarvoor veldomstandigheden: stroken met en zonder P-aanvoer sinds 2021, waarvan de stroken zonder P-aanvoer sinds 2012.

### 6.2.8 Afweging gebruik grasklaver: verkoop of MMS

Veel biologische akkerbouwers en vollegrondsgroentetelers hebben, in tegenstelling tot gangbare collega's, grasklaver in de vruchtwisseling en hebben een reeks aan motieven om dat te doen (Multifunctionele vruchtwisseling, Vereijken en anderen, 1994, 1998). Meestal wordt het product verkocht en wordt er dierlijke

---

mest aangekocht of uitgeruild tegen het ruwvoer. Er zijn motieven om niet te verkopen maar als MMS op het eigen bedrijf in te zetten.

- Kosten. De betaling voor ruwvoer wordt afgewogen tegen de kosten voor mestaankoop. Als die verhouding verandert, bijvoorbeeld doordat het toegestane gebruik van gangbare mest in de biologische landbouw verder wordt afgebouwd (Voornemen Bionext, vakblad Ekoland, 2023-3) kan ook de afweging er anders uit gaan zien. Gepubliceerde cijfers (van der Burgt en anderen 2021; PP Presentatie bedrijf Zonnegoed 3 februari 2020 in Themadag Bodem, Dronten) laten zien dat de weg via MMS vooralsnog duurder is dan via de uitruil met mest, maar dat kan veranderen en de belangstelling neemt toe, zo blijkt uit lopende projecten ([www.agrifirm.nl/cooperatie/projecten/groene-mest-groningen/](http://www.agrifirm.nl/cooperatie/projecten/groene-mest-groningen/) ; <https://bionext.nl/thema-s/klimaat/koplopers-kringlooplandbouw/> ).
- Met de verkoop van grasklaver wordt niet alleen organische stof en stikstof afgevoerd maar ook P, K en alle andere nutriënten. De uitruil bij P-evenwicht van MMS met rundveemest of geitenmest is ongunstig voor de akkerbouwer wat betreft OS en N (zie paragraaf 5.1.3)
- In het traject tussen winning grasklaver en toepassing als MMS vindt een zeer gering N-verlies plaats (Ongepubliceerde metingen G.J. van der Burgt). In het traject via voer -> mest is het N-verlies door met name ammoniakvervluchtiging aanzienlijk, zie het Nederlandse stikstof depositie probleem. Als de biologische landbouw op eigen benen wil staan op het gebied van stikstof zal onvermijdelijk nagedacht moeten worden over de rol van dierlijke productie ten opzichte van direct plantaardige voeding voor de mens.

### 6.2.9 Organische-stofbalansberekening: methodiek

De gebruikelijke methode om zicht te krijgen op de OS balans is die via tabelwaarden voor effectieve organische stof EOS en een aangenomen afbraaksnelheid, vuistregel 2% van de hoeveelheid OS in de bouwvoor. Naast het voordeel van gebruiksgemak en lange traditie kleven er nadelen aan vast.

- Er wordt gewerkt met vaste hoeveelheden EOS voor gewassen en groenbemesters, onafhankelijk van opbrengst (gewassen) of zaaimoment (groenbemesters). Bij groenbemesters kan dat tot flinke overschattingen van de toegevoegde hoeveelheid EOS leiden omdat vaak de groenbemesters later worden ingezaaid dan wat in de tabelwaarden verondersteld wordt (handboek bodem en bemesting). Overigens is sinds de laatste update voor een selectie van de groenbemesters deze informatie wel beschikbaar.
- De afbraak wordt verondersteld voor alle bodems dezelfde default waarde te hebben. Bij de online versie van NMI is dat principe al losgelaten en is er een afhankelijkheid van textuur ingebouwd.
- Bij afwezigheid van een min of meer vaste vruchtwisseling kunnen de berekeningen van jaar tot jaar fluctueren.

Bij gebruik van NDICEA wordt aan het eerste bezwaar gedeeltelijk tegemoet gekomen omdat daar de organische stof toevoer afhankelijk is van opbrengst van de gewassen via een default harvest index die wel door de gebruiker aangepast kan worden. Voor groenbemesters moet de opbrengst ingeschat worden. De afbraak is textuur-afhankelijk. Dan gaat het niet alleen om de afbraak van de oudere bodem organische stof maar ook om die van de vers toegevoerde organische stof. De humificatie coëfficiënt wordt daarmee feitelijk fluïde: op zwaardere gronden hoger dan op lichtere gronden. Het derde nadeel van de EOS benadering wordt in NDICEA ingeruild voor een ander bezwaar: het gaat bij NDICEA om scenario's op perceelniveau, niet op bedrijfsniveau. Een goede inschatting van de bedrijfsbalans zou dan moeten bestaan uit een cumulatie van balansen over alle percelen. Bij een stabiele vruchtwisseling en bijbehorende bemesting valt dit nadeel weg: de uitkomst op perceelniveau valt zo goed als samen met die op bedrijfsniveau als het perceelscenario maar voldoende jaren omvat, namelijk een volledige vruchtwisseling.

De EOS benadering wint aan zeggingskracht door er een doorlopende balans van te maken, te weten het cumulatieve effect van opeenvolgende jaren. Beide benaderingswijzen (EOS; modellering) hebben een overeenkomend probleem: op korte termijn kan het resultaat niet getoetst worden aan veldmetingen.

Bij een online versie van de EOS benadering kan de opbrengst afhankelijke component in principe ingebouwd worden, evenals de textuurafhankelijke afbraaksnelheid. In beide rekenwijzen kan de opbrengst van de groenbemesters ingeschat worden in afhankelijkheid van zaaidatum, groeidiur en type groenbemester.



---

## 6.2.10 Kringlopen sluiten

Door verkoop van producten worden voortdurend nutriënten en organische stof afgevoerd. Een wat betreft organische stof stabiel landbouwsysteem inrichten dat volledig draait op interne organische stof toevoer is mogelijk en wordt geïllustreerd door Planty Organic en BKZ met lage organische stof aanvoer. Vanuit andere oogpunten bezien zijn dit waarschijnlijk geen optimale systemen.

Kringlopen (verdergaand) sluiten door terugvoer van nutriënten naar de landbouw ligt voor de hand en gebeurt al veelvuldig. Vrijwel altijd gaat het dan om retourstromen van organische stof met nutriënten waarbij de samenstelling sterk kan variëren. Deze retourstromen hebben karakteristieken die voor de bemestende waarde en werking van belang zijn.

- Het zijn stoffen met gemengde samenstelling OS-N-P-K-overige nutriënten
- Met name de stikstof (maar ook fosfaat) in de retourstromen zal meer of minder gekoppeld zijn aan organische stof en dat deel zal OS-afbraakafhankelijk beschikbaar komen.

## 6.2.11 Onzekerheid bodem organische-stofmetingen

Tal van bodemeigenschappen, waaronder stikstoflevering, zijn afhankelijk van het OS gehalte van de grond en de eigenschappen van die OS. Een routine OS meting heeft een foutenmarge in de grootteorde van +/- 10%. Op het proefveld Planty Organic met zes percelen en een vrij stabiele vruchtwisseling heeft het mede daardoor negen jaar geduurd voordat statistisch vastgesteld kon worden dat het OS gehalte zeer waarschijnlijk stabiel is.

Onder praktijkomstandigheden is deze benadering onuitvoerbaar. Dat betekent dat incidentele metingen (eens per vier jaar) niet gebruikt kunnen worden om uitspraken te doen over de ontwikkeling van de bodem OS.

## 6.2.12 Initialisatie van NDICEA

Zoals ieder model bevat NDICEA een set van initiële waarden voor de karakterisering van de bodem organische stof. Binnen NDICEA zijn dat drie pools met elk drie eigenschappen: hoeveelheid, virtuele leeftijd (Janssen 1984) en N-gehalte. Naarmate een scenario meer jaren omvat neemt de invloed van de initiële waarden af om plaats te maken voor gedurende die jaren toegevoerde organische stof met daarbij behorende karakteristieken. De invloed van de initiële waarden van de OS neemt dus af naarmate het scenario langer wordt, en wordt als het ware vervangen door de werking van de inputs (gewas, groenbemesters, organische bemesting) die beter bekend zijn (hoeveelheid, N-gehalte, afbraaksnelheid). Modelmatig worden de resultaten van het model dus betrouwbaarder naarmate het scenario langer wordt. Bij een redelijk stabiel productiesysteem kan deze eigenschap benut worden door een volledige vruchtwisseling in het model in te voeren en de (berekende) bodemeigenschappen aan het einde van drie volledige cycli terug te rekenen naar nieuwe beginwaarden. Daarbij zullen dan met name de twee organische stof pools 'Vers' en 'Jong' aangepast worden. Om voor eventuele aanwas of vermindering van het totale OS gehalte gedurende deze drie cycli te compenseren wordt het nieuwe totale OS gehalte gelijkgesteld aan het oorspronkelijke niveau door de hoeveelheid 'Oude' organische stof aan te passen zodat de totale OS hoeveelheid na initialisatie gelijk is aan de oorspronkelijke hoeveelheid. Na deze rekenprocedure en nieuwe initiële model bodemparameters worden de uitkomsten verondersteld betrouwbaarder te zijn.

# 6.3 Algemene beschouwing

## 6.3.1 OS-balans en N- en P-benutting

Stikstofbenutting per gewas of per jaar is op detailniveau een nuttig beoordelingsinstrument. De uitkomsten zullen per jaar en per gewas sterk verschillen (de Haan en anderen 2018a). Over de grote lijn van landbouwsystemen zou de beoordeling op het niveau van de vruchtwisseling moeten liggen. De in de tijd doorgaande lijn, en in sommige gevallen een cumulatief effect, bepalen de prestaties van het systeem ten aanzien van stikstof, fosfaat en organische stof en hun onderlinge interacties en samenhang. Een gemiddelde efficiëntie over de jaren zegt al veel meer (de Haan en anderen 2018a) maar een berekening over een volledige vruchtwisseling biedt het beste inzicht.

---

In dit onderzoek is consequent gekeken naar de vruchtwisseling als eenheid: de op een gegeven perceel in de tijd opvolgende reeks gewassen waarbij het gewas dat ná de reeks komt identiek is aan het eerste gewas. De benadering op vruchtwisselingsniveau voldoet zolang aangenomen wordt (of gemeten wordt) dat de bodem, met name de organische stof, niet of nauwelijks verandert. Als dat wél het geval is zou de te bestuderen tijdseenheid (aantal gewassen) veel groter moeten worden om tot een betrouwbare uitspraak te komen over benutting. Dat is voor slechts weinig proefvelden mogelijk. Een middenweg is echter mogelijk: de vruchtwisseling als eenheid nemen waarbij in beeld wordt gebracht of en hoe de organische stof verandert. Dat kan in korte tijdvakken vrijwel niet gemeten worden (zie 6.2.11) maar wel gemodelleerd, met alle haken en ogen die daaraan vast zitten. Dat is in dit onderzoek gedaan, uitgaande van de sleutelpositie van organische stof.

Uit de resultaten blijkt dat zowel toename als afname van het organische stof gehalte consequenties hebben voor de N- en P-balans en voor de N- en P-benutting.

- Bij de toename van bodem organische stof wordt een deel van de (aangevoerde) N en P in die organische stof vastgehouden of vastgelegd. Die komt dus op korte termijn niet ter beschikking van de gewassen maar telt wel mee in de werkelijke aanvoer (soms gedeeltelijk in de wettelijke aanvoer). Dat leidt per definitie tot een lagere berekende benutting, maar de betreffende N en P zijn niet verloren gegaan. Vandaar dat in dit onderzoek twee manieren van N-benutting berekend worden. Methode 1 is de traditionele manier van berekenen:  $\text{afvoer} / \text{aanvoer}$ . Bij de aanvoer wordt in dit onderzoek altijd de depositie, de binding door klavers en eventueel stikstof in zaad/pootgoed en beregeningswater meegenomen. Het betrekken van deze extra aanvoerposten levert een lagere maar wel reëlere N-benutting op. Dat ze deels niet te sturen is (depositie) of lastig kwantitatief te bepalen (N-binding) doet aan de benadering geen afbreuk: de N-toevoer vindt wel degelijk plaats. Methode 2 beschouwt de in organische stof vastgelegde stikstof als een 'product' dat als zodanig meetelt. Voor fosfaat geldt dit ook maar daaraan wordt zelden op deze manier gerekend, ook in dit verslag niet.
- Organische stof vervult een veelvoud aan functies in de grond. Toename zou daardoor via diverse mechanismen kunnen leiden tot hogere opbrengsten. Dat is op de locaties van de systeemprouven tot nu toe slechts mondjesmaat aangetoond (De Haan en anderen 2018a; de Haan en anderen 2020). Toename verloopt hoe dan ook traag (Zwart en anderen, 2013) tenzij met zware organische toevoegingen gewerkt zou worden.
- Door de toename in organische stof zal langzaam maar zeker ook de afbraak in absolute zin gaan toenemen. Daarbij komen nutriënten vrij. Meestal wordt daarbij alleen naar de stikstof gekeken. Het patroon van N-mineralisatie volgt grotendeels het temperatuurverloop (Jansen 1984, 1996; Yang 1996). Ook in het najaar komt dus (meer) stikstof vrij. Als het systeem daar niet op is ingericht kan dat leiden tot toenemende verliezen door met name uitspoeling.

Binnen de vier systeemprouven uit dit onderzoek ziet de organische stof balans, los van de maatregelen, er op hoofdlijnen als volgt uit:

- Planty Organic: gelijkblijvend zonder externe aanvoer (Burgt en anderen 2021)
- BKV: vermoedelijk dalend, en zeer grote verschillen in OS gehalte tussen de plots (De Haan en anderen 2020).
- BASIS: Op grond van langjarige meetreeks zeer waarschijnlijk dalend. Dat lijkt niet te liggen aan een onevenwichtige samenstelling van de vruchtwisseling of geringe organische stof toevoer. Een verklaring zou kunnen zijn dat er sinds ingebruikname van de grond nog niet een nieuw OS evenwicht bereikt is. De metingen vertonen over de jaren heen grote sprongen die niet goed begrepen worden (mond. meded. Van Balen). Minimale grondbewerking heeft wel een significant effect op OS en N-totaal (Hoek en anderen, 2019).
- BKZ: licht stijgend sinds 2004. Op basis van de EOS balans wordt dat niet verwacht, en in de periode vóór 2004 was er sprake van daling (de Haan en anderen 2018a).

Een overzicht van de trends in OS in bedrijven van het praktijknetwerk staat in Vervuurt en anderen (2021) en komt deels overeen met bovenstaande trends. Zij komen tot de conclusie dat een cumulatieve benadering van de OS balans een beter beeld kan geven dan de onvermijdelijke fluctuaties van metingen. Het model Roth-C kan daarbij, net als NDICEA, een rol spelen (<https://www.rothamsted.ac.uk/rothamsted-carbon-model-rothc> ; <https://www.NDICEAweb.eu>).

---

Verschillende organische stof bronnen hebben een eigen C:N ratio. In combinatie met de afbraaksnelheid levert dat, in twee extremen tegenover elkaar gezet, een kleine bijdrage aan OS opbouw en een grote aan korte termijn N-levering, of andersom. Bij een zeer hoge C/N is de bijdrage aan OS-opbouw groot maar is er in eerste instantie zelfs sprake van N-immobilisatie. Dat is in N-balans termen alleen ongunstig als het leidt tot afnemende opbrengsten.

NDICEA hanteert drie initiële organische stof pools. Als hiervoor C/N-ratio's bekend zouden zijn, dan kan met het model de ontwikkeling in de OS-pools worden doorgerekend en ook of hiervoor voldoende N beschikbaar is. Deze gedachtegang wat betreft de verhouding tussen OS en N in aanvoerbronnen en in de bodem kan in principe worden uitgebreid met P (OS:N:P stoichiometrie). Opgemerkt moet worden dat de P-dynamiek in de bodem een eigen complexiteit kent. Het beeld voor de toekomst is dat modelmatig kan worden geschat met welke samenstelling en hoedanigheid van de aanvoerbronnen de OS-, N- en P-balansen (dus ook afhankelijk van N- en P-afvoer en OS-afbraak) de gewenste gehalten en verhoudingen in de bodem kunnen worden benaderd.

### 6.3.2 Samenvatting belangrijke bevindingen

Er zijn akkerbouwsystemen die **zonder of met zeer weinig externe aanvoer** of terugvoer een **stabiele bodem OS** hebben met lage of relatief lage verliezen door denitrificatie en uitspoeling. De **productie per hectare ligt lager** dan bij externe aanvoer van OS (BKZ OS 'laag' vergeleken met BKZ OS 'hoog'; Planty Organic vergeleken met overig biologisch).

**Extra interne aanvoer van OS** zoals gewasresten en groenbemesters voegen OS toe, en soms ook N (vlinderbloemigen). De **effecten daarvan zijn niet lineair door te trekken** naar de OS- en N-balans (niet uitgewerkt in dit onderzoek).

**Externe aanvoer van organische stof**, afgezien van de gebruikelijke praktijk van toepassing van dierlijke mest, leidt tot een **overaanbod van stikstof en fosfaat** tenzij daarbij op andere (kunst)mestgiften wordt gecorrigeerd. Voor fosfaat zijn de praktische mogelijkheden daarvoor groter (zie BKV) dan voor stikstof omdat de stikstof in OS per definitie trager vrijkomt dan uit kunstmest, resulterend in een discrepantie tussen N-gift en korte termijn N-beschikbaarheid.

**Externe aanvoer van organische stof** leidt op korte termijn (< 10 jaar) niet tot een stijging van de opbrengst maar kan wel leiden tot een verhoging van de verliezen van N door denitrificatie en uitspoeling.

Bij **externe aanvoer van organische stof** zal op termijn de **autonome N-levering toenemen**, vooral afhankelijk van temperatuur en vocht. Bij overigens ongewijzigde bemestingsstrategie en bij een slechts geringe verwachte opbrengstverhoging kan dit leiden tot **toenemende verliezen** door met name uitspoeling van stikstof in herfst en winter.

Dit negatieve effect **kan opgevangen worden door gerichte aanpassingen in de bemesting en door aanpassingen in de vruchtwisseling**.

**N-efficiëntie berekend op jaarbasis**, zowel op perceelniveau als op bedrijfsniveau, **geeft een onvolledig zicht op de prestaties van het systeem** omdat mutaties in de bodem OS en bodem N niet worden meegewogen. Losstaande standaard metingen van OS en N-totaal kunnen niet gebruikt worden om mutaties daarin over de tijd aan het licht te brengen.

**Modellering** gebaseerd op wetenschappelijke inzichten in opbouw en afbraak van OS en N kan een **indicatie geven van de eventuele mutaties** in die twee parameters. Indien deze parameters voor de afzonderlijke pools van organische stof bekend zijn, kan worden berekend hoeveel stikstof nodig is om tot substantiële koolstofvastlegging te komen.

Bij toepassing van modellering, of bij anderszins verkregen inzicht in de mutaties van bodem OS en N, biedt een **aangepaste benadering van de berekening van de N-efficiëntie** beter zicht op de situatie. In de voorgestelde berekening wordt opbouw van bodem-N niet als verliespost meegerekend maar als 'product'. Bij toename van bodem-N leidt de tweede vorm van rekenen tot een hogere efficiëntie dan de eerste vorm. Bij interen op bodem-N is dat net omgekeerd.

---

In systemen waar een hogere opbrengst wordt gerealiseerd zal de **P-onttrekking** hoger zijn dan in systemen met lagere opbrengst. Op termijn kan dit tot een deling van de bodemvruchtbaarheid leiden. Extra aanvoer van P met een compostgift kan dit tot zekere hoogte compenseren.

**NKG** leidt in de onderzochte LTE's **niet of nauwelijks tot opbrengstverhoging** en **niet of nauwelijks tot verhoging van het OS gehalte**. Het effect op de balans van OS, N en P is daarmee verwaarloosbaar. Uitzondering lijkt Planty Organic, maar daar heeft geen vergelijkend onderzoek plaatsgevonden.

## 6.4 Antwoorden op de kennisvragen

Dit verslag probeert antwoorden te vinden op een aantal vragen zoals ze in paragraaf 0 geformuleerd zijn.

### 6.4.1 Nutriëntenbalansen

***Welke mate van N- en P-benutting wordt in de diverse systeemprouwen behaald en wat is de relatie met de OS-balans?***

Bij een productiesysteem (vrijwel) zonder OS aanvoer kan een P-benutting van 100% behaald worden tenzij er specifieke bodemomstandigheden zijn die de toegevoerde P min of meer vastleggen. Of 100% P-benutting een optimaal teeltsysteem definieert is een andere vraag. De gedeeltelijk temperatuur-afhankelijke P-beschikbaarheid kan er de oorzaak van zijn dat een gewas in het voorjaar niet de theoretisch maximale groeisnelheid kan behalen. De meeste proefvelden in dit onderzoek zitten bij een standaard behandeling in de buurt van een absoluut P-evenwicht tussen gemeten aanvoer en gemeten afvoer, met uitzondering van Planty Organic (tot en met 2020) waar geen P werd aangevoerd. Alleen bij BKZ lijkt sprake van een lichte stijging van het OS gehalte met daarin P (niet gemeten).

Zodra door middel van **extra** aanvoer (compost, maaimeststof) ook de P-aanvoer toeneemt is er sprake van een kleiner of groter P-overschot en dus accumulatie zolang er geen verzadiging en uitspoeling optreedt. Zo er al een effect op opbrengst verwacht mag worden zal dat zeer gering zijn en mogelijk lang op zich laten wachten, met name bij organische meststoffen met een hoge humificatiecoëfficiënt zoals GFT- en groencompost.

Een N-benutting van 100% is niet haalbaar in open teelten. Van de onderzochte productiesystemen haalt Planty Organic de hoogste N-benutting (72% inclusief aanvoer met vlinderbloemigen) maar de laagste productie (77 kg N ha<sup>-1</sup>). Een beschrijving hiervan staat in Van der Burgt en anderen (2021) en de toelichting die daarbij gegeven wordt staat licht gewijzigd in dit rapport in paragraaf 6.2.7. Alle andere onderzochte systemen hebben een aanzienlijk hogere productie per hectare maar een aanzienlijk lagere N-benutting (45 – 58%) waarbij de N grotendeels aangevoerd wordt als (kunst)mest en een klein deel door vlinderbloemigen. De berekende N-benutting is sterk afhankelijk van de vraag of toename dan wel afname van bodem-organische N in de berekening meegenomen wordt.

De relatie van N- resp. P-benutting met de organische stofbalans is niet eenduidig. Bij Planty Organic 2012-2020 is sprake van een absolute balans zonder enige externe aanvoer of terugvoer naar de grond, dus alleen interne OS. Dit gaat gepaard met een negatieve balans voor P maar niet voor N. Bij een absolute P-balans door aanvoer van groencompost (vanaf 2021) gaat het OS gehalte naar verwachting stijgen, maar tevens naar verwachting in eerste instantie zonder noemenswaardige verhoging van de opbrengsten. N-efficiëntie (1) zal sterk dalen, N-efficiëntie (2) zal in eerste instantie nagenoeg gelijk blijven doordat N in bodemopbouw als het ware als 'product' wordt meegeteld.

Bij de andere systemen speelt historie en actueel landgebruik een rol in de OS balans. Bij BKV en BASIS lijkt de bodemsituatie te leiden tot een (nog) afnemend OS gehalte, gepaard gaand met N-vrijstelling. Bij BKZ lijkt sprake van een lichte stijging van het OS gehalte, dus een deel van de toegevoerde N (en P) wordt daarin vastgelegd. Dat leidt tot een hogere N-efficiëntie (2): een deel van de aangevoerde N komt terecht in de bodem organische stof en is niet verloren gegaan.

## 6.4.2 Sluiten van kringlopen

### ***Welke mogelijkheden zijn er om kringlopen van nutriënten te sluiten in combinatie met een goed management van OS?***

Drie van de vier LTE's laten geen eenduidig verschil zien tussen 'gewone' grondbewerking en NKG wat betreft opbrengst en Nitrogen Use Efficiency. Bij Planty Organic lijkt er modelmatig wel een duidelijk effect van NKG maar is geen vergelijking aanwezig. Als NKG uiteindelijk vooral een verschuiving van OS-toevoer naar de bovenste bodemlaag betekent (0-15 cm) in plaats van 0-25 of 0-30 cm, waarbij de netto afbraak zo goed als gelijk blijft, dan zijn er wel bodemeffecten maar naar verwachting geen grote effecten op opbrengst. Dat lijkt bevestigd te worden in drie van de vier LTE's.

De toevoer van extra organische stof in de vorm van compost of maaimeststof leidt op korte termijn tot een toename van het OS-gehalte maar niet of nauwelijks tot een verhoging van de opbrengst. Dan leidt het dus tot een overschot op de P- en N-balans. Van P mag niet verwacht worden dat het, in een bodem met voldoende fosfaat, in de toekomst tot een hogere opbrengst zal leiden. Van stikstof mag dat ook nauwelijks verwacht worden: de werking zal langzaam zijn, temperatuurafhankelijk, wat het risico op uitspoeling in najaar en winter verhoogt. Met een aanpassing in de teeltstrategie (op termijn besparing op andere meststoffen; meer aandacht voor N-opname in najaar) kan de opbrengst én de N-efficiëntie behouden blijven of misschien toenemen. Dat zal dan vermoedelijk een gecombineerd effect zijn van een kleine extra N-beschikbaarheid in combinatie met tal van (kleine) veranderingen en verbeteringen in de bodemkwaliteit door een iets hoger OS-gehalte.

Kringlopen sluiten wordt, voor zover mogelijk, gerealiseerd door reststromen terug te voeren naar de akker, al dan niet in bewerkte vorm. Vooralsnog zal het gaan om organische reststromen, meestal organische stof met daarin of daarbij diverse nutriënten in verschillende verhoudingen. Een andere optie is om reststromen 'uit elkaar te halen' en de nutriënten afzonderlijk als meststof terug te brengen naar de akker. Naast allerlei nadelen en kosten biedt dat voordelen wat betreft dosering onafhankelijk van andere nutriënten, timing en plaatsing: de vrijheidsgraden (Burgt en Timmermans 2008).

In een maximaal kringloopconcept kunnen vele nutriënten – in theorie – teruggevoerd worden naar de akker, maar voor stikstof en organische stof is dat onmogelijk. Juist die twee kunnen echter op de akker zelf aangevuld worden door N-binding en OS-creatie. Deze beide componenten worden bepaald door keuzes in het bouwplan en het management en ze zijn dus tot op zekere hoogte stuurbaar. Planty Organic laat daarbij de ondergrens zien: géén externe aanvoer (of terugvoer) van organische stof en overige nutriënten; een stabiel bodem organische stof gehalte; negatieve balans voor alle mineralen behalve stikstof waarbij stikstof de limiterende factor is voor de productie.

Het gemiddelde OS-gehalte van de Nederlandse akkerbouwgronden lijkt langjarig stabiel (Schils en anderen 2012) maar drijft daarbij op een aangevoerde hoeveelheid organische stof die door import van veevoer uitstijgt boven wat in Nederland zelf geproduceerd wordt. Een strikt kringloopconcept van veehouderij en akkerbouw zou bij verder ongewijzigde aanpak te maken kunnen krijgen met verminderde aanvoer van organische stof en tot een daling van het OS-gehalte. De aanpak kan echter wel degelijk gewijzigd worden zoals diverse publicaties uit het project Slim Landgebruik voorspiegelen (Timmermans en anderen 2022; Schepens en anderen 2022; Slier en anderen 2022) en misschien kan de retourstroom van OS uit de maatschappij verhoogd worden. Dat laatste zou in beeld gebracht kunnen worden.

In twee onderzoekstrajecten, Boerderij van de Toekomst (Lelystad, in uitvoering, Visser en anderen 2020) en AgriFuture (Proefboerderij Kollumerwaard, ontwerp, Burgt en anderen 2020) wordt een maximale kringloop van nutriënten nagestreefd waarbij N-binding door vlinderbloemigen en (kunst)mest-N een aanvulling vormen op het 'gat' dat onvermijdelijk is in de N-kringloop. In geen van beide ontwerpen wordt gebruik gemaakt van een groot aandeel dierlijke mest, en de inzet van kunstmest (N, P, K, ...) is geminimaliseerd. Bij een verondersteld zo goed als gelijkblijvend opbrengstniveau kan een stabiel akkerbouwsysteem draaien met maximale terugvoer van nutriënten naar de akker en minimale nutriëntenverliezen naar water en lucht, zo is de hypothese. NKG is in BvT Lelystad wel een essentieel onderdeel maar niet om nutriëntenverliezen te beperken. In beide ontwerpen is de vruchtwisseling van de akkerbouw onder andere verruimd door een grasklaver gewas en wordt maximaal gebruik gemaakt van groenbemesters en/of vanggewassen. Goed OS-management bestaat hier uit gewassenkeuze waaronder

grasklaver, behoud van OS (stro inwerken), aanvullen van OS (groenbemesters) en – misschien - verminderen van afbraak van OS door gereduceerde grondbewerking. Dierlijke mest speelt een ondergeschikte rol.

### 6.4.3 Koolstofvastlegging

#### Is de gekozen benadering ook relevant voor het perspectief van koolstofvastlegging in minerale bodems?

In het voorgaande werd geconstateerd dat het voor een goed begrip van belang kan zijn om bij het toevoegen van organische stof onderscheid te maken in interne organische stof en externe organische stof. In aansluiting hiermee is in de tabel uit Slim Landgebruik een markering aangebracht. Maatregelen waarbij het gaat om de externe aanvoer van organische stof zijn groen gemarkeerd, en maatregelen waarbij het gaat om interne aanvoer van organische stof blauw.

**Tabel 29** CO<sub>2</sub> vastlegging zoals bepaald in het programma Slim Landgebruik voor Nederlandse landbouwgronden op zand- en dalgronden resp. kleigrond (Bron: Slier en anderen, 2021).

#### A. Zand- en dalgrond

Zand en dalgrond	Max. CO <sub>2</sub> -vastlegging	Implementatie	Pot. CO <sub>2</sub> -vastlegging
Maatregel	kg CO <sub>2</sub> /ha/jaar	x1000 ha	kton CO <sub>2</sub> /jaar
Leeftijd grasland verhogen	2550	88	224
Wisselteelt mais-grasklaver (60-20-20)	2090	53	112
Verbeteren gewasrotatie	1860	32	60
Dierlijke mest en compost toevoegen	65	955	59
Groenbemesters/vangewassen	830	63	52
Gewasresten achterlaten	330	34	11
Vogelakkers	1650	2	3
Niet-kerende grondbewerking	0	-	0
Kruidenrijk grasland	0	-	0
Akkerranden	-170	6	-1
Agroforestry	NB	NB	NB

#### B. Kleigrond

Kleigrond	Max. CO <sub>2</sub> -vastlegging	Implementatie	Pot. CO <sub>2</sub> -vastlegging
Maatregel	kg CO <sub>2</sub> /ha/jaar	x1000 ha	kton CO <sub>2</sub> /jaar
Groenbemesters/vangewassen	1440	89	128
Verbeteren gewasrotatie	3250	35	113
Dierlijke mest en compost toevoegen	85	1150	102
Leeftijd grasland verhogen	1590	51	82
Gewasresten achterlaten	660	114	76
Wisselteelt mais-grasklaver (60-20-20)	1450	24	34
Vogelakkers	1300	3	4
Niet-kerende grondbewerking	0	-	0
Kruidenrijk grasland	0	-	0
Akkerranden	-70	8	-1
Agroforestry	NB	NB	NB

*Toelichting: De in grijs gekleurde maatregelen zijn bepaald voor de veehouderij. De vastlegging is berekend met het Roth-C model, en de onderliggende waarden waarmee gerekend is zijn mede afkomstig uit / aangepast op grond van diverse lange termijnproeven. Met "Verbeteren gewasrotatie" wordt daarbij bedoeld dat een gewasrotatie meer rustgewassen (graan of gras/grasklaver als tussenjaar) heeft. Maatregelen met externe aanvoer van organische stof zijn groen gemarkeerd, en maatregelen waarbij het gaat om interne aanvoer van organische stof blauw.*

---

Uitgaande van de definitie van 'win-win' valt het op dat op zichzelf gezien geen enkele van de bovenstaande maatregelen altijd tot een win-win leidt. In plaats daarvan moet er voor de win-win gezocht worden naar combinaties van maatregelen. De resultaten uit de systeemprouven lieten zien dat het dan gaat om de balans tussen interne (blauwe) en externe (groene) maatregelen. Bij te veel focus op alleen de interne (groene) maatregelen dreigen hoge kosten en op lange termijn een achteruitgang van bodemvruchtbaarheid. Maar bij te veel focus op externe maatregelen (blauw) dreigen verliezen van N en P en onevenwichtige ophoping van enkele andere nutriënten.

Ter verduidelijking van de denkwijze volgen twee voorbeeldsituaties:

Voorbeeldsituatie 1: een perceel met een vierjarige rotatie (aardappels, suikerbieten, zaaiuien en tarwe + groenbemester) waar bemest wordt met kunstmest en drijfmest. In dit soort situaties is een aanvoer van extern organisch materiaal een goede maatregel om de organische stofbalans te verhogen (want er is slechts een beperkte externe aanvoer). Dit kan bijvoorbeeld door compost aan te voeren in vaste frequentie. Om de extra voedingsstoffen ook op termijn zo veel mogelijk in de bodem te houden, zou het goed zijn deze maatregel te combineren met inzet van groenbemesters waar dit kan (interne aanvoer van organische stof en het vasthouden van een deel van de stikstof die vrijkomt), bv. behalve na het graan ook na de uien. Deze helpen het systeem in te richten om verliezen te voorkomen.

Voorbeeldsituatie 2: percelen waarop al regelmatig met organische meststoffen gewerkt wordt. Meer aanvoer van organische meststoffen zoals nog weer extra compost (mogelijk de meest voor de hand liggende gedachte om hier de organische stof balans te verhogen) leidt hier in veel gevallen echter tot te veel focus op externe aanvoer. Een volgende stap zou hier juist kunnen zijn om te denken aan maatregelen die de interne organische stof aanvoer vergroten. Denk aan een maaimeststof verbouwen, of een iets groter aandeel graan in de rotatie met daarna extra groenbemesters.

#### 6.4.4 Integrale optimalisatie

##### ***Hoe kan een integrale optimalisatie van de drie balansen worden opgepakt?***

Een eerste stap zou kunnen zijn om in rekenmodellen het opstellen van de organische stof balans en de N- en P-balansen in elkaar te schuiven. Effecten van keuzes worden dan meteen zichtbaar, zowel in de afzonderlijke balansen als in de verandering in de OS:N:P overschotten. Dit is per direct uitvoerbaar. Een tweede stap zou kunnen zijn om een cascade-benadering te introduceren bij de selectie van maatregelen. Stikstof en organische stof kunnen op het eigen veld gegenereerd worden, de andere nutriënten zijn afhankelijk van kringloopstromen of meststoffen. Bovenaan de cascade staat dan de mogelijkheid om zelf stikstof te winnen (Vlinderbloemigen als hoofdgewas of als (onderdeel van) groenbemesters) en zelf organische stof te produceren. Tweede tree is het behoud van stikstof: denitrificatie verminderen, uitspoeling verminderen. Groenbemesters spelen daarin een belangrijke rol (overigens ook in behoud van Kali en andere uitspoeling gevoelige nutriënten). Derde tree is de mogelijke (kringloop) aanvoer van reststromen in beeld te brengen voor wat betreft OS, N en P (en eventueel andere nutriënten). Dierlijke mest is in dit verband ook een kringloopproduct voor zover het evenredig is met voedermiddelen uit de akkerbouw. De laatste tree is om nutriënten die nog niet gedekt zijn in de voorgaande stappen te dekken vanuit kunstmest.

Een derde stap zou kunnen zijn om het voorgaande in een dynamisch model te incorporeren om met name de N-beschikbaarheid voor opname te kunnen matchen met de N-behoefte (in de tijd) van gewassen. Naarmate er meer stikstof vanuit afbraak van organische stof beschikbaar komt – ten opzichte van direct uit (kunst)mest - wordt het tijdsaspect belangrijker.

#### 6.4.5 Overige vragen

##### ***Wat is het beginpunt bij het opstellen van een trendlijn organische stof? Hoe kan in NDICEA een goede initialisatie worden gemaakt?***

Uitgangspunt is hoe dan ook een meting van het OS gehalte, eventueel ook N-org, met de onzekerheid ( +/- 10%) die daaraan gekoppeld is. Dit wordt omgerekend naar kg OS, wat verdeeld wordt over drie bodempools met default waarden voor hoeveelheid, N-gehalte en initiële afbraaksnelheid (IAge). De

---

hoeveelheid in de pools 'Vers' en 'Jong' zijn vast, de hoeveelheid 'Oud' is de rest (het grootste deel, met de laagste IAge).

Aan de onnauwkeurigheid van de meting (hoeveelheid) valt niets te doen. Metingen die de organische stof in verschillende pools plaatsen zijn wel in onderzoek maar nog niet operationeel. Inschatting van de hoeveelheid 'Vers' en 'Jong' en bijbehorende N-gehalte en IAge kan wel modelmatig plaatsvinden. Dat kan door gebruik te maken van de modeleigenschap om alle toegevoegde organische stof apart door te blijven rekenen in de tijd. Hiervoor is inmiddels een procedure ontwikkeld die beschikbaar komt in NDICEA7. Deze procedure levert de meest betrouwbare uitkomst als hij toegepast wordt op een scenario van een volledige vruchtwisseling. Zie voor een verdere toelichting paragraaf 2.2.1 en 6.2.12.

Deze procedure verandert niets aan de onzekerheid van de OS meting. Gegeven de (onzekere) hoeveelheid wordt een betrouwbaarder schatting gemaakt van de hoeveelheid en eigenschappen van de OS pools, waarbij de invloed van de hoeveelheid 'oude' OS relatief gering is ten opzichte van de andere twee pools. De onzekerheid wordt daarmee teruggebracht tot één pool.

***Hoe ziet een voortschrijdende N-balans eruit? Hoe kan onderscheid gemaakt worden in N die verloren gaat en N die in bodem organische stof wordt vastgelegd en in volgende jaren bijdraagt aan de N-dynamiek?***

Gezien de meetonnauwkeurigheid met betrekking tot organische stof en stikstof is het niet mogelijk in termen van enkele jaren een verandering in bodem OS en N-gehalte vast te stellen. Voor de landbouwpraktijk moet er dus een andere oplossing gezocht worden die een eventuele verandering, zo betrouwbaar als mogelijk, in beeld brengt. OS en N zijn daarbij sterk gekoppeld. Modelleren is dan onvermijdelijk. NDICEA biedt daarvoor mogelijkheden omdat het resultaat, op perceelniveau, sowieso een voortschrijdende N- en OS-balans oplevert. Hier is dus niet de vraag hoe het onderscheid gemaakt kan worden want dat is er al; hier is de vraag hoe je van perceelniveau naar bedrijfsniveau kunt komen. Daarbij is het van belang onderscheid te maken tussen twee benaderingen:

- De wettelijke verantwoording: op jaarbasis en op bedrijfsniveau, met aanvoerposten van N en P die soms slechts gedeeltelijk hoeven te worden meegerekend (compost, N-binding).
- De werkelijkheid op perceelniveau, al dan niet geaccumuleerd naar bedrijfsniveau.

Een voortschrijdende N-balans staat per definitie buiten de wettelijk voorgeschreven verantwoording op jaarbasis maar biedt meer zicht op de ontwikkelingen in de bodem. Hij gaat gepaard met een voortschrijdende OS-balans: ze zijn gekoppeld. Een teler, maar ook een Waterschap met verantwoordelijkheid voor waterkwaliteit, heeft meer aan een voortschrijdende balans met de werkelijke aanvoeren van OS en N dan aan een formele wettelijke jaaropgave.

De stap in NDICEA (of een ander OS – N model) van perceelniveau naar bedrijfsniveau kan op twee manieren gemaakt worden:

- Door de perceelresultaten (alle percelen, meerdere jaren) op een nader te overwegen manier bij elkaar op te tellen en gewogen te middelen over de bedrijfsoppervlakte, met de nodige uitdagingen als het gaat om percelen met flink verschillende bodemeigenschappen. Complex maar correct.
- Door een complete vruchtwisseling met bijbehorende bemestingen als 'gemiddelde waarden' in te voeren en de resultaten daarvan als bedrijfsniveau te interpreteren. Bij een stabiele vruchtwisseling en bemesting en een redelijk homogene grond levert dat een beeld op dat veel zal lijken op een geaccumuleerd en gemiddeld resultaat op perceelniveau. Gegeven de net beschreven randvoorwaarde: eenvoudig en correct genoeg om op te kunnen reflecteren.

In situaties waar geen sprake is van een min of meer stabiele vruchtwisseling en bemesting heeft het streven naar een voortschrijdende N-balans weinig zin.

**Welke variatie bestaat er in de onttrekking van P uitgaande van verschillende productieniveaus?**

De modelberekeningen van de effecten bij 10% hogere en lagere opbrengst laten zien dat er situaties ontstaan (en nu ook al bestaan, zie *Tabel 18*, BKV) die leiden tot een structureel negatieve P-balans gegeven een aangenomen toegestaan aanvoerniveau van  $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ . In dit onderzoek is bij BKV de afvoer ( $73 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ ) nu al aanzienlijk hoger dan  $60 \text{ kg}$  aanvoer. Vergelijken met een aangenomen gemiddelde van KWIN (Voort 2018) is de afvoer bovengemiddeld. Bij een aangenomen verdere optimalisatie en opbrengststijging van 10% wordt het gat nog groter:  $80 \text{ kg}$  afvoer, dus  $20 \text{ kg}$  'tekort'.



---

Voor sommige gewassen neemt het P-gehalte af met de opbrengst (Ruijter en anderen 2020), wat in dit rapport niet is verdisconteerd. Een structureel hogere afvoer zou een hogere P-aanvoer kunnen rechtvaardigen. Hoe dit in een betrouwbaar (controle)systeem gegoten zou kunnen worden is een heel andere vraag.

Op korte termijn zal, gegeven een grond van een voldoende fosfaattoestand (*Tabel 4*), een licht negatieve P-balans de opbrengst mogelijk niet beïnvloeden. De P-opname is ook afhankelijk van structuur, worteling en bodemleven. Daar kan een teler ook aan werken. Echter, voor fosfaatgevoelige gewassen zoals aardappelen kan dit mogelijk al wel snel tot beperkingen leiden.

De invloed van een hogere opbrengst van gewassen op de OS balans is relatief klein ten opzichte van andere factoren en aanvoerbronnen maar wel reëel. Dit aspect zou ondervangen kunnen worden door OS-toevoer berekeningen afhankelijk te maken van opbrengstniveau door een variabele harvest index in te bouwen. Het is de vraag of er voldoende data zijn om dat te onderbouwen.

De biologische akkerbouw onderscheidt zich van de gangbare akkerbouw doordat N-aanvoer uit dierlijke mest relatief belangrijker is (geen kunstmest-N toegestaan) en doordat de opbrengst en dus ook de P-onttrekking lager ligt. Waar bij gangbare akkerbouw de vraag opkomt of hoger P-giften gerechtvaardigd zouden zijn bij hogere P-onttrekking zou bij biologische akkerbouw het omgekeerde het geval kunnen zijn: zou het niet beter zijn om P in absoluut evenwicht te brengen (feitelijk het streven van de overheid) door minder mest aan te voeren en het daardoor ontstane tekort aan N zelf aan te vullen uit vlinderbloemigen? Dit streven is onderdeel van de projecten Koplopers in Kringlooplandbouw (Bionext) en Groene Mest Groningen (Agrifirm).

---

# 7 Conclusies en aanbevelingen

## 7.1 Conclusies

In aanvulling op de belangrijkste bevindingen uit de modelberekeningen in 6.3.2. volgt hieronder een drietal conclusies met betrekking tot de bredere context van dit onderzoek.

1. De relatie van N- resp, P-benutting met de organische stofbalans is complex. Landbouwkundige factoren die een rol spelen zijn actueel landgebruik, met name de interne en externe aanvoer van organische stof en de perceelshistorie, in verband met de afbraaksnelheid van de bodemorganische stof. Voorts zijn er rekenkundige factoren van belang, zoals de wijze van berekening van de N-efficiëntie en de P-afvoer bij hogere opbrengst.
2. De verhouding in de OS:N:P overschotten op de balansen biedt mogelijk perspectief als kengetal passend bij de gekozen maatregel en intensiteit van een teeltsysteem. In combinatie met inzicht in de interne en externe stromen op de organische stofbalans kan dit richting gevend zijn voor opties wat betreft verdere verhoging van de efficiëntie bij behoud van bodemvruchtbaarheid.
3. De toegepaste werkwijze in het integraal bekijken van OS-, N- en P-balansen levert nieuwe gezichtspunten op voor organische stof en nutriëntenvoorziening. Deze zijn in de eerste plaats relevant voor landbouwkundige toepassing in de open teelten, zowel voor intensieve als extensieve systemen. Deze methodiek zal de maatregelenkeuze voor de bemesting, het bouwplan en de bodembewerking kunnen verbeteren, en daarbij ook de stapeling van maatregelen meenemen. Daarbij zijn de inzichten ook relevant voor koolstofvastlegging in het kader van de klimaatopgave. Hierover is een separate factsheet geproduceerd (Timmermans et al. 2023).

## 7.2 Aanbevelingen

### *Praktijkonderzoek*

- Zet onderzoek op naar de mogelijkheden om de OS-, N-, en P-balansen te verbeteren door in te zoomen op de interne en/of externe aanvoer van organische stof. De mogelijkheden om enerzijds intern extra OS te produceren en anderzijds organische stof van buiten in te brengen dienen nader te worden onderzocht, inclusief het kosten-batenaspect. Een hypothese zou kunnen zijn dat de N-efficiëntie bij overwegend interne OS-aanvoer kan worden verbeterd door externe OS-aanvoer, en vice versa. Maatregelen kunnen wellicht worden ingedeeld naar hun effect op de OS : N : P-overschotten.

### *Bemestingsadvisering*

- Zet de methodiek van een integrale balansbenadering, inclusief het denken in termen van interne en externe aanvoer van organische stof, N en P, in bij de ontwikkeling van nieuwe bemestingsadviezen, zoals die voorgenomen zijn in de PPS BAAT (Bemestings Adviezen Akkerbouw Toekomstgericht).

### *Koolstofvastlegging*

- Dit onderzoek laat zien dat het niet wenselijk is om koolstofvastlegging te verhogen door eenzijdig externe aanvoer van organische stof te verhogen, nog door eenzijdige verhoging van de interne aanvoer. Bij stapeling van maatregelen zou er rekening moeten worden gehouden met een balans tussen interne en externe aanvoer.

---

### *Toolontwikkeling*

- Maak een integratie van OS-balans en mineralenbalans als App en/of als beschrijving. Een App kan zelfstandig opereren, kan voor iedereen toegankelijk zijn maar vraagt wel onderhoud. Een 'open source' beschrijving maakt het mogelijk voor alle partijen die al met OS- en mineralenbalansen werken om een vergelijkbare methodiek in te bouwen in hun eigen systematiek en software. In deze nieuwe aanpak wordt de OS-toevoer van gewasresten afhankelijk van opbrengst, wordt de OS toevoer van groenbemesters afhankelijk van zaaimoment en groeiduur en wordt de overall afbraak afhankelijk van textuur. Begin met een Excel versie voor de ontwikkelingsfase en ga daarna over tot programmering en App-bouw en tot beschrijving.
- Bij afwezigheid van een operationeel API: ga door met de ontwikkeling en bijstelling van het NDICEA-model. Onderwerpen daarbij zijn:
  - a. Bereken bodemvocht parameters niet meer in textuurklassen maar d.m.v. formules uit de Staring reeks, inclusief afhankelijkheid van OS gehalte.
  - b. Bied gedetailleerder tabel- en grafiekinformatie over de bodemvocht dynamiek.
  - c. Zoek aansluiting bij de textuurafhankelijke en grondwaterstand afhankelijke 'uitspoelingsfactor' om vanuit bodem overschot de hoeveelheid stikstof te berekenen die in het grondwater terecht komt.
  - d. Vervang de opbrengst van groenbemesters vanuit geschatte opbrengstklassen door een berekende opbrengst afhankelijk van zaaimoment en groeiduur (zie rapport Selin Norén en anderen, 2021 en Handboek Bodem en bemesting).
  - e. Maak een uitbreiding met een module lachgasemissie, ammoniakopname en emissie.
  - f. Trek de mineralengehaltes uit de gewassendatabase gelijk met de lijst die binnen WUR Open teelten circuleert.
  - g. Onderzoek of het zinnig en mogelijk is een aparte lijst van mineralengehaltes voor de biologische landbouw samen te stellen.
  - h. Omvorming van een twee-laags bodemmodule naar een multilaags bodemmodule om met name de N-uitspoeling beter te kunnen modelleren.

### *Experimenteel onderzoek*

- Doe aanvullend onderzoek naar de importantie van perceelinterne stromen van stikstof en fosfaat in relatie tot N- en P-efficiëntie.
- Doe onderzoek naar de potentie van opbrengst onder een regime van een negatieve P-balans in afhankelijkheid van factoren die beworteling en bodemleven beïnvloeden.
- Behoud systeemprouven voor de toekomst: veel effecten worden pas na lange termijnen zichtbaar. Zeker daar waar het gaat om veranderingen in bodemkwaliteit o.i.v. bemesting, grondbewerking, of effecten van rotatieverschillen of groenbemesters. Het aantal lang lopende proeven in ons land is zeer beperkt maar effecten van maatregelen zijn niet overal hetzelfde.
- Pas de gepresenteerde aanpak ook toe in vervolgonderzoek en projecten over koolstofvastlegging, zodat o.a. kan worden gelet op de N-behoefte voor koolstofvastlegging en het risico op N-uitspoeling.

---

# Literatuur

- Balen, D. van, F. Cuperus, W. Haagsma, J. de Haan, W. van den Berg en W. Sukkel. 2023. Crop yield response to long-term reduced tillage in a conventional and organic farming system on a sandy loam soil, *Soil & Tillage Research*, volume 225.
- Burgt, G.J. van der, G.J.M Oomen, A.S.J. Habets en W.A.H. Rossing, 2006. The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74: 275-294.
- Burgt, G.J. van der. 2008. Nitrogen's degrees of freedom. In: Burgt and Timmermans (eds): *Soil nitrogen: research and extension. QLIF Seminar, 13-15 February 2008, Driebergen*, p 7-8.
- Burgt, G.J van der, P.H.M. Dekker, W.C.A. van Geel, J.G. Bokhorst en W. van den Berg. 2010. Duurzaamheid organische stof in mest: analysemethoden om de stabiliteit van organische stof van verschillende organische meststoffen inclusief digestaat te beoordelen. Eindrapportage. WUR Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport PPO 448, 72 pp.
- Burgt, G.J. van der, C. Rietema, H. Havenga en B. Timmermans. 2020. Stikstof Telen, voortgang 2019. Louis Bolk Instituut, publicatienummer 2020-021 LbP, 29 pp.
- Burgt, G.J. van der, en H. Havenga. 2021. Stikstof Telen, voortgang 2021. Louis Bolk Instituut, publicatienummer 2021-006 LbP, 38 pp.
- Burgt, G.J van der, W. Sukkel, D. van Balen, H. Huiting, G. Kessel, C. Koopmans, P. Struyk en W. Cuijpers. 2020. *AgriFuture Kollumerwaard. Agronomisch ontwerp. SPNA, LBI, WUR*, 33 pp.
- Burgt, G.J. van der, B. Timmermans en H. Havenga de Poel. 2021. Evaluatie Planty Organic 2012-2020. Publicatienummer 2021-010 LbP, Louis Bolk Instituut, 55 pp.
- Burgt, G.J. van der, en M.C. Hanegraaf. 2021. Scenarioberekeningen met NDICEA. WUR rapport WPR 880, 52 pp.
- Burgt, G.J van der. 2022. Rapportage Stikstofpilot Bionext. Maatschap Kuiper, Hensbroek. Bionext, Ede, 3 pp.
- Burgt, G.J. van der. 2023. Verslag 2e fase N dynamiek. Intern rapport WUR Open Teelten, Lelystad, niet gepubliceerd.
- Cooper, J.M.; M. Baranski, M. Nobel de Lange, P. Barberi, A. Fliessbach, J. Peigne, A. Berner, C. Brock, M. Casagrande, O. Crowley, C. Davide, A. De Vliegheer, T.F. Döring, M. Entz, M. Grosse, T. Haase, C. Halde, V. Hammerl, H. Huiting, G. Leithold, M. Messmer, M. Schloter, M. Sukkel, M. van der Heijden, K. Willekens, R. Wittwer en P. Mäder. 2014. Effects of reduced tillage in organic farming on yield, weeds and soil carbon: meta-analysis results from the TILMAN-ORG project. In: Rahmann, G. en Aksoy, U. (Eds.) *Building Organic Bridges*, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, Germany, 4, Thuenen Report, no. 20, pp. 1163-1166.
- Haan, J. de, W. van Geel, J. Paauw, G.J. van der Burgt, M. Hospers, A. Venhuizen en K. Oonk. 2013. Eindrapportage Organische meststoffen: samenstelling en werking. Wageningen Praktijkonderzoek Plant & Omgeving / Louis Bolk Instituut / Agrifirm Plant, 12 pp.
- Haan, J. de, M. Wesselink, W. van Dijk, H. Verstegen, W. van Geel en W. van den Berg. 2018a. Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond. WUR, Rapport WPR-754.
- Haan, J. de, M. Wesselink, W. van Dijk, H. Verstegen, W. van Geel en W. van den Berg. 2018b. Resultaten van het biologische bedrijfssysteem van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2000 - 2016. WUR, Rapport WPR-755.
- Haan, J. de, P. van Asperen, J. Visser, G.J. van der Burgt, E. Smit, A. Dawson en K. Klompe. 2020. Bodemmaatregelen op dalgrond in de Veenkoloniën: effecten op bodemkwaliteit, opbrengst en financiële meerwaarde; Analyse van de resultaten van de systeemproof Bodemkwaliteit Veenkoloniën 2014-2017. Wageningen Research, Rapport WPR-831. 70 pp.
- Habets, F. en G. Oomen. 1993. Modelleren van de stikstofdynamiek binnen gewasrotaties in de biologische landbouw. WUR, vakgroep Ecologische Landbouw, 49 pp.
- Hanegraaf, M.C., W. van Geel, W. Van den Berg en J. de Haan. 2019. *Afbraaksnelheid bodem organische stof: Tussenrapportage. Perceelsspecifieke schatting uit bodemparameters.* (Rapport WPR; No. 801. Wageningen Plant Research.

- Hanegraaf, M.C, W. van Geel, W. van den Berg en J. de Haan. 2019. Afbraaksnelheid bodem organische stof. Tussenrapportage. Perceelsspecifieke schatting uit bodemparameters. WUR, rapport WPR-801, 28 pp.
- Hijbeek, R., M. van Loon, M. van Ittersum en H. ten Berge. 2020. Benchmarking crop nitrogen requirements, nitrogen-use efficiencies and associated greenhouse gas mitigation potential. Working Paper No. 333 CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Hoek, J., D. van Balen, W. Haagsma, W. van den Berg, P. van Asperen, W. Sukkel, J. de Haan en J. Bloem. 2019. Bodemindicatoren in BASIS. Wageningen Open Teelten, rapport 798, 56 pp.
- Janssen B.H. 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil* 76: 297-304.
- Janssen B.H. 1996. Nitrogen mineralisation in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181: 39-45.
- Jindo, K., Y. Audette, F. Lopez Olivares, L. Pasqualoto Canellas, D. Scott Smith en R. Paul Voroney. 2023. Biotic and abiotic effects of soil organic matter on the phytoavailable phosphorus in soils: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 10, March 2023.
- Koopmans, C., B. Timmermans, J.P. Wagenaar, J. van 't Hull, M.C. Hanegraaf en J. de Haan. 2019. Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's). Ministerie LNV, 54 pp.
- Koopmans, C., B. Timmermans, J. de Haan, M. van Opheusden, I. Selin Noren, T. Slier en J.P. Wagenaar. 2020. Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: Voortgangsrapportage april 2020. Wageningen UR, Louis Bolk Instituut, Centrum voor Landbouw en Milieu, 50 pp.
- Price, W.L. 1979. A controlled random search procedure for global optimization. *The Computer Journal* 20: 367-370.
- Regelink, I., J. van Middelkoop, W. van Geel en P. Ehlert. 2021. De enkelvoudige versus de gecombineerde indicator voor bepaling van de fosfaattoestand van de bodem: toetsing op data van veeljarige veldproeven op grasland en bouwland. Wageningen Environmental Research, rapport 3129.
- Ros, G. 2020. Acht mythes rondom organische stof. *Opinieartikel Boer En Business*, 6 september 2020.
- Ruijter, F.J., W. van Dijk, W.C.A. van Geel, G. Hulshof, R. Postma en P. Wilting. 2020. Actualisatie van stikstof- en fosfaatgehalten van akkerbouwgewassen met een groot areaal. Wageningen Research, rapport WPR-957, 96 pp.
- Salazar, O., F. Nájera, W. Tapia and M. Casanova. 2017. Evaluation of the DAISY model for predicting nitrogen leaching in coarse-textured soils cropped with maize in the Mediterranean zone of Chile. *Agricultural Water Management* volume 182, p 77-86.
- Selin Norén, I., D. Verstand en J. de Haan. 2021. Effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties en bodemkwaliteit : integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer en eerste vertaalslag naar praktische boodschappen. WPR Rapport 856.
- Slier, T., J.P. Lesschen, B. Stout, R. Porre, H. Agricola, J. de Haan en C.J. Koopmans. 2021. CO2Bodem Tussenresultaten Slim Landgebruik. <https://edepot.wur.nl/564620>.
- Slier, T., B. Stout, W. Vervuurt, J. Schepens, L. Martinez Garcia, G. Velthof, J.P. Lesschen, H. Agricola, D. Westerik, C. Koopmans en J. van Middelaar. 2022. Integratierapport Slim Landgebruik. Verdieping op de effecten van maatregelen binnen Slim Landgebruik. Wageningen Environmental Research, 58 pp.
- Schepens, J.A.B., B.G.H. Timmermans, L. Fuchs, R. Peters, J. Bloem, D.T. Heupink, J.P. Wagenaar, T. Slier, en C.J. Koopmans. 2022. Meerjarige evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer: 2022-016 LbP, 23 pp.
- Schils, R., W. van Dijk, J. van Middelkoop, J. Oenema, K. Verloop, J. Huijsmans, P. Ehlert, C. van der Salm, H. van Reuler, P. Vreeburg, A. Dekking, W. van Geel en J.R. van der Schoot. 2012. Effect van mestbeleid op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst. WUR, Alterra rapport 2266, 12 pp.
- Timmermans, B.G.H., M.C. Hanegraaf en G.J. van der Burgt. 2023. Maatregelen voor koolstofvastlegging bekijken met behulp van N en P balansen: op zoek naar win-win. Combinatie van PPS Beter bodembeheer met resultaten van het Programma Slim Landgebruik. Factsheet, PPS Beter Bodem Beheer WP2B.
- Timmermans, B.G.H., G.J. van der Burgt, J.J.P. Crujisen, Chantal Hendriks, J. Wagenaar, Isabella Selin Noren, M. Hoogmoed en C.J. Koopmans. 2022. Koolstofvastlegging van maatregelpakketen toegepast in regio's. Modelstudie naar effecten van maatregelpakketen voor akkerbouw en veehouderij en vernieuwde kengetallen voor groenbemesters en gewasresten. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer 2022-022 LbP, 24 pp.

- 
- Verdonk, L., J. van der Kolk, T. Slier, J. Schepens en W. Vervuurt. 2022. 30 vragen en antwoorden over koolstofvastlegging in minerale landbouwgronden. Wageningen Environmental Research, 103 pp.
- Vereijken, P., H. Kloen en R. Visser. 1994. Innovatieproject Akkerbouw en Groenteteelt. Eerste voortgangsrapport. AB-DLO Wageningen, rapport 28, 95 pp.
- Vereijken, P., R. Visser en H. Kloen. 1998. Innovatie van de EKO-akkerbouw en groenteteelt met 10 voorhoedebedrijven (1919-1997). AB-DLO Wageningen, rapport 88, 110 pp.
- Verstand, D., W. Bijker, A. Evers, E. van der Burgt, O. van Hal, J.P. Wagenaar, B. Smit en M. de Haan. 2022. Kosten en Baten van Koolstofmaatregelpakketten. WUR – Louis Bolk Instituut, 49 pp.
- Vervuurt, W., M.C. Hanegraaf en A.J. Olijve. 2021. Trends in organische stof. WUR rapport WPR881, 82 pp.
- Visser, C. de, W. Sukkel, C. Kempenaar, T. van der Wal, P. de Wolf, A. Visser, B. Smit, H. Schoorlemmer, M. Schoutsen, K. Klompe, B. Veldhuisen, I. Selin-Noren, C. van Dijk, S. Hol, M. van der Voort en B. Janssens. 2020. Ontwerp Boerderij van de Toekomst. Rapport WPR-823, 45 pp.
- Voort, M. van der (redactie). 2018. KWIN-AGV 2018. Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt. PPO publicatienummer 776, WUR, 208 pp.
- Wallach D. en B. Goffinet. 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. Ecological Modelling 44: 209-306.
- Wesselink, M., D. van Balen en M-F. Dekkers. 2022. 12 jaar kennis uit BASIS. Factsheet project Beter Bodembeheer.
- Wijk, P. van. 2016. Fosfaatbenutting met groenbemesters bij een lage P-toestand van twee gronden van verschillende herkomst. WUR, PPO/PRI-rapport 683, 36 pp.
- Yang H.S. 1996. Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- Zwart, K., A. Kikkert, A. Wolfs, A. Termorshuizen en G.J. van der Burgt. 2013. Tien vragen en antwoorden over organische stof. HLB, Wijster, 8 pp.

#### **Relevante websites:**

- [www.handboekbodemenbemesting.nl](http://www.handboekbodemenbemesting.nl)
- [www.kringloopwijzer.nl](http://www.kringloopwijzer.nl)
- [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)
- [www.os-balans.nl/nl/](http://www.os-balans.nl/nl/)
- [www.iperen.com/organische-stofbalans-opstellen](http://www.iperen.com/organische-stofbalans-opstellen)
- [www.rothamsted.ac.uk/rothamsted-carbon-model-rothc](http://www.rothamsted.ac.uk/rothamsted-carbon-model-rothc)
- [www.NDICEAweb.eu](http://www.NDICEAweb.eu)
- <https://daisy.ku.dk>
- [www.eurofins-agro.com/nl-nl/n-leverend-vermogen](http://www.eurofins-agro.com/nl-nl/n-leverend-vermogen)
- [www.agrifirm.nl/cooperatie/projecten/groene-mest-groningen/](http://www.agrifirm.nl/cooperatie/projecten/groene-mest-groningen/)
- <https://bionext.nl/thema-s/klimaat/koplopers-kringlooplandbouw/>
- [hwww.goedbodembeheer.nl/drijfmest-en-regenwormen](http://hwww.goedbodembeheer.nl/drijfmest-en-regenwormen)
- [www.keurcompost.nl](http://www.keurcompost.nl)
- <https://edepot.wur.nl/564620>

# Bijlage 1 Overzicht beschikbare data systeemprouven

Systeemprouf	Behandelingen	Proefopzet	Beschikbare data	Periode
Planty Organic	maaimeststoffen e.a., geen onbehandelde varianten	enkelvoud	goed uitgewerkt, bodem-P 2012-2014- 2017-2019-2020	2012-2020, voortgezet
BKV	compost vs. geen compost; NKG vs. ploegen, steenmeel vs. geen steenmeel; e.a.	bodemonderzoek duplo, verder 4- voud	goede database	2013 - heden
BASIS	compost vs. geen compost; NKG vs. ploegen	viervoud	geen strakke database	2009 - 2021
BKZ	BIO vs. GB; compost vs. geen compost; lage OS-aanvoer vs. hoge OS-aanvoer; NKG vs. ploegen	enkelvoud	goed uitgewerkt, geen bodem-P	2000 - heden

---

## Bijlage 2 NDICEA beschrijving

NDICEA staat voor Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture en is ontwikkeld in de jaren '80 van de vorige eeuw binnen Wageningen Universiteit (Habets en Oomen 1993). De drijfveer was destijds tweeledig. Als eerste inzicht bieden in de lange termijn aspecten van de stikstofdynamiek in verband met het relatief grote belang daarvan binnen de biologische landbouw ten opzichte van de gangbare landbouw met de inzet van snelwerkende kunstmest-stikstof. Als tweede het model zo ontwerpen dat het gebruikt kan worden op basis van een keukentafelgesprek met een teler en er geen ingewikkelde of dure aanvullende metingen nodig zijn.

Sinds midden jaren '90 heeft het Louis Bolk Instituut het model ingezet bij een hele reeks van nationale en internationale projecten en daarbinnen het model verder ontwikkeld tot de huidige versie 6. Die is vrij beschikbaar op internet: [NDICEAweb.eu](http://NDICEAweb.eu). In 2006 is de wetenschappelijke beschrijving en de validatie van het model door LBI en WUR gepubliceerd (Burgt en anderen, 2006).

Op moment van publicatie van dit rapport wordt door Louis Bolk Instituut en Wageningen University and Research gewerkt aan een vernieuwde versie 7, die net als de laatste versie 6 web-based zal zijn. De verwachte datum van beschikbaarheid is tweede helft 2023.

NDICEA 6 is 'target-oriented': de gerealiseerde of verwachte opbrengst wordt ingevuld, en niet berekend op basis van omgevingsfactoren (water, temperatuur, licht, nutriënten). Het model rekent op basis van tijdstappen van één dag en is vooral gericht op stikstofdynamiek in relatie tot organische stofdynamiek (Van der Burgt en anderen, 2006). Fosfaat en kalium zitten wel in de mineralenbalans, maar uitsluitend op basis van aanvoer / afvoer, niet dynamisch zoals dat wel het geval is voor stikstof, de organische stof afbraak en de stikstofopname door gewassen. De huidige versie leent zich o.a. voor modellering van de organische stofopbouw en de N-mineraalgehalten in de bouwvoor. In de publicatie van Burgt en anderen (2006) wordt voor de beoordeling van het modelresultaat op basis van de vergelijking tussen gemeten en berekende N-mineraal niveau in de grond de RMSE voorgesteld (Wallach and Goffinet 1989) met een grenswaarde van 20 kg N ha<sup>-1</sup>: een scenario met een RMSE ≤ 20 wordt gezien als een betrouwbare weergave van de werkelijkheid.

Het model bestaat in hoofdlijnen uit:

- Een bodem/watermodule waarbij de watermodule gekoppeld is aan de minerale stikstof (nitraat in bodemvocht) waaruit stikstof wordt opgenomen of waaruit stikstof verdwijnt door uitspoeling of denitrificatie.
- Een gewasmodule met centraal de N-opname in afhankelijkheid van temperatuur, beworteling en vochtvoorziening
- Een organische stof module waarin de mineralisatie van stikstof uit afbraak van organische stof plaatsvindt.

Het model bevat een kalibratie-procedure voor een aantal bodem-gerelateerde parameters die nauwelijks of niet meetbaar zijn. Daarin wordt volgens de algoritmes van Price (1979) een geselecteerde set van die bodem-gerelateerde modelparameters iteratief gefit op een zo klein mogelijk verschil tussen gemeten en berekende N-mineraal niveaus. Zo kan de modeluitkomst 'verbeterd' worden in die zin dat meting en berekening dichter bij elkaar komen te liggen. Bij een losstaand scenario is dat het eindpunt: het modelresultaat past na kalibratie beter bij de gemeten waarden, maar er heeft verder geen enkele toets of validatie plaatsgevonden. Of dit de werkelijkheid beter beschrijft dan bij gebruik van de oorspronkelijke



---

default parameter waarden kan niet op voorhand gezegd worden. Indien er meerdere scenario's zijn op eenzelfde grondslag en er een vergelijkbaar landbouwsysteem aanwezig is kunnen parameterwaarden van de verschillende scenario's (plots) na kalibreren met elkaar worden vergeleken. Als de richting van de verandering van waarde bij de verschillende scenario's goed overeenkomt geeft dat meer vertrouwen in de kwaliteit van de gekalibreerde set dan wanneer het alle kanten op springt. Als er daarnaast ook nog de mogelijkheid is om de gekalibreerde waarden te valideren aan een vervolg-dataset van het zelfde veld kan er nog een stap in betrouwbaarheid gezet worden. Voor de praktijk is het echter aantrekkelijker om een redelijk modelresultaat op basis van de default instellingen niet te gaan 'verbeteren' door middel van kalibreren. Dat vergroot het vertrouwen in het model en de bruikbaarheid in de praktijk waar vaak geen reeksen van metingen beschikbaar zijn voor een toetsing.

## Bijlage 3 Balanscijfers uit NDICEA

LTE		PIOrg Planty Organic Format 2021	PIOrg Planty Organic format 2021 met compost	KW gangbaar Format gangbaar Kolummerwaard
	Behandeling	PO	PO met compost	Kol gangbaar
N	Aanvoer	0	59	183
	Stikstofbinding	83	77	0
	Depositie	21	21	21
	Totaal aanvoer	104	157	204
	Afvoer met producten	77	77	135
	Berekend overschot	27	80	69
	Vervluchtiging	0	0	0
	denitrificatie	7	8	19
	uitspoeling	18	19	48
	Opbouw N in org. stof	6	54	6
	N-efficiëntie (1)	74	49	66
	N-efficiëntie (2)	80	84	69
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Aanvoer	0	36
Depositie		3	3	3
Afvoer met product		36	36	70
Overschot		-33	3	4
K <sub>2</sub> O	Aanvoer	0	51	148
	Depositie	8	8	8
	Afvoer met product	104	104	168
	Overschot	-96	-45	-12
OS	Netto effect per jaar in kg	-34	1342	224
	Netto effect per jaar in procentpunt	0,00	0,03	0,01

<b>LTE</b>		<b>BKV Gemiddelde</b>	<b>BKV Gemiddelde</b>	<b>BKV Gemiddelde</b>	<b>BKV Gemiddelde</b>	<b>BKV Gemiddelde</b>	<b>BKV Gemiddelde</b>
<b>Behandeling</b>		<b>Combi spitten</b>	<b>Steenmeel spitten</b>	<b>CaMg spitten</b>	<b>Tagetes spitten</b>	<b>standaard spitten</b>	<b>compost spitten</b>
N	Aanvoer	247	173	173	148	169	298
	Stikstofbinding	0	0	0	0	0	0
	Depositie	28	28	28	28	28	28
	Totaal aanvoer	275	201	201	176	197	326
	Afvoer met producten	126	129	122	98	121	130
	Berekend overschot	150	72	79	78	75	195
	Vervluchtiging	0	1	2	3	4	5
	denitrificatie	26	21	21	17	19	29
	uitspoeling	81	73	81	88	82	98
	Opbouw N in org. stof	52	-13	-13	-22	-18	75
	N-efficiëntie (1)	46	64	61	56	62	40
	N-efficiëntie (2)	64	58	54	43	53	63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Aanvoer	86	53	61	53	61	86
	Depositie	3	3	3	3	3	3
	Afvoer met product	72	74	70	57	70	75
	Overschot	16	-19	-6	-1	-6	14
K <sub>2</sub> O	Aanvoer	145	109	133	82	172	172
	Depositie	8	8	8	8	8	8
	Afvoer met product	240	246	232	231	239	250
	Overschot	-88	-130	-91	-142	-60	-70
OS	Netto effect per jaar in kg	1279	-339	-349	-518	-425	1288
	Netto effect per jaar in procentpunt	0,03	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,03

<b>LTE</b>		<b>BKV 59</b>	<b>BKV 60</b>	<b>BKV 71</b>	<b>BKV 72</b>
	<b>Behandeling</b>	<b>Standaard NKG</b>	<b>Compost NKG</b>	<b>Standaard spitten</b>	<b>Compost spitten</b>
N	Aanvoer	169	315	169	298
	Stikstofbinding	0	0	0	0
	Depositie	28	28	28	28
	Totaal aanvoer	197	343	197	326
	Afvoer met producten	127	126	127	129
	Berekend overschot	71	217	70	197
	Vervluchtiging	0	0	0	0
	denitrificatie	16	34	17	33
	uitspoeling	70	121	76	116
	Opbouw N in org. stof	-9	67	-16	52
	N-efficiëntie (1)	64	37	64	40
	N-efficiëntie (2)	60	56	56	56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Aanvoer	61	97	61	86
	Depositie	3	3	3	3
	Afvoer met product	73	73	73	75
	Overschot	-8	27	-8	14
K <sub>2</sub> O	Aanvoer	172	186	172	172
	Depositie	8	8	8	8
	Afvoer met product	251	242	249	244
	Overschot	-72	-48	-69	-65
OS	Netto effect per jaar in kg	-229	1081	-392	773
	Netto effect per jaar in procentpunt	-0,01	0,03	-0,01	0,02

<b>LTE</b>		<b>BASIS Minimale grondbewerking Basis</b>	<b>BASIS Ploegen Basis</b>	<b>BASIS BASIS ref</b>	<b>BASIS BASIS C20</b>	<b>BASIS BASIS C40</b>
<b>Behandeling</b>		<b>Standaard NKG</b>	<b>Stand. ploegen</b>		<b>Compost 20</b>	<b>Compost 40</b>
N	Aanvoer	107	108	109	219	329
	Stikstofbinding	8	5	13	5	2
	Depositie	25	25	25	25	25
	Totaal aanvoer	140	138	146	249	356
	Afvoer met producten	106	103	98	100	100
	Berekend overschot	34	35	48	149	256
	Vervluchtiging	0	0	5	6	7
	denitrificatie	16	19	29	41	56
	uitspoeling	43	60	44	69	99
	Opbouw N in org. stof	-16	-39	-16	44	103
	N-efficiëntie (1)	75	74	67	40	28
	N-efficiëntie (2)	64	46	56	58	57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Aanvoer	37	37	63	124	185
	Depositie	3	3	3	3	3
	Afvoer met product	56	56	55	56	56
	Overschot	-16	-16	11	71	131
K <sub>2</sub> O	Aanvoer	110	110	127	237	347
	Depositie	8	8	8	8	8
	Afvoer met product	151	152	149	151	152
	Overschot	-33	-34	-14	94	203
OS	Netto effect per jaar in kg	-497	-1054	-3804	-2583	-1368
	Netto effect per jaar in procentpunt	-0,01	-0,03	-0,09	-0,06	-0,03

<b>LTE</b>		<b>BKZ A VP</b>	<b>BKZ B VP</b>	<b>BKZ C VP</b>	<b>BKZ D VP</b>
<b>Behandeling</b>	<b>St. NKG</b>	<b>St. NKG compost</b>	<b>St. ploegen</b>	<b>St. pl. compost</b>	
N	Aanvoer	191	240	229	273
	Stikstofbinding	24	23	11	11
	Depositie	25	25	25	25
	Totaal aanvoer	240	288	265	309
	Afvoer met producten	109	110	148	149
	Berekend overschot	131	178	117	160
	Vervluchtiging	1	2	3	4
	denitrificatie	23	25	26	28
	uitspoeling	116	113	114	111
	Opbouw N in org. stof	-1	48	-13	32
	N-efficiëntie (1)	45	38	56	48
	N-efficiëntie (2)	45	55	51	59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Aanvoer	59	80	52	74
	Depositie	3	3	3	3
	Afvoer met product	50	50	57	57
	Overschot	12	33	-1	20
K <sub>2</sub> O	Aanvoer	207	257	239	288
	Depositie	8	8	8	8
	Afvoer met product	173	175	218	218
	Overschot	42	89	29	77
OS	Netto effect per jaar in kg	-100	999	-305	621
	Netto effect per jaar in procentpunt	0,00	0,02	-0,01	0,02

To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen University & Research

**Open Teelten**

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

**[www.wur.nl/openteelten](http://www.wur.nl/openteelten)**

**[info.openteelten@wur.nl](mailto:info.openteelten@wur.nl)**

Rapport WPR-OT 1032

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---