

Evaluatie van de méérjarige effecten van verschillende typen organische stof op de opbrengststabiliteit, mineralenbalansen en uitspoelingsverliezen

Resultaten van 20 jaar Mest als Kans

Natalie L. Bakker, Geert Jan van der Burgt,
Chris J. Koopmans



© 2020 Louis Bolk Instituut

Evaluatie van de méérjarige effecten van verschillende typen organische stof op de opbrengststabiliteit, mineralenbalansen en uitspoelingsverliezen – Resultaten van 20 jaar Mest als Kans

Auteurs: Natalie L. Bakker, Geert Jan van der Burgt en Chris J. Koopmans

Publicatienummer 2020-041 LbP

24 pagina's

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



Dit onderzoek is in opdracht van de PPS Beter Bodembeheer, uitgevoerd door het Louis Bolk instituut (project LBI 3750354206)

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Voorwoord

Dit rapport komt voort uit een veldexperiment dat 20 jaar duurde, naar de effecten van verschillende typen organische stof input op de bodemkwaliteit, opbrengst van de gewassen, kwaliteit van het geoogste product en de kringloop van mineralen in het systeem onder verschillende bemestingsstrategieën.

Het onderzoek is opgezet en beheerd door het Louis Bolk Instituut, maar aan dit lange termijn onderzoek hebben vele partijen in de loop der jaren hun steentje bijgedragen. Voor het verschaffen van een geschikte locatie, het bewerken van de percelen, en het overleg over de werkzaamheden, bedanken we Jan van Geffen die gedurende alle jaren het landbouwkundig beheer van het proefveld onder zijn hoede nam.

We bedanken ook Jan Bokhorst en Coen ter Berg die in 1999 het initiatief voor het experiment namen en de opzet ontwierpen en vele jaren betrokken waren bij de uitvoering van alle werkzaamheden. Gedurende alle jaren hebben vele collega's van het Louis Bolk Instituut bijgedragen aan het onderzoek en het onderhoud van het proefveld waaronder Marleen Zanen, Monique Hospers, Bart Timmermans, Mieke van Opheusden Riekje Bruinenberg, Hans Dullaert en vele anderen. Ook bedanken we Caterina Luppa die als stagiaire bij het Louis Bolk instituut de basis legde voor de huidige analyse.

Ten slotte bedanken we de deelnemers aan de PPS Betere Bodembeheer en het Ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV) in het bijzonder, die deze evaluatie van het proefveld financieel mogelijk maakten en gedurende meerdere jaren bijdroegen aan deelonderzoeken vanuit het proefveld en analyse van de resultaten.

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
Summary	8
1 Inleiding en achtergrond	9
2 Vraagstelling en onderzoeksdoelen	10
3 Onderzoeksopzet	11
4 Data-analysemethode	13
4.1 Methode	13
4.2 Kalibratie van het model	14
5 Resultaten	16
5.1 Opbrengst en opbrengststabiliteit	16
5.2 Berekende N-uitspoeling	18
5.3 Mineralenbalansen	19
6 Conclusies	21
Literatuur	23

Samenvatting

In dit rapport worden de meeste recente resultaten van het project Mest als Kans besproken. Mest als Kans is in 1999 opgezet, en richt zich op het onderzoeken van de (lange termijn) effecten van verschillende bemestingsstrategieën m.b.t. bodemkwaliteit en gewas. Hier wordt specifiek de impact van 9 bemestingsvarianten op gewasopbrengst, stikstofuitspoeling, en mineralenbalansen uiteengezet. De bemestingsstrategieën kunnen onderverdeeld worden in strategieën gericht op het voeden van de bodem, gericht op het voeden van de plant, of een combinatie van die twee.

Om de relatieve opbrengst en opbrengststabiliteit van de verschillende soorten bemesting te bepalen, is gebruikt gemaakt van velddata van 1999 t/m 2019. De stikstofuitspoeling kon niet direct in het veld gemeten worden; hiervoor is het stikstofmodel NDICEA ingezet. NDICEA kent een maximum tijdsperiode van 12 jaar, en hierbij is daarom het tijdsbestek 2008 t/m 2019 gebruikt. Ook de mineralenbalans is berekend met het NDICEA model, waarbij dezelfde periode is aangehouden.

De bemestingsstrategieën gericht op zowel het voeden van de bodem alsmede de plant (Kippenmest, Potstalmest, en GFT + Drijfmest) brachten relatief de meeste opbrengst. Aan het eind van de proef was de opbrengst van deze bemestingen gemiddeld 20% hoger dan dat van de andere soorten bemesting. Groencompost (bodemvoedend) en NPK (plantvoedend) lieten een sterke daling zien in relatieve opbrengst gedurende de proef, en hadden gemiddeld de laagste opbrengst. De NDICEA modelberekeningen wijzen uit dat de meeste behandelingen voldoen aan de EU-norm voor grondwater wat betreft stikstofuitspoeling; alleen Potstalmest en GFT + Drijfmest overschrijden in de berekeningen de norm. De bemestingsstrategieën verschillen significant in input van stikstof, fosfaat, en kali, maar de verschillen in onttrekking van deze stoffen door geoogst product zijn minimaal. Extra beschikbare stikstof in de grond verhoogt de uitspoeling, maar leidt derhalve niet altijd tot proportionele hogere opbrengsten.

Summary

This report discusses the most recent results of the project Mest als Kans (Manure as an Opportunity). Mest als Kans was launched in 1999, and focuses on researching the long term effects of various organic amendments on soil quality and crop parameters. In this report, specifically, the effects of 9 different fertilisers on crop yield, nitrogen leaching, and mineral balances are examined. The different fertilisers are subdivided into three strategies: 1) those which target feeding the soil; 2) those which target feeding the crop; 3) those which feed both soil and crop.

To determine the relative yield and yield stability of the different fertilisers, field data from 1999 to 2019 were used. Nitrogen leaching could not be measured directly in the field, therefore to determine this, the nitrogen model NDICEA was utilised. The mineral balances were also calculated from this same model. NDICEA has a maximum time span of 12 years. As such, all model analyses were performed on the most recent 12 years, from 2008 until 2019.

The fertilisers which target feeding both soil and crop (Poultry Manure, Deep Stable Manure, and Household Compost + Slurry) produced the highest relative crop yield. At the end of the experiment, the yield of these fertilisers was, on average, 20% higher than that of the other types of fertiliser. The plant compost and mineral fertiliser both had decreasing relative yields over time, and produced the lowest yields of all fertilisers tested. The NDICEA model calculations show that nearly all fertilisers meet the EU norm with regards to nitrogen leaching to groundwater; only Deep Stable Manure and Household Compost + Slurry exceeded it in our calculations. The fertilisers tested differed significantly in their input of nitrogen, phosphate and potash, however the differences in the harvest of these minerals by crops were minimal. The extra available nutrients are instead leached into the groundwater. This shows that additional nutrients are disproportionately lost, as opposed to being effectively utilised by crops to increase the yield.

1 Inleiding en achtergrond

Op het Mest Als Kans proefveld loopt sinds 1999 een bemestingsproef. In dit langjarige experiment wordt het effect van 13 verschillende bemestingsstrategieën op bodemkwaliteit en gewas onderzocht. In de loop der jaren zijn al diverse publicaties met (tussentijdse) resultaten verschenen, waaronder Koopmans en Bloem (2018), Bokhorst *et al.* (2008), Zanen *et al.* (2008), Opheusden *et al.* (2012), en Luppa (2018). Dit rapport richt zich specifiek op de effecten van de verschillende soorten bemesting op opbrengst(stabiliteit), stikstofuitspoeling, en mineralenbalansen. Er wordt gebruikt gemaakt van reeds beschikbare data van voorgaande jaren, alsmede de meest recente data over 2018 en 2019.

De focus op opbrengst, stikstofuitspoeling, en mineralenbalansen komt voort uit de actualiteit van deze thema's. Ondanks dat uitspoeling geen volledig nieuw onderwerp is, is er een groeiende urgentie onze kennis hierover te verbreden, nu blijkt dat er op verschillende plekken de richtlijnen voor grondwater en oppervlaktewater - wat betreft nitraat - niet gehaald worden. Verhoging van het organische stofgehalte van de grond, vaak genoemd als wens om aan zowel bodemvruchtbaarheid als klimaatdoelstellingen te voldoen, heeft onlosmakelijk gevolgen voor de stikstofhuishouding, en daarmee potentiële gevolgen voor de stikstofuitspoeling. In dit rapport wordt onderzocht wat deze gevolgen op de stikstofuitspoeling zijn, en hoe dit samenhangt met de gewasopbrengst. Naast de stikstofbalans wordt ook de mineralenbalans van fosfaat en kali opgemaakt, ten behoeve van de nieuwe richtlijnen op dit gebied (zie o.a. LNV, 2017).

De analyse is uitgevoerd over de proefperiode 1999 t/m 2019. Om de stikstofuitspoeling en mineralenbalans te bepalen is gebruik gemaakt van het stikstofmodel NDICEA (Van der Burgt *et al.*, 2006). NDICEA kent een maximum tijdspanne van 12 jaar, en in deze gevallen is daarom het tijdsbestek 2008-2019 aangehouden.

2 Vraagstelling en onderzoeksdoelen

Organische stof dynamiek en stikstof dynamiek zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. In het Mest Als Kans proefveld zijn bemestingsvarianten opgenomen die voornamelijk gericht zijn op respectievelijk bodemvoeding (veel organische stof, weinig direct beschikbare stikstof), gewasvoeding (veel direct beschikbare stikstof, met als uiterste N-P-K kunstmest), en op een middenweg van zowel bodemgerichte als gewasvoedende meststoffen. Dat biedt na twintig jaar de unieke mogelijkheid om de gevolgen van de verschillende varianten op de organische stof- en de stikstofdynamiek op korte én op lange termijn in beeld te brengen. In dit rapport worden de daarmee samenhangende vraagstukken behandeld in drie hoofdonderwerpen:

- **Opbrengststabiliteit.** Hoe hoog is de relatieve opbrengst; is er wel of geen sprake van een (stijgende of dalende) tendens in de jaren 2008-2019;
- **Stikstofuitspoeling.** De verschillende bemestingsvarianten hebben aanzienlijke verschillen in N-totaal input en in N-beschikbaarheid. Door opbouw van bodemorganische stof kan op termijn van jaren de N-beschikbaarheid gedurende het seizoen groter worden. Leidt dat tot hogere opbrengsten of tot hogere uitspoeling?
- **Mineralenbalansen.** Hoe is de verhouding tussen de input en de via producten gerealiseerde afvoer?

3 Onderzoeksopzet

Het Mest Als Kans proefveld is gelegen op het biologisch groenteteeltbedrijf 'Arenosa' in Lelystad, Oostelijk Flevoland (52.32° N, 5.30° E). De bodem van het proefperceel bestaat uit lichte zavel met 4,4% kalk. Bij aanvang (in 1999) was de bodem relatief arm aan organische stof (1,6%), en bevatte het 9% lutum. De bouwvoor is ca. 30 cm dik met daaronder een afwisseling van humushoudende en humusarme zandlagen. De oorspronkelijke proef is aangelegd in de vorm van een gewarde blokkenproef met 13 varianten in vier herhalingen. De grootte van de afzonderlijke veldjes is 7 m x 9 m. De proef is opgenomen in de vruchtwisseling van het groenteteeltbedrijf. In de vruchtwisseling van het perceel zijn vanaf 2011 groenbemesters opgenomen.

De chemische bodemvruchtbaarheidsanalyse is uitgevoerd door Eurofins-Agro in Wageningen. Bepaling van de gewasopbrengsten was in de loop der jaren afhankelijk van het gewas. In veel maar niet alle jaren is het product geanalyseerd op inhoudsstoffen. De mineralenbalansen zijn dus voor een klein deel gebaseerd op default data voor nutriëntengehaltes van de gewassen.

Op het perceel kan niet rechtstreeks de uitspoeling gemeten worden. Om daar toch een inschatting van te kunnen maken is gebruik gemaakt van het organische stof en stikstof model NDICEA (van der Burgt *et al.*, 2006). De organische stof dynamiek in dit model is grotendeels gebaseerd op Janssen (1984; 1996). Kalibratie van het model op de bodem organische stof is niet mogelijk vanwege de vrij grote foutenmarge in de meting. Het model is daarom gekalibreerd met behulp van metingen aan minerale stikstof (nitraat) in de laag 0-30 cm van de bodem.

Van de 13 aanwezige bemestingsvarianten zijn negen opgenomen in de set voor dit rapport. Deze staan in *Tabel 1*. Van de Controle moet opgemerkt worden dat deze pas vanaf 2007 als een nulvariant fungeert.

Tabel 1: Bemestingsvarianten en grondslagen voor hoeveelheidsbepaling.

Strategie	Behandeling	Doel	Gerealiseerd in kg per ha			
			N-totaal	P ₂ O ₅	D.s. ¹	O.s. ²
Plant	NPK	67 kg minerale N	66	55	551	0
	Drijfmest	67 kg N-mineralisatie	99	38	2027	1426
Bodem	Groencompost	6000 kg d.s. ¹	49	26	4911	1426
	GFT-compost	6000 kg d.s. ¹	65	39	5215	1525
	Natuurcompost	80 kg P ₂ O ₅	175	79	9281	6149
Bodem en Plant	Potstalmest	67 kg N-mineralisatie	167	85	6746	4533
	Kippenmest	80 kg P ₂ O ₅	89	79	2169	1601
	GFT + Drijfmest	67 kg N-mineralisatie	156	74	7102	2852
Controle	Onbemest	0	0	0	0	

¹ D.s. = droge stof; ² O.s. = organische stof

De verschillende bemestingsvarianten hebben verschillende grondslagen op basis waarvan de te geven hoeveelheid werd vastgesteld. Dit staat weergegeven in *Tabel 1*, kolom 'Doel'. Een indeling daarvan, op hoofdlijnen, is die naar strategie of hoofddoel van de bemesting: bodemverzorgend, plantenvoedend-gericht, of een combinatie van die twee.

Natuurcompost wordt toegediend in een in 1999 maximaal toegestane P_2O_5 - dosering als 'schone compost', terwijl Groencompost als zogenaamd niet-schone compost begrensd was op 6000 kg droge stof per hectare. Dit resulteert in een aanzienlijk verschil in toegediende hoeveelheid.

Voor een goed begrip van de proefopzet is het nodig er bewust van te zijn dat het hier niet gaat om een veldproef gericht op optimalisatie van de bemesting. De wettelijke normen van 1999 zijn als uitgangspunt genomen en deze hoeveelheden zijn gedurende de looptijd van 20 jaar ongewijzigd gebleven. Op die manier is getracht een zo helder mogelijk beeld te verkrijgen van wat de afzonderlijke meststoffen op lange termijn betekenen voor de bodemvruchtbaarheid, voor de opbrengsten, en voor de uitspoeling. Daarmee zijn de in 1999 gekozen hoeveelheden te geven meststof onafhankelijk van het specifieke gewas in een jaar, en onafhankelijk van opbrengsten of andere resultaten.

In *Tabel 2* staat de opvolging van de gewassen, of er wel of niet bemest is, en de toepassing van groenbemester. Er is een scheiding gemaakt tussen 1999-2007 en 2008-2019, in lijn met de analyse-periodes. In de periode 1999-2007 is er geen gebruik gemaakt van groenbemers.

Tabel 2: Gewasvolgorde, bemesting, en groenbemers.

Jaar	Gewas	Bemesting	Jaar	Gewas	Bemesting	Groenbemester
1999	Rode kool	Ja	2008	Schorseneer	Ja	
2000	Aardappel	Ja	2009	Pastinaak	Ja	
2001	Rode biet	Ja	2010	Pompoen	Nee	
2002	Waspeen	Nee	2011	Pastinaak	Ja	Rogge
2003	Pastinaak	Ja	2012	Aardappel	Ja	Rogge
2004	Broccoli	Nee	2013	Schorseneer	Nee	Rogge
2005	Pompoen	Ja	2014	Prei	Ja	
2006	Bloemkool	Ja	2015	Suikermais	Ja	Rogge
2007	Aardappel	Nee	2016	Schorseneer	Nee	Rogge
			2017	Pastinaak	Ja	Rogge
			2018	Zomergerst	Nee	Gerst
			2019	Aardpeer	Ja	

4 Data-analysemethode

4.1 Methode

Voor de **relatieve opbrengst en opbrengststabiliteit** zijn velddata van 1999 tot en met 2019 gebruikt. Om vergelijkingen te kunnen maken tussen de jaren en over de verschillende gewassen is voor ieder jaar afzonderlijk de gemiddelde opbrengst bepaald. Deze gemiddelde opbrengst per jaar is gelijkgesteld aan een indexwaarde van 100. De opbrengsten van de behandelingen zijn daarna gecalculeerd t.o.v. deze indexwaarde (zo is bv. een opbrengst van 110, 10% hoger dan gemiddeld). Op deze manier konden de relatieve opbrengsten van de behandelingen in beeld worden gebracht, alsmede eventuele veranderingen daarin over de jaren. Ook kon op basis daarvan bekeken worden wat de effecten zijn van wel/niet bemesten op de relatieve opbrengsten. Om de opbrengststabiliteit te bepalen is gebruikt gemaakt van de trendlijn en de standaardafwijking. N.B. doordat er sprake is van wisselende gewassen kan er geen uitspraak gedaan worden over algemene toe- of afname van het productiepotentieel.

Naast velddata is er gebruikt gemaakt van modelberekeningen met NDICEA (van der Burgt *et al.*, 2006). Alle model-uitkomsten hebben betrekking op een periode van 12 jaar (2008-2019), de maximale omvang van een datasetdoorrekening met NDICEA. Wel is de periode 1999-2007 voorafgaand met NDICEA gesimuleerd, en zijn de resulterende bodemeigenschappen vanaf 2008 meegenomen in de simulatie. Het model is daarna gekalibreerd (zie sectie 4.1). Statistische analyses zijn uitgevoerd met IBM SPSS Statistics 27 (2020).

De **mineralenbalansen** zijn berekend met NDICEA over 2008 t/m 2019. Het betreft dus gemiddelde cijfers over een periode van 12 jaar. Hierbij is gekeken naar de input, oogst, en balans. Voor stikstof is daarnaast ook nog gekeken naar de uitspoeling, denitrificatie, verfluchtiging en mutaties in bodem organische stikstof, allen op basis van de uitkomsten van de NDICEA-scenario berekeningen.

De **uitspoeling** en de **beschikbaarheid van stikstof** zijn ook bepaald aan de hand van de modelberekeningen over de periode 2008-2019. Bij de bepaling van de belasting van het grondwater zijn de in NDICEA berekende verliezen in kg N ha⁻¹ uit de bewortelbare zone eerst omgerekend van kg ha⁻¹ naar mg N liter⁻¹ en daarna vermenigvuldigd met een locatie- en bodemspecifieke verliesfactor op basis van de resultaten van Schröder *et al.* (2007). De uitspoeling is berekend vanaf de zaaidatum van het gewas tot de zaaidatum van het volgende gewas, in tegenstelling tot 1 Jan – 31 Dec. Hierdoor wordt het uitspoelingseffect van slechts één gewas berekend.

4.2 Kalibratie van het model

Voor de kalibratie van de modelscenario's is gebruik gemaakt van de RMSE (Root Mean Squared Error; Wallach and Goffinet, 1989) van de gemeten en gemodelleerde N-mineraal waarden in de bouwvoor 0-30 cm. Daarbij is een verschilwaarde van 20 kg stikstof per hectare als grens gebruikt tussen 'betrouwbare' modellering en 'onvoldoende betrouwbare' modellering (van der Burgt *et al.*, 2006).

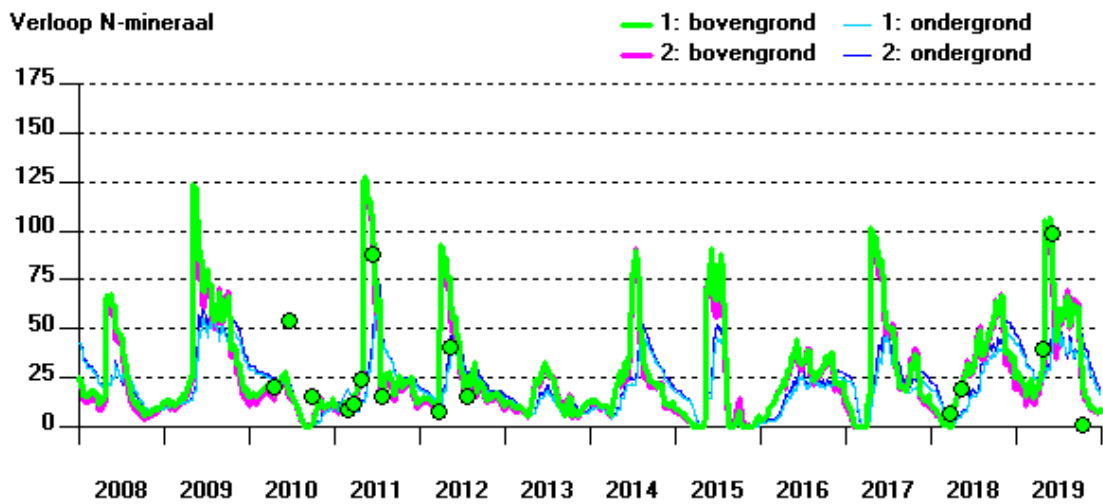
Van de 36 betrokken plots zijn 9 'gemiddelde' behandelingsscenario's in NDICEA gemaakt. Hierin zijn de gemiddelde waarden van vier herhalingen van de N-mineraal bepalingen ingevoerd. Afhankelijk van de behandeling waren er 14 – 16 meetmomenten beschikbaar in het tijdvak 2008 – 2019. Voorafgaand aan kalibratie over de periode 2008 – 2019, zijn de in het model gebruikte bodemparameters ongewijzigd gelaten. Voor de bodem organische stof zijn actuele waarden per 1-1-2008 genomen. In Tabel 3 staan de uitkomsten gegeven van de relatie tussen gemeten N-mineraal waarden en gemodelleerde waarde, uitgedrukt als RMSE (Root Mean Square Error), voorafgaand en na kalibratie.

Tabel 3: RMSE (Root Mean Square Error) waarden vóór en na kalibratie. De RSME wordt als maatstaf gebruikt om het verschil tussen het model en de gemeten waarden in het veld aan te geven.

		Voorafgaand	Na kalibratie	
		RMSE (kg ha-1)	RMSE (kg ha-1)	n
Plant	NPK	17,17	16,89	15
	Drijfmest	14,01	14,17	16
Bodem	Groencompost	13,37	11,57	15
	GFT-compost	11,98	10,60	15
	Natuurcompost	14,15	12,15	15
Bodem en Plant	Potstalmest	13,14	13,67	16
	Kippenmest	13,42	13,45	15
	GFT + Drijfmest	15,40	14,94	16
Controle	Onbemest	11,94	9,71	14

Voorafgaand aan de kalibratie waren de RMSE-uitkomsten voor alle behandelingen lager dan 20; kalibratie zou dan niet nodig zijn. Volledigheidshalve is het toch gedaan. De verbeteringen zijn marginaal. Die marginale verandering wordt geïllustreerd met een grafiek uit NDICEA m.b.t. de behandeling GFT + Drijfmest, waarin binnen één scenario zowel vóór (1, groen) als ná (2, roze) kalibratie getoond wordt. Dit is weergegeven in *Figuur 1*.

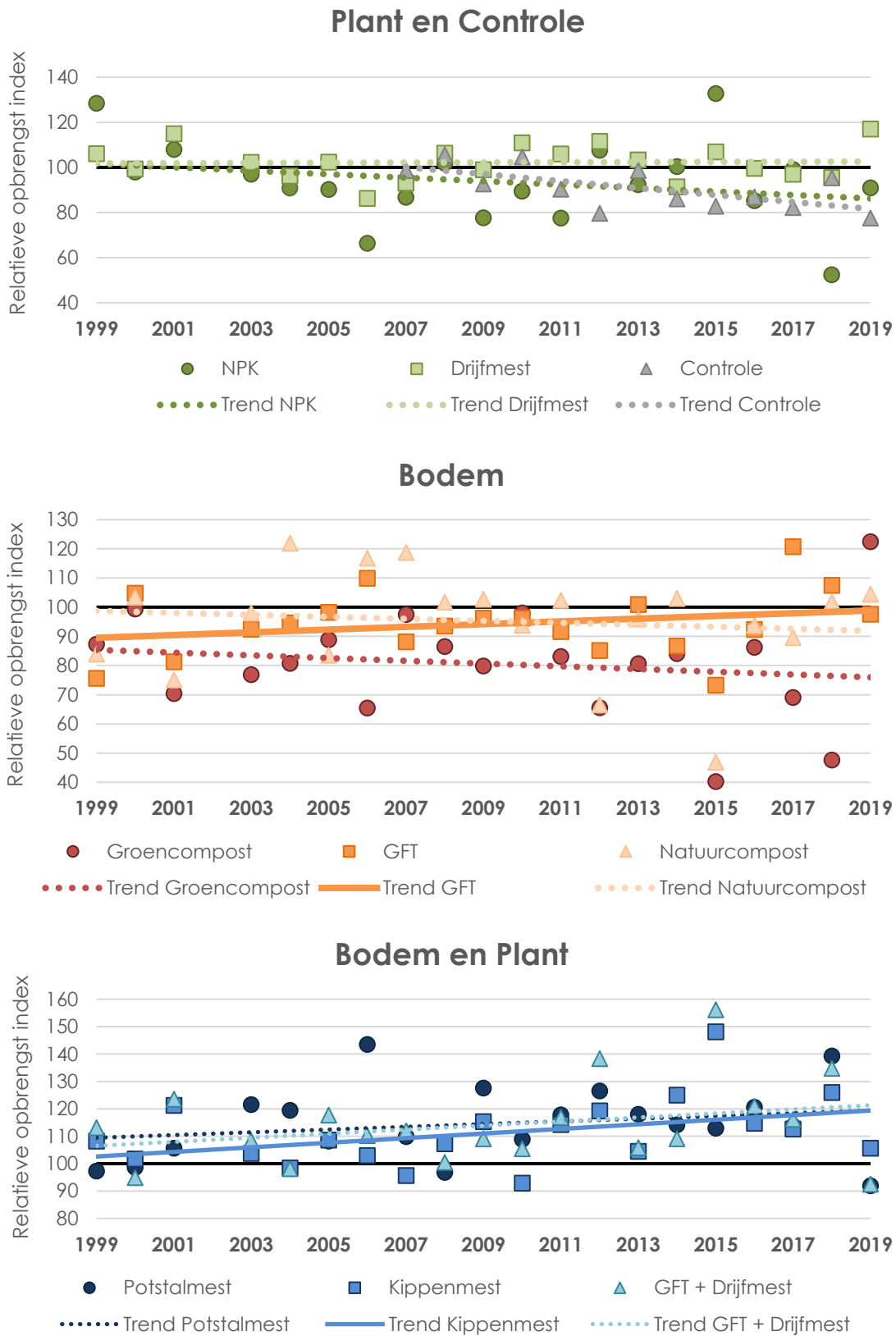
Het verloop van de roze lijn (gekalibreerd) is zeer vergelijkbaar met het verloop van de groene lijn (niet gekalibreerd). Meestal ligt het niveau N-mineraal na kalibratie iets onder de waarde vóór kalibratie. De verschillen zijn zeer gering.



Figuur 1: Verloop N-mineraal in bovengrond (0-30 cm) en ondergrond (30-60) vóór (1) en ná (2) kalibratie van het scenario van GFT + Drijfmest. Groene bolletjes zijn metingen.

5 Resultaten

5.1 Opbrengst en opbrengststabiliteit



Figuur 2: Relatieve opbrengst en opbrengststabiliteit van de verschillende bemestingsstrategieën.

Figuur 2 laat de relatieve opbrengst en opbrengstontwikkeling over de jaren zien. De drie bemestingsstrategieën (bodemvoedend, plantenvoedend of een combinatie van die twee) zijn separaat weergegeven. De zwarte lijn is de indexwaarde 100, die per jaar is vastgesteld over alle negen behandelingen.

De gecombineerde bodem en plantgerichte strategieën scoren het beste, en hebben allen een bovengemiddelde opbrengst gedurende de proefperiode. Deze strategieën laten ook allen een stijgende tendens zien. De gewasgerichte strategieën scoren bij aanvang gemiddeld, maar door een licht dalende trend zwakt de opbrengst na verloop van tijd iets af. De bodemgerichte strategieën daarentegen scoren over het algemeen beneden gemiddeld, maar blijven relatief constant presteren. Groencompost heeft gemiddeld de laagste opbrengst. Zoals verwacht, laat ook de Controle een dalende trend zien.

Naast de relatieve opbrengst en de trend daarvan over de jaren heen, is gekeken naar opbrengststabiliteit. Hiervoor is gekeken naar de standaardafwijking (zie *Tabel 4*).

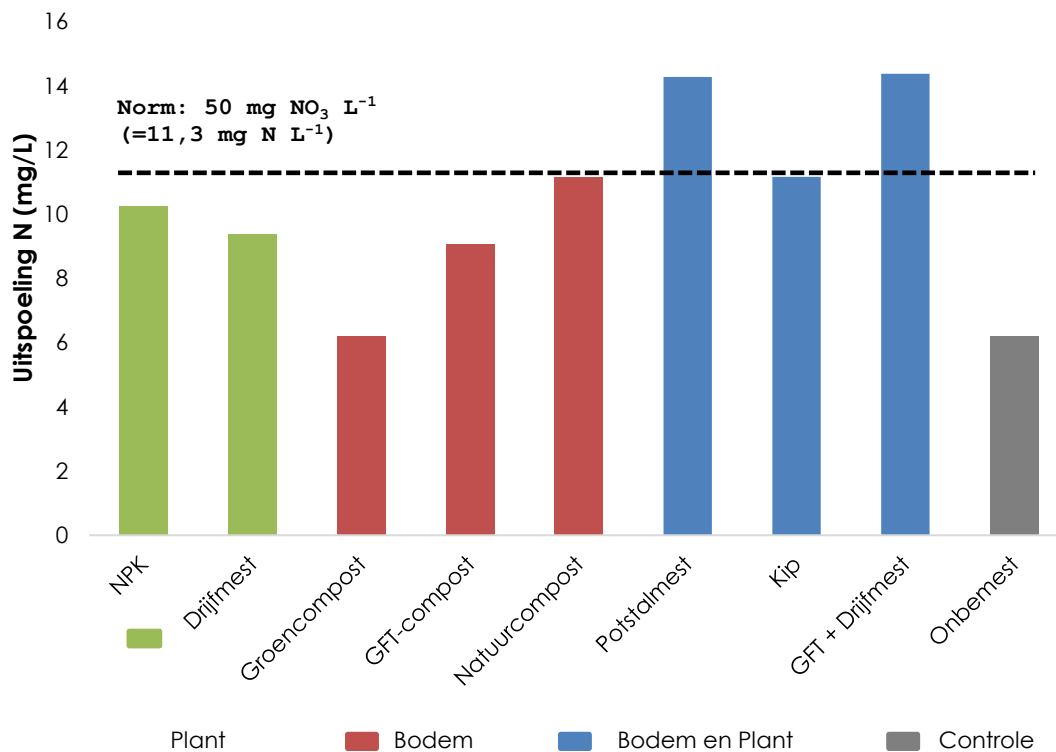
Tabel 4: Standaardafwijking als maat voor opbrengststabiliteit per behandeling. Statistische verschillen tussen de bemestingsstrategieën zijn aangegeven in de rechterkolom ($P < 0,05$).

		Standaard afwijking (%)	
Plant	NPK	19,2	abc
	Drijfmest	7,6	abc
Bodem	Groencompost	22,1	abc
	GFT-compost	11,8	ab
	Natuurcompost	18,2	c
Bodem en Plant	Potstalmest	11,5	abc
	Kippenmest	11,1	abc
	GFT + Drijfmest	13,1	bc
Controle	Onbemest	9,8	a

Drijfmest heeft de hoogste opbrengststabiliteit (dus de kleinste relatieve fluctuaties over het tijdsbestek) en Groencompost de laagste stabiliteit. Statistisch bezien is er echter een grote mate van overlap, waarbij alleen Drijfmest significant verschilt van NPK, en GFT + Drijfmest alleen verschilt van Natuurcompost.

De drie strategieën gericht op het voeden van zowel bodem als plant scoren niet alleen een bovengemiddelde relatieve opbrengst met een stijgende tendens, maar doen dat ook – Kippenmest het minst – in jaren zonder bemesting. De strategieën die op de plant óf op de bodem gericht zijn scoren in jaren zonder bemesting vrijwel altijd en vrijwel allemaal beneden gemiddeld, en hebben een negatieve hellingshoek (dalende tendens), met uitzondering van GFT.

5.2 Berekende N-uitspoeling



Figuur 3: Berekende N-uitspoeling (mg N L⁻¹ jr⁻¹) naar het grondwater tussen de jaren 2008-2019. De gestippelde lijn geeft de EU-norm weer.

In Figuur 3 is de stikstofbelasting naar het grondwater weergegeven op basis van NDICEA-uitkomsten, gecorrigeerd voor de bodemspecifieke verliesfactor op basis van Schröder et al. (2007). Met de aanname van de bodemspecifieke reductiefactor 0,5 blijven de meeste behandelingen beneden de EU-nitraatnorm voor grondwater van 11,3 mg N L⁻¹ (50 mg N-NO₃ L⁻¹). Alleen Potstalmest en GFT + Drijfmest komen boven de norm uit. Potstalmest heeft een gemiddelde stikstofuitspoeling van 14,3 mg N L⁻¹, en GFT + Drijfmest een stikstofuitspoeling van 14,4 mg N L⁻¹. Groencompost heeft de laagste uitspoeling van de verschillende bemestingsstrategieën.

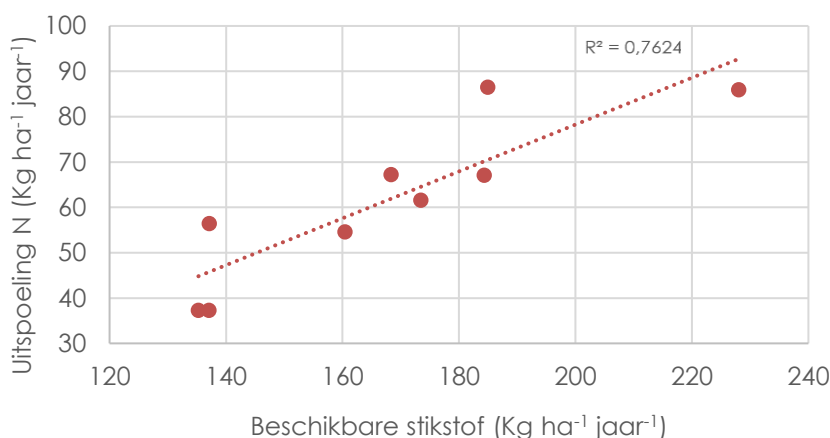
De uitspoeling verschilt echter sterk per jaar. Figuur 4 geeft de uitspoeling per strategie, per jaar weer. Bij de Controle is de uitspoeling bijna alle jaren het laagst, en de strategie gericht op Bodem en Plant levert alle jaren de hoogste uitspoeling op. De andere twee strategieën zitten ertussenin en ontlopen elkaar niet veel. Het patroon van jaar tot jaar is voor alle behandelingen zeer vergelijkbaar.



Figuur 4: Uitspoeling per seizoen, bemesting strategieën samengevat.

Om meer begrip te krijgen van de grote jaarlijkse verschillen in uitspoeling is gekeken naar neerslagoverschot, aantal dagen groeiend gewas, N-mineralisatie, en N in oogst. Er bleek in geen enkele behandeling sprake van een significante relatie tussen stikstofuitspoeling en neerslagoverschot. Er was sprake van een negatieve relatie tussen het aantal dagen groeiend gewas en stikstofuitspoeling in alle behandelingen, maar die was alleen significant voor de Controle ($r^2 = 0,51$; $p = 0,01$).

Er is sprake van een zeer significante relatie ($p < 0,01$; $r^2 = 0,76$) tussen de gemiddelde jaarlijkse stikstofuitspoeling en de gemiddelde jaarlijkse beschikbare minerale stikstof (bestaande uit gemineraliseerde stikstof, een NDICEA-uitkomst, plus directe N-mineraal gift met mest). Dit is geïllustreerd in Figuur 5. Een toename in beschikbare stikstof leidt dus tot hogere uitspoeling.



Figuur 5: Relatie tussen beschikbare stikstof en stikstofuitspoeling over de negen bemestingsstrategieën.

5.3 Mineralenbalansen

In Tabel 5 zijn de stikstofbalansen weergegeven voor de periode 2008 tot en met 2019. De meeste behandelingen hebben een negatieve N-balans, en in sommige gevallen leidt dit

tot een netto afbraak van bodem organische stikstof. Kippenmest, GFT-compost, en Drijfmest laten een kleine toename zien, terwijl GFT + Drijfmest, Potstalmest, en Natuurcompost respectievelijk een substantiëlere toename vertonen. De gemiddelde stikstof onttrekking in het geoogste product loopt uiteen van 45 (Controle) tot 63 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ (GFT + Drijfmest). De grootste verschillen zitten echter in de uitspoeling, variërend van 37 (Controle en Groencompost) tot 86 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ (Potstalmest en GFT + Drijfmest).

Tabel 5: De door NDICEA berekende stikstofstromen. De balans is de resultante van de input (inclusief 25 kg N door depositie) minus de afvoer door oogst, uitspoeling, denitrificatie en vervluchtiging. De kolom 'Bodem organische N' geeft de toe- of afname in de bodem organische stikstof weer.

		Input	Oogst	Uitspoeling	Denitrificatie	Vervluchtiging	Balans	Bodem
		(kg N ha ⁻¹ jaar ⁻¹)						
Plant	NPK	92	52	62	8	6	-36	-13,3
	Drijfmest	130	55	56	10	18	-9	9
Bodem	Groencompost	69	44	37	4	0	-16	-4
	GFT-compost	98	48	55	6	1	-12	5
	Natuurcompost	216	49	67	8	0	92	99
Bodem en Plant	Potstalmest	204	60	86	16	4	38	50
	Kippenmest	120	62	67	7	7	-23	1
	GFT + Drijfmest	205	63	86	16	10	30	48
Controle	Onbemest	25	45	37	6	0	-63	-47

De fosfaat- en de kali-balans staat weergegeven in Tabel 6, waarbij de depositie 3 kg P₂O₅ en 8 kg K₂O ha⁻¹ jaar⁻¹ van de totale input omvat. Voor de Controle en Groencompost is er sprake van een fosfaat- en kalitekort. Voor de andere behandelingen is er sprake van een fosfaat overschot dat oploopt tot 69 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ (Natuurcompost). Voor kali is het beeld wisselender en zijn er vier behandelingen met een tekort (laagste waarde -86, Controle) en vijf met een overschot (hoogste waarde 205, Potstalmest). De gemiddelde fosfaatonttrekking van alle behandelingen ligt beneden 30 kg ha⁻¹ jaar⁻¹, wat onder de huidige wettelijke aanvoernorm uitkomt (deze is 40 kg ha⁻¹ jaar⁻¹).

Tabel 6: De fosfaat en kalibalansen zoals berekend voor de 9 behandelingen in het proefveld.

		Fosfaat			Kali		
		Input	Oogst	Balans	Input	Oogst	Balans
		(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹)			(kg K ₂ O ha ⁻¹ jaar ⁻¹)		
Plant	NPK	58	24	34	108	99	9
	Drijfmest	44	28	16	168	112	56
Bodem	Groencompost	23	24	-1	60	96	-36
	GFT-compost	45	25	20	68	100	-32
	Natuurcompost	95	26	69	254	104	150
Bodem en Plant	Potstalmest	87	29	58	324	120	204
	Kippenmest	88	30	58	83	119	-36
	GFT + Drijfmest	89	29	60	222	119	103
Controle	Onbemest	3	23	-20	8	94	-86

6 Conclusies

Relatieve opbrengst en opbrengststabiliteit

Er is sprake van duidelijke verschillen in opbrengst tussen de behandelingen. Daarbij tonen de drie behandelingen vanuit de strategie 'Bodem en Plant' een hogere opbrengst dan de andere strategieën (*Figuur 2*). De onderlinge verschillen tussen de drie 'Bodem en Plant' bemestingen zijn gering, en ze tonen alle drie een stijgende lijn; relatief ten opzichte van het gehele proefveld neemt de opbrengst in de loop van 20 jaar toe. Dit weerspiegelt de veronderstelde opbouw van bodemvruchtbaarheid in de loop van jaren. De plantgerichte bemestingen wijken wat betreft opbrengst weinig af van het proefveldgemiddelde en dat verandert nauwelijks in de loop van de 20 jaar. De Controle begint op gemiddeld niveau maar zakt langzamerhand weg. Zoals eerder al gezegd: de Controle is pas Controle vanaf 2007, en daaraan voorafgaand wél bemest met een compostsoort. De Controle lijkt zich dus echt als Controle te gedragen: beneden gemiddeld en afnemend in de tijd. De bodemgerichte strategieën scoren wat opbrengst betreft grotendeels beneden gemiddeld. Groencompost en Natuurcompost laten een dalende lijn zien, maar GFT-compost niet. De stijgende tendens van GFT-compost is vergelijkbaar met die van de 'Bodem en Plant' gerichte behandelingen, wat waarschijnlijk ook duidt op een opbouw van bodemvruchtbaarheid.

Stikstofbeschikbaarheid en uitspoeling

De NDICEA modelberekeningen wijzen uit dat de meeste behandelingen voldoen aan de EU-norm voor grondwater. Alleen Potstalmest en GFT + Drijfmest overschrijden in de berekeningen de norm. Hierbij moet wel vermeld worden dat de uitspoeling sterk verschilt per jaar. In 6 van de 12 geanalyseerde jaren halen Potstalmest en GFT + Drijfmest de norm wel, in de andere 6 jaar wordt de norm overschreden.

Het lijkt in eerste instantie verrassend dat er geen significante relatie wordt gevonden tussen stikstofuitspoeling en neerslagoverschot. Dit zou aangeven dat meer precipitatie niet altijd leidt tot hogere uitspoeling, en dat andere factoren een grotere rol spelen. De berekening is echter gebaseerd op basis van jaarcijfers en niet op basis van dag- of weekcijfers. Wanneer een kortere termijn aangehouden wordt, dan zou deze relatie misschien wel gevonden worden. Dat er een (zwakke) relatie gevonden wordt tussen het 'aantal dagen groeiend gewas' en uitspoeling ligt weer wel voor de hand: hoe langer er planten groeien die stikstof opnemen, hoe lager de potentiële uitspoeling.

De beste verklarende factor voor verschillen in uitspoeling tussen de behandelingen zit in de beschikbaar gekomen stikstof op jaarbasis (*Figuur 5*). Dat is de stikstof die als minerale stikstof met mest gegeven wordt (analyse-uitkomst), vermeerderd met de stikstof die door mineralisatie vrijkomt (model-uitkomst). Het verrassende in deze grafiek zit hem niet zozeer in de correlatie tussen N-beschikbaarheid enerzijds en N-uitspoeling anderzijds, maar in het feit dat de uitspoeling bij toenemende N-beschikbaarheid veel sterker stijgt dan de opbrengst. Dat

lijkt erop te duiden dat de opbrengst bij lage niveaus N-beschikbaar al dicht bij de top zit, en extra beschikbare N grotendeels verloren gaat. De hoogte van de opbrengst wordt dan door andere factoren bepaald, want de gerealiseerde opbrengsten behoren niet tot de top van Nederland. Het lijstje met mogelijke belemmeringen voor een meeropbrengst is lang, waaronder ziekten en plagen, onkruid, bodemstructuur, fosfaatbeschikbaarheid, micronutriënten. Binnen het vraagstuk van de stikstof zou de timing ook nog een rol kunnen spelen: de stikstof is er wel op jaarbasis, maar wellicht niet op het juiste moment. Binnen de NDICEA scenario's komt die situatie echter slechts zelden voor. Verder onderzoek zou nodig zijn om dit te verifiëren.

Mineralenbalansen

Voor *stikstof* is sprake van grote verschillen in input (Tabel 5). Groencompost heeft, na de onbemeste controle, de laagste N-input per jaar (69 kg, inclusief 25 kg depositie) en Natuurcompost de hoogste (216 kg, inclusief 25 kg depositie). De hoeveelheid N-onttrekking door geoogst product ligt dicht bij elkaar. De overblijvende stikstof (verschil tussen input en onttrekken) gaat deels verloren (voornamelijk uitspoeling), maar kan ook als bodem organische stikstof aanwezig blijven. Hier treedt een discrepantie naar voren: volgens de metingen in 2016 (verderop besproken) is er sprake van een flinke stijging van de bodem organische stof en dus ook de bodem stikstof, terwijl de NDICEA modelleringen dat niet tonen. Als er in werkelijkheid meer stikstof in de bodem is vastgelegd, kan er in die twaalf jaar dus minder verloren zijn gegaan. Dit zou duiden op een overschatting van de stikstofverliezen door denitrificatie en vooral uitspoeling. Nader bodemonderzoek zou dat kunnen verhelderen.

Ook bij *fosfaat en kali* (Tabel 6) is sprake van flinke verschillen in input, en bescheiden verschillen in onttrekking. Naast de Controle heeft alleen Groencompost een negatieve fosfaatbalans. Het hoogste overschot is 69 kg bij Natuurcompost. De drie 'Bodem en Plant'-gerichte behandelingen hebben, volgens plan, een aanvoer van 80 kg, welke 20 kg hoger ligt dan momenteel toegestaan. De gemiddelde onttrekking is rond de 30 kg per hectare per jaar. Daarnaast overschrijden twee van deze behandelingen (gemiddeld gezien) de EU normen m.b.t. uitspoeling naar het grondwater. Het zal duidelijk zijn dat deze behandelingen naar de huidige inzichten onwenselijk zijn.

Productie en uitspoeling algemeen

In *Figuur 5* wordt aannemelijk gemaakt dat een toegenomen niveau N-beschikbaar (zowel uit mineralisatie als uit minerale stikstof uit mest) ten goede komt aan de productie, maar helaas meer dan evenredig verloren gaat door uitspoeling. Blijkbaar is dit teeltsysteem niet in staat het stikstofaanbod efficiënt om te zetten in productie. Dat komt deels door de korte tijd dat de grond met een groeiend gewas bedekt is, waarbij pas vanaf 2011 met groenbemesters is gewerkt. Met andere woorden: de uitspoeling lijkt minder stuurbaar via mestkeuze of toegediende stikstofhoeveelheid, dan door andere factoren in de bedrijfsvoering. Nader analyse van de dataset en aanvullende metingen in 2020 kunnen hier verder licht op werpen.

Literatuur

- Bokhorst, J.G., C. ter Berg, M. Zanen, C.J. Koopmans. 2008. Mest, compost en bodemvruchtbaarheid: 8 jaar proefveld Mest als Kans. Rapport LD10. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 28 p.
- Burgt, G.J.H.M. van der, G.J.M Oomen, A.S.J. Habets and 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.H.M. van der, C. Rietema en M.C. Bus (2018). Planty Organic 5 jaar: evaluatie van bodemvruchtbaarheid, stikstofhuishouding en productie. Louis Bolk Instituut, publicatienummer 2017-037 LbP , 40 pp.
- Hospers-Brands M., Timmermans B., Staps S., (2018). Gezonde grond voor gezond gewas- Historische bodemdata en stofbalansen van het proefveld Mest als Kans: organische stof, fosfor en kalium. Louis Bolk Instituut.
- 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.
- Koopmans, C. en Bloem, J. 2018. Soil quality effects of compost and manure in arable cropping - Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk Instituut, Publication number 2018-001 LbP, 40 pp.
- LNV. 2017. Zesde Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2018 – 2021). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 163 pp.
- Luppa, C. 2018. Mest Als Kans – Manure as a Chance. Analysis of agro-ecosystems fertilized with soil improvers for 19 years. Internship report Wageningen UR / Louis Bolk Instituut, WUR report SBL-70424, 37 pp.
- Opheusden, A.H.M. van, G.H.M. van der Burgt, P.I. Rietberg. 2012. Decomposition rate of organic fertilizers: effect on yield, nitrogen availability and nitrogen stock in the soil. Rapport 2012-033 LbP. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 40 p.
- Schröder, J. J., Aarts, H. F. M., Van Middelkoop, J. C., Schils, R. L. M., Velthof, G. L., Fraters, B., & Willems, W. J. (2007). Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in The Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. *European Journal of Agronomy*, 27(1), 102-114.
- Wallach D. and Goffinet B. 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. *Ecological Modelling* 44: 209-306.
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. ter Berg, C.J. Koopmans. 2008. Investeren tot in de bodem: Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans. Rapport LD11. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 40 p.
- 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.

