



---

# Analyse van bodemmaatregelen: effecten op bodemfuncties en toepasbaarheid

Integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer

Auteurs | Selin Norén, I. Vervuurt, W. Bakker, N., Koopmans, C., Verstand, D., de Haan, J.

WPR-OT 898



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

# Analyse van bodemmaatregelen: effecten op bodemfuncties en toepasbaarheid

Integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer

Isabella Selin Norén<sup>1</sup>, Wieke Vervuurt<sup>1</sup>, Natalie Bakker<sup>2</sup>, Chris Koopmans<sup>2</sup>, Daan Verstand<sup>1</sup>, Janjo de Haan<sup>1</sup>

1 Wageningen University & Research  
2 Louis Bolk Instituut

Dit onderzoek is uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten, in het kader van de PPS Beter Bodembeheer, integraal en naar de praktijk (projectnummer TKI-LWV20.042/BO-56-001-061).

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

Wageningen, september 2022

---

Rapport WPR-OT 898

---

Selin Norén, I. Vervuurt, W. Bakker, N., Koopmans, C., Verstand, D., de Haan, J. 2022. *Analyse van bodemmaatregelen: effect op bodemfuncties en toepasbaarheid*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 898.

Wageningen Research, Rapport WPR-OT 898

Dit rapport is gratis te downloaden op: <https://doi.org/10.18174/558794>

Trefwoorden: Bodembeheer, maatregelen, bodemfuncties, toepasbaarheid, integrale analyse, gereduceerde grondbewerking, NKG, compost, organische stof, grondontsmetting, groenbemesters, steenmeel, Albrecht-methode, Ca/Mg-methode

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; [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 898

Foto omslag: Eigen foto's. Van linksboven: 1. Anaerobe grondontsmetting in Vredepeel, 2. Tagetes in Valthermond, 3. Groenbemester en braak en Lelystad, 4. Compost strooien in Vredepeel

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>6</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
	<b>Afkortingen</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding en aanleiding</b>	<b>11</b>
	1. Aanleiding en doel	11
	1.1 Onderzoeksvragen	11
	1.2 Leeswijzer	12
<b>2</b>	<b>Materiaal en methodiek</b>	<b>13</b>
	2.1 Ondernomen stappen	13
	2.2 Raamwerk van de analyse	13
	2.2.1 Bodemfuncties	13
	2.2.2 Toepasbaarheid	14
	2.3 Onderzochte bodemaatregelen	14
	2.3.1 Systeemproeven PPS Beter Bodembeheer	14
	2.3.2 Maatregelen	15
	2.4 Statistische analyses	19
<b>3</b>	<b>Resultaat</b>	<b>20</b>
	3.1 Gereduceerde grondbewerking	20
	3.1.1 Productiviteit	20
	3.1.2 Waterregulatie	22
	3.1.3 Waterzuivering	26
	3.1.4 Recycling van nutriënten	29
	3.1.5 Koolstofvastlegging	30
	3.1.6 Habitat voor biodiversiteit	31
	3.1.7 Toepasbaarheid	32
	3.2 Organische stof aanvoer: organische mest en compost	34
	3.2.1 Productiviteit	34
	3.2.2 Waterregulatie	37
	3.2.3 Waterzuivering	37
	3.2.4 Recycling van nutriënten	39
	3.2.5 Koolstofvastlegging	41
	3.2.6 Habitat voor biodiversiteit	42
	3.2.7 Toepasbaarheid	42
	3.3 Organische stofaanvoer: Maaimeststoffen	44
	3.3.1 Productiviteit	44
	3.3.2 Waterregulatie	46
	3.3.3 Waterzuivering	46
	3.3.4 Recycling van nutriënten	46
	3.3.5 Koolstofvastlegging	48
	3.3.6 Habitat voor biodiversiteit	49
	3.3.7 Toepasbaarheid	50
	3.4 Bemesting: Ca/Mg methode en steenmeel	51
	3.4.1 Productiviteit	51
	3.4.2 Waterregulatie	52
	3.4.3 Waterzuivering	53
	3.4.4 Recycling van nutriënten	53
	3.4.5 Koolstofvastlegging	54

---

3.4.6	Habitat voor biodiversiteit	54
3.4.7	Toepasbaarheid	54
3.5	Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen	55
3.5.1	Productiviteit	56
3.5.2	Waterregulatie	62
3.5.3	Waterzuivering	62
3.5.4	Recycling van nutriënten	63
3.5.5	Koolstofvastlegging	63
3.5.6	Habitat voor biodiversiteit	65
3.5.7	Toepasbaarheid	68
3.6	Telen van groenbemesters	70
3.6.1	Productiviteit	70
3.6.2	Waterregulatie	72
3.6.3	Waterzuivering	73
3.6.4	Recycling van nutriënten	74
3.6.5	Koolstofvastlegging	75
3.6.6	Habitat voor biodiversiteit	77
3.6.7	Toepasbaarheid	78
3.7	Gereduceerde grondbewerking en compost	79
3.7.1	Productiviteit	79
3.7.2	Waterregulatie	81
3.7.3	Waterzuivering	82
3.7.4	Recycling van nutriënten	83
3.7.5	Koolstofvastlegging	83
3.7.6	Habitat voor biodiversiteit	84
3.7.7	Toepasbaarheid	85
3.8	Gereduceerde grondbewerking en teelt van groenbemesters	86
3.8.1	Productiviteit	86
3.8.2	Waterregulatie	89
3.8.3	Waterzuivering	89
3.8.4	Recycling van nutriënten	90
3.8.5	Koolstofvastlegging	91
3.8.6	Habitat voor biodiversiteit	92
3.8.7	Toepasbaarheid	93
3.9	Gereduceerde grondbewerking en maaimeststoffen	94
3.9.1	Productiviteit	94
3.9.2	Waterregulatie	95
3.9.3	Waterzuivering	95
3.9.4	Recycling van nutriënten	95
3.9.5	Koolstofvastlegging	97
3.9.6	Habitat voor biodiversiteit	98
3.9.7	Toepasbaarheid	98
<b>4</b>	<b>Conclusies per maatregel</b>	<b>99</b>
4.1	Gereduceerde grondbewerking	99
4.2	Organische stofaanvoer: Organische mest en compost	101
4.3	Organische stofaanvoer: Maaimeststoffen	102
4.4	Bemesting: Ca/Mg methode en steenmeel	102
4.5	Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen	103
4.6	Telen van groenbemesters	104
4.7	Gereduceerde grondbewerking en compost	105
4.8	Gereduceerde grondbewerking en groenbemester	105
4.9	Gereduceerde grondbewerking en maaimeststoffen	105
<b>5</b>	<b>Algemene discussie</b>	<b>107</b>
5.1	Beperkingen van de studie	107

5.2	Kennislacunes vanuit dit rapport	108
5.3	Inventarisatie van kennislacunes bij betrokkenen	110
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>111</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>113</b>
	<b>Bijlage 1 Proefopzet groenbemesters BASIS</b>	<b>118</b>
	<b>Bijlage 2 Inventarisatie van kennisleemtes</b>	<b>121</b>
	Aanleiding	121
	Leeswijzer	121
	Aanpak	121
	Visies, missies en doelen van beleid en boerenvertegenwoordigers	122
	Samenvatting van onderwerpen uit o.a. enquêtes en werksessies	125
	Beschrijving per onderwerp	130
	Literatuurlijst bijlage 2	135

# Woord vooraf

In de PPS Beter Bodembeheer wordt kennis ontwikkeld over duurzaam bodembeheer in de open teelten in publiek en private samenwerking. In dit rapport worden de resultaten uit meer dan 8 jaar bodemonderzoek in vier verschillende systeemprouven integraal geanalyseerd en gecombineerd met andere resultaten uit de PPS en de literatuur en vervolgens samengevat. Dit werk is een vervolg en aanvulling op het rapport van Selin Norén et al. uit 2021. Deze resultaten bieden de wetenschappelijke basis voor de verdere vertaling van de onderzoeksresultaten naar praktische adviezen en tools voor de praktijk. Voor het schrijven van dit rapport waren we sterk afhankelijk van de resultaten van de systeemprouven en de verantwoordelijke collega-onderzoekers die deze proeven uitvoeren. We hebben hen uitvoerig kunnen consulteren, hun data gebruikt en gedurende het gehele project kunnen bevragen over de effecten van de maatregelen in hun proef. We willen Derk van Balen, Wiepie Haagsma, Marie Wesselink, Paulien van Asperen en Johnny Visser daar hartelijk voor bedanken. Zonder hen hadden we deze analyse niet kunnen uitvoeren. Verder willen we Wim van den Berg en Viola Kurm bedanken voor hun statistische analyses, Gerard Korthals, Pella Brinkman en Jaap Bloem voor hun bijdrage aan de interpretatie van deze resultaten en de partners in het werkpakketteam voor hun input op het geheel.

# Samenvatting

Het doel in het Nationaal Programma Landbouwbodems is dat alle bodems duurzaam beheerd worden in 2030. Er zijn veel vragen en discussies over welke bodemmaatregelen bijdragen aan een duurzaam beheer. Daarom is in dit rapport een analyse gemaakt van de brede effecten van bodemmaatregelen voor duurzaam bodembeheer in de akkerbouw. Dit rapport complementeert een eerdere analyse in Selin Noren et al. (2021). We identificeren en beschrijven hier ook de kennislacunes op het gebied van duurzaam bodembeheer. Dit onderzoek draagt hiermee bij aan het in kaart brengen van maatregelen die bijdragen aan de doelstelling in het Nationaal Programma Landbouwbodems.

In dit rapport worden maatregelen uit de systeemprouven van de Publiek Private Samenwerking (PPS) Beter Bodembeheer geanalyseerd met toepassing van een raamwerk, gepresenteerd in Selin Norén et al. (2021). In deze analyse focussen we ons op twee facetten van dit raamwerk, namelijk:

- Effecten van maatregelen op bodemfuncties: productiviteit, waterregulatie- en zuivering, recycling van nutriënten, koolstofvastlegging, habitat voor biodiversiteit (volgens de LANDMARK-systematiek);
- Toepasbaarheidsaspecten van maatregelen: benodigde kennis en kunde, bedrijfsresultaat en arbeid, machine vereisten, algehele toepasbaarheid.

De analyse is uitgevoerd voor vijf maatregelcategorieën: 1) gereduceerde grondbewerking, 2) organische stofaanvoer met organische mest, extra groencompost of maaimeststoffen, 3) bemestingsmaatregelen in de vorm van steenmeel of de Ca/Mg-methode, 4) diverse bodem- en grondontsmettingsmaatregelen gericht op ziektebestrijding en -onderdrukking, 5) teelt van groenbemesters en 6) combinaties van deze maatregelen. De analyse is vooral gericht op gangbare bedrijfssystemen.

De belangrijkste conclusies voor de bodemmaatregelen wat betreft hun potentie als onderdeel van duurzaam bodembeheer in de akkerbouwmatige teelten zijn:

- **Gereduceerde grondbewerking** lijkt bij te kunnen dragen aan meerdere bodemfuncties zoals *Waterregulatie*, *Waterzuivering* en *Habitat voor biodiversiteit* en is praktisch goed toepasbaar bij standaard akkerbouwmatige bouwplannen zonder verminderde opbrengsten. Om deze maatregel te stimuleren is kennisverspreiding, maatwerkadvies en gericht onderzoek naar specifieke knelpunten nodig. De knelpunten zijn toepassing bij fijnzadige gewassen en de onkruidbeheersing en dit speelt in grotere mate in biologische systemen.
- **Organische stofaanvoer met organische mest, extra groencompost of maaimeststoffen**
  - Organische stofaanvoer via mest of extra compost leidt op zandgronden waar de historische aanvoer van organische stof laag is tot verhoogde *Productiviteit* en een verbeterd bedrijfsresultaat.
  - Toepassing van extra groencompost kan op termijn leiden tot verhoogde stikstofverliezen als de bemesting niet voldoende in mindering gebracht wordt. Er is aangetoond dat het aanvoeren van compost leidt tot meer *Koolstofvastlegging* maar de praktische toepasbaarheid wordt beperkt door de beschikbaarheid en kosten van compost.
  - Het toepassen van maaimeststoffen heeft volgens beperkte metingen weinig effect op de bodemfuncties en heeft een negatief effect op het bedrijfseconomische resultaat.
- De **bemestingsmaatregelen steenmeel en de Ca/Mg methode** worden niet aanbevolen voor toepassing in de praktijk in verband met hoge kosten en het uitblijven van positieve effecten op de bodemfuncties. Alleen de Ca/Mg-methode toonde een positief effect op de *Productiviteit*.
- **Diverse bodem- en grondontsmettingsmaatregelen gericht op ziektebestrijding en -onderdrukking**



- Het telen van **tagetes** is een effectieve en economisch rendabele maatregel in akkerbouwmatige bouwplannen met een matige tot hoge besmetting met *P. penetrans*. In hoeverre de maatregel bijdraagt aan andere bodemfuncties is nog niet duidelijk.
- **Anaerobe grondontsmetting** is een effectieve maatregel voor het bestrijden van diverse plant-parasitaire nematoden en schimmels maar kan alleen economisch uit bij hoog-salderende bouwplannen. In hoeverre de maatregel bijdraagt aan andere bodemfuncties is nog niet duidelijk.
- **Chitine** is effectief in het bestrijden van bodempathogenen maar de in de proef gebruikte dosis is hoog en daarmee is deze uitvoering van de maatregel praktisch en economisch niet haalbaar. Of een lagere economisch rendabele dosis nog effectief is, is onbekend.
- De maatregelen **groencompost, haarmeel, cultivit, en biofumigatie** bieden geen perspectief voor bestrijding of onderdrukking van bodempathogenen in verband met lage effectiviteit. **Natte grondontsmetting met Monam** is effectief maar heeft hoge kosten en is wettelijk niet meer toegestaan.
- Een juiste keuze van een **groenbemester** kan belangrijk zijn voor de onderdrukking van bodempathogenen.
- Het effect van **de teelt van groenbemers** op *Productiviteit* en de *Koolstofvastlegging* lijkt op basis van één proef beperkt. De teelt van groenbemers lijkt wel bij te dragen aan een lagere minerale bodemstikstof gemeten in het najaar en een betere productkwaliteit.
- **Combinaties van maatregelen**
  - De eerste indicatie is dat **gereduceerde grondbewerking en groencompost** geschikt zijn voor gezamenlijke toepassing zonder nadelige effecten door de combinatie.
  - De eerste indicatie is dat combinatie van **gereduceerde grondbewerking met een groenbemester** geen aanvullende effecten geeft op de bodemfuncties. De teelt van een groenbemester in een ploegloos systeem wordt aangeraden i.v.m. de onkruidonderdrukking en is ook praktisch uitvoerbaar, maar vergt de nodige aandacht.
  - De combinatie van **gereduceerde grondbewerking en maaimeststoffen** heeft volgens beperkte metingen geen eenduidig effect op de bodemfuncties, echter heeft maaimeststoffen als maatregel een lage toepasbaarheid.

Een visueel overzicht van de resultaten wordt gegeven in **Tabel 1**:

**Tabel 1.** Overzicht van de effecten van bodemaatregelen op bodemfuncties, en de toepasbaarheid van de maatregelen in de akkerbouwmatige teelten in gangbare systemen, kijkend naar verschillende toepasbaarheidsaspecten. Voor een uitleg van de kleurcodering, zie paragraaf 2.3.2.

	Bodemfuncties	Toepasbaarheid
<b>Gereduceerde grondbewerking</b>		
NKG		
<b>Organische stof aanvoer</b>		
Organische bemesting (STANDAARD)		
Groencompost		
Maaimeststoffen		
<b>Bemesting</b>		
Steenmeel		
Ca/Mg-methode		
<b>Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen</b>		
Chitine (20 ton)		
Anaerobe grondontsmetting		
Monam		
Cultivit		
Biofumigatie		
Grasklaver		
Tagetes (hoofdteelt)		
Combinatie - tagetes, chitine en compost		
Haar-meel		
Groenbemestermengsel		
Combinatie - ASD, compost en haar-meel		
<b>Groenbemesters</b>		
Groenbemester telen		
<b>Combinaties van maatregelen</b>		
NKG en groencompost		
NKG en groenbemester		
NKG en maaimeststof		

Behalve het in kaart brengen van het handelingsperspectief voor duurzaam bodembeheer met deze maatregelen beschrijft dit rapport waar we staan met onze kennis over deze maatregelen en duurzaam bodembeheer in de meer algemene zin. Het is duidelijk dat effecten op de functies *Waterregulatie* en *Habitat voor biodiversiteit* nog onvoldoende zijn onderzocht. Deze aspecten van bodemkwaliteit zijn belangrijk om in de toekomst te onderzoeken, om te zorgen dat bodembeheer op alle bodemfuncties duurzaam uitgevoerd wordt. Duurzaam bodembeheer blijkt uit het onderzoek met veel van de onderzochte maatregelen praktisch mogelijk te zijn, maar het kost de agrarisch ondernemer meer moeite, kennis en kunde en soms ook geld en arbeid om het uit te voeren. Dit betekent dat ondersteuning uit beleid en maatschappij nodig is om de toepassing van maatregelen te realiseren.

# Afkortingen

- ASD – *Anaerobic soil disinfestation*, anaerobe grondontsmetting
- BASIS – Systeemproof op kleigrond, *Broekemahoeve Applied Soil Innovation Systems*
- BKV – Systeemproof op dalgrond, genaamd BodemKwaliteit Veenkoloniën
- BGZ – Systeemproof op zandgrond, gericht op bodemgezondheid, genaamd BodemGezondheidsProef
- BKZ – Systeemproof op zandgrond, genaamd BodemKwaliteit op Zand
- Combi-AHC - behandeling met anaerobe grondontsmetting, haarmeel en compost
- Combi-TCC – behandeling met tagetes, compost en chitine
- DKG – duizendkorrelgewicht
- EOS – Effectieve Organische Stof
- HWC – *Hot Water Carbon*, koolstof oplosbaar in heet water
- LAAG – onderzoeksobject in BKZ met een lage organische stofaanvoer
- MMS – maaimeststof
- NKG – niet-kerende grondbewerking
- OS – organische stof
- PMN – Potentieel mineraliseerbare stikstof (N)
- PPS – Publiek-private samenwerking
- STANDAARD - onderzoeksobject in BKZ met een standaard organische stofaanvoer

# 1 Inleiding en aanleiding

## 1. Aanleiding en doel

*'Mijn streefbeeld is dat in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam worden beheerd, zodat de bodem optimaal kan functioneren en de kwaliteit zo hoog mogelijk is en blijft voor volgende generaties'* (LNV, 2018, p. 2), aldus de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Om dit streefbeeld te realiseren, is het belangrijk dat er helder is wat bijdraagt aan duurzaam bodembeheer en wat niet. Daarvoor zijn de resultaten uit de PPS-en over bodembeheer inzetbaar. In de PPS Beter Bodembeheer (2017-2020) en haar voorganger, de PPS Duurzame Bodem (2013-2016) is langdurig onderzoek gedaan naar de effecten van diverse maatregelen op de bodemkwaliteit en ecosysteemdiensten op verschillende grondsoorten in Nederland. In 2020 is vanuit de PPS Beter Bodembeheer begonnen aan een analyse van de resultaten van de proeven om een integraal overzicht te geven van wat de stand van kennis is van effecten van bodemmaatregelen op de bodemkwaliteit en bodemfuncties. Ook wordt aangegeven waar nog witte vlekken voor onderzoek aanwezig zijn (Selin Noren et al., 2021). In 2021 is vanuit het vervolgprogramma PPS Beter Bodembeheer: Integraal naar praktijk (2021-2022) de integrale analyse afgerond, met dit rapport als resultaat. In 2022 worden de resultaten uit deze analyse door partners vertaald naar praktische boodschappen en adviezen met de steun van een aantal communicatieproducten. De integrale synthese kan benut worden als kennisbron om het doel uit het Nationaal Programma Landbouwbodems, dat alle landbouwbodems in 2030 duurzaam beheerd worden, te realiseren.

## 1.1 Onderzoeksvragen

In dit rapport worden meerdere onderzoeksvragen beantwoord. Er wordt onderzocht wat de effecten van verschillende bodemmaatregelen zijn op de bodemkwaliteit en de functies van de bodem en wat de praktische toepasbaarheid is van de maatregel. Per maatregel of maatregelcategorie (dikgedrukt) ligt de nadruk van de analyse bij specifieke onderwerpen:

- **Gereduceerde grondbewerking**
  - Wat is het effect van gereduceerde grondbewerking op opbrengsten, waterregulatie en koolstofvastlegging?
- **Organische stofaanvoer**
  - Wat is het effect van organische stofaanvoer via mest en groencompost op de opbrengsten, bodemvruchtbaarheid en koolstofvastlegging?
  - Wat is het effect van de toepassing van maaimeststoffen op opbrengsten, bodemvruchtbaarheid en bodemorganische stof?
- **Bemesting**
  - Wat is de invloed van de Ca/Mg-methode (Albrecht-methode) en de toepassing van steenmeel op opbrengsten en nutriëntenhuishouding?
- **Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen**
  - Wat zijn de effecten op gewasopbrengst, bestrijding van bodempathogenen en biodiversiteit van bodem- en grondontsmettingsmaatregelen? Wanneer zijn deze maatregelen toepasbaar?
- **Groenbemesters**
  - Wat is de invloed van groenbemesters op productiviteit, productkwaliteit, koolstofvastlegging, ondergrondse biodiversiteit en nutriëntenhuishouding bij verschillende varianten van toepassing (teeltsysteem)?
- **Combinaties van maatregelen**

- Hoe verhouden de effecten bij een combinatie van twee maatregelen zich tot de individuele toepassing van één van de maatregelen? (gereduceerde grondbewerking met groencompost, gereduceerde grondbewerking met groenbemester)

Naast deze onderzoeksvragen wordt aan de hand van de analyse van deze maatregelen beantwoord wat de meest belangrijke kennislacunes voor duurzaam bodembeheer zijn.

## 1.2 Leeswijzer

Na deze inleiding worden in hoofdstuk 2 de gebruikte methodieken en het raamwerk voor analyse toegelicht. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de resultaten voor de maatregelen *gereduceerde grondbewerking*, *organische stofaanvoer*, *grondontsmetting*, *groenbemesters*, *bemesting* en *combinaties van maatregelen* elk in een paragraaf gepresenteerd en bediscussieerd. Toepassing van maaimeststoffen (onderdeel organische stofaanvoer) en combinaties van de maatregelen worden in aparte paragrafen besproken. In hoofdstuk 4 worden de resultaten uit hoofdstuk 3 per maatregel samengevat en wordt een overzicht van de resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 5 wordt de analyse bediscussieerd de kennislacunes vanuit de studie op een rij gezet. In hoofdstuk 5 worden ook de resultaten uit een inventarisatiestudie naar kennisleemtes voor duurzaam bodembeheer beknopt gepresenteerd. De hele inventarisatiestudie wordt beschreven en gerapporteerd in bijlage 2. Hoofdstuk 6 geeft de algemene discussiepunten en conclusies van deze studie.

## 2 Materiaal en methodiek

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van het onderzoek toegelicht. Dat wordt gedaan aan de hand van de ondernomen stappen. Daarin wordt een deel van het opgestelde raamwerk toegelicht en uitgelegd hoe en met welke data dat raamwerk is ingevuld in de analyse.

### 2.1 Ondernomen stappen

Dit rapport brengt de tot nu toe bekende effecten van maatregelen, en hun toepasbaarheid gezien vanuit de vier systeemprouven en andere bronnen, bij elkaar. Hiervoor is kennis uit de systeemprouven, andere werkpakketten, andere relevante prouven en wetenschappelijke literatuur gebruikt. In eerste instantie werden de resultaten uit beschikbare analyses gebruikt en wanneer nodig werden nieuwe analyses uitgevoerd. Vervolgens werden uit de resultaten de belangrijkste conclusies voor duurzaam bodembeheer getrokken. Kennislacunes zijn voortdurend geïdentificeerd en verzameld aan de hand van deze analyse, ook is een inventarisatie uitgevoerd bij partners en onderzoekers en is een beperkt literatuuronderzoek uitgevoerd. De maatregelen die in Selin Noren et al., (2021) gerapporteerd zijn worden in dit rapport verder uitgewerkt met een kwantificering en verdere onderbouwing van de effecten. De uitwerking voor maatregelcategorieën *gereduceerde grondbewerking* en *organische stof aanvoer* zijn in dit rapport grotendeels hetzelfde als in het voorgaande rapport.

### 2.2 Raamwerk van de analyse

Uit de verschillende systeemprouven zijn maatregelen geanalyseerd, de analyse is gedaan op basis van bodemfuncties en praktische toepasbaarheid. Binnen het eerste deel wordt gekeken of de maatregel waarde heeft voor de bodemfuncties en in het laatste deel wordt onderzocht of de maatregel praktisch toepasbaar is.

#### 2.2.1 Bodemfuncties

Bodemfuncties zijn te beschrijven als vijf functies oftewel ecosysteemdiensten die bodems bieden (**Tabel 2-1**). We volgen hierbij de indeling van het LANDMARK project (LANDMARK, 2015). Een mogelijke definitie van duurzaam bodembeheer is wanneer het vermogen van de bodem om deze functies te vervullen in stand blijft of verbeterd wordt. Bodemfuncties zijn eigenlijk de prestaties van de bodem die nuttig zijn voor boer en maatschappij (Schulte et al., 2014). In het raamwerk van dit rapport wordt de bodemfunctie waterregulatie en -zuivering gesplitst in "Waterregulatie" én "Waterzuivering" voor afzonderlijke evaluatie. Om een indruk te krijgen van de prestatie van de maatregelen op de bodemfuncties, zijn de bodemfuncties voor deze analyse vertaald naar een aantal onderliggende meetbare indicatoren (**Tabel 2-1**). Dit is gedaan op basis van expert kennis en beschikbaarheid van data. De indicatoren zijn deels gehaald uit de lijst van BLN-indicatoren (Hanegraaf et al., 2019).

**Tabel 2-1.** De bodemfuncties en hun indicatoren. Indicatoren die ook in de BLN v. 1.0 opgenomen zijn worden met een ster (\*) aangegeven.

Bodemfunctie	Indicator
<b>1. Productiviteit</b>	Marktbaar opbrengst (productiehoeveelheid) Productkwaliteit (gewasafhankelijk)
<b>2a. Waterregulatie</b>	Bodemfysische indicatoren zoals droge bulkdichtheid (*), aggregaatstabiliteit(*), watervasthoudend vermogen(*) en indringingsweerstand(*) Structuurbeoordeling(*)
<b>2b.. Waterzuivering</b>	Minerale stikstof in het najaar (N-min najaar) (*) NO <sub>3</sub> in bovenste grondwater
<b>3. Recycling van nutriënten</b>	N-, P-, K-overschotten Nutriëntenefficiëntie (afvoer vs. aanvoer) Aandeel N, P, K uit organische meststoffen Bodemstikstofvoorraad Gewasopname van nutriënten
<b>4. Koolstofvastlegging</b>	Organische stof/koolstof(*) in de bodem Hot Water Carbon (HWC) (*)
<b>5. Habitat voor biodiversiteit</b>	Voor zover beschikbaar; Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) (*), bacterie- en schimmel biomassa(*), aantallen en diversiteit van aaltjes (*), vogels, insecten en overig bodemleven

## 2.2.2 Toepasbaarheid

De praktische **toepasbaarheid** van maatregelen wordt beoordeeld, aan de hand van de volgende onderwerpen:

- Behoeftte aan kennis en kunde bij de boer bij uitvoering van de maatregel. Kennis over wanneer een maatregel het beste toegepast kan worden laten we in deze beoordeling buiten beschouwing;
- Bedrijfsresultaat en arbeid (meenemend kosten, baten en effecten op gewasopbrengsten);
- Behoeftte aan inzet van, en investeringen in machines en werktuigen;
- Algehele toepasbaarheid, waarin de andere drie toepasbaarheidsaspecten meegenomen zijn.

Hierbij wordt rekening gehouden met de mogelijkheden voor het combineren van maatregelen.

## 2.3 Onderzochte bodemmaatregelen

Het beschreven raamwerk wordt toegepast op de vier systeemprouven uit de PPS Beterbodembeheer. Daarin wordt met verschillende bodemmaatregelen geëxperimenteerd. Eerst worden de systeemprouven toegelicht en daarna wordt ingegaan op gebruikte maatregelen.

### 2.3.1 Systeemprouven PPS Beter Bodembeheer

Om de doelstelling van duurzaam beheerde bodems in 2030 te behalen, is het belangrijk om te weten welke teelt- en bodemmaatregelen welk effect hebben op de verschillende aspecten van de bodem. Om te komen tot een algemeen beeld wat goed is voor de bodemkwaliteit, zullen de losse effecten van maatregelen op bepaalde aspecten van bodembeheer geaggregeerd moeten worden. Maar eerst is het zaak om de losse effecten goed op een rij te hebben staan. De resultaten uit de vier systeemprouven van de PPS Beter Bodembeheer zijn daarvoor als leidraad gekozen, maar dat is ook aangevuld met relevante literatuur en resultaten uit andere programma's, zoals Slim Landgebruik. De vier systeemprouven die zijn benut zijn:

- **BASIS (Broekemahoeve Applied Soil Innovation Systems)**, kleigrond (zavel), in Lelystad. In BASIS ligt de nadruk sinds de start in 2009 op grondbewerkingsvarianten binnen een biologische en een gangbare rotatie. Daarnaast wordt er geëxperimenteerd met organische

stofaanvoer en rijpadensystemen (Crittenden et al., 2015; Hoek et al., 2019; PPS Beter Bodembeheer, 2017).

- **Bodemkwaliteit Veenkoloniën (BKV)**, dalgrond, in Valthermond. In BKV wordt sinds 2013 gemikt op het verbeteren van de opbrengsten en ecosysteemdiensten van de bodem. Maatregelen die worden vergeleken met de referentie zijn: niet kerende grondbewerking, tagetes (*Tagetes patula*) in de vruchtwisseling, compost aanvoer, toepassing van de Ca/Mg-methode (Albrecht-methode) om de Ca/Mg verhouding te verbeteren, steenmeeltoepassing en een combinatie van deze maatregelen (de Haan et al., 2020; PPS Beter Bodembeheer, 2017).
- **Bodemkwaliteit op Zand (BKZ)**, zandgrond, in Vredepeel. In BKZ is het de bedoeling om inzicht te krijgen op de effecten van organische stofbeheer en grondbewerking op opbrengsten, nitraatuitspoeling en bodemkwaliteit. Sinds 2001 liggen er drie bedrijfssystemen: STANDAARD met gangbare aanvoer van organische stof in de vorm van varkens- of rundveedrijfmest aangevuld met kunstmest, LAAG waar geen organische stof wordt aangevoerd via mest maar enkel met kunstmest, mineralen concentraat en spuiwater bemest wordt, BIOLOGISCH met een biologische bedrijfsvoering en een hoge organische stofaanvoer via vaste rundveemest en rundveedrijfmest. In 2011 is elk van de percelen binnen de behandelingen gesplitst in een deel dat geploegd wordt en een deel met een niet-kerend hoofdgrondbewerking. Daarnaast zijn op twee percelen per bedrijfssysteem 4 plots met extra compostaanvoer aangelegd (de Haan et al., 2018b, 2018a; PPS Beter Bodembeheer, 2017). BKZ heeft als enige proef geen herhalingen binnen de percelen behalve voor compostaanvoer, het is dus in deze proef lastiger om statistisch significante effecten aan te tonen.
- **Bodemgezondheidsproef (BGZ)**, zandgrond, in Vredepeel. In deze proef zijn tien verschillende bodemmaatregelen uitgevoerd, die gericht zijn op het (duurzaam) onderdrukken van pathogenen, het verhogen van bodemweerbaarheid en stimuleren van bodemleven. De bodemmaatregelen zijn in te delen in verschillende types: telen van groenbemesters, toedienen van organische restmaterialen en verschillende manieren van ontsmetten. Er liggen varianten met de toepassing van organische bemesting of kunstmest en mét of zonder chemische gewasbescherming (gangbaar/biologisch) (Martínez-García et al., 2018; PPS Beter Bodembeheer, 2017). Er wordt gewerkt met zogenoemde 'Best practice' en 'Good practice'. De 'Good practice' wordt gezien als referentie situatie en de 'Best practice' probeert dit te optimaliseren. In dit rapport wordt alleen data van gangbaar en 'Good practice' gebruikt.

Voor verdiepende informatie over deze proeven en de methodieken die zijn toegepast voor de metingen, refereren wij naar eerdere publicaties van deze proeven (voor bronnen, zie bovenstaande alinea's).

### 2.3.2 Maatregelen

De bodemfuncties worden voor een aantal maatregelcategorieën in kaart gebracht. Deze categorieën volgen de opzetten van de vier systeemprouven. De maatregelcategorieën zijn:

- Grondbewerking
- Organische stofaanvoer
  - Organische stof aanvoer via mest
  - Extra groencompost
  - Maaimeststoffen
- Bemesting
- Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen
- Teelt van groenbemesters
- Combinaties van bovenstaande, voor zover beschikbaar

Elk van deze categorieën bestaan uit een aantal individuele maatregelen die in een bepaalde systeemprouf vergeleken worden met een referentiesituatie. De referentie is de meest voorkomende praktijksituatie in de regio van de systeemprouf. Zo valt onder grondbewerking bijvoorbeeld de maatregel *niet-kerende grondbewerking* ten opzichte van de referentie *kerende grondbewerking* (ploegen of spitten), of onder organische stofaanvoer *compostgiften* ten opzichte van een referentie *bemesting zonder aanvullende compost*.



Voor elk van deze individuele maatregelen kan aangegeven worden, voor zover bekend, hoe ze ten opzichte van de referentiesituatie scoren op bodemfuncties en in hoeverre ze toepasbaar zijn. De input hiervoor zijn de metingen aan de maatregelen en de referenties in de systeemprouven. Per grondsoort wordt een uitwerking van de score gemaakt, waarbij klei gebaseerd is op BASIS, zand op BKZ en BGZ en dalgrond op BKV. **Tabel 2-3** toont de individuele maatregelen die zijn geanalyseerd. Voor de groenbemestermaatregelen van BGZ is gekozen om deze samen te presenteren met de grondontsmettingsmaatregelen uit dezelfde proef, en niet in hoofdstuk groenbemesters. Er wordt wel een vergelijking gemaakt in hoofdstuk groenbemesters met de resultaten uit BGZ. Voor de combinatie van maatregelen wordt in de tekst besproken of het resultaat toe te schrijven is aan één of meerdere van de onderliggende maatregelen en een vergelijking wordt gemaakt met de enkelvoudige maatregelen. In de samenvattende tabellen (pagina 17) wordt voor de combinatie van maatregelen uitgegaan van een vergelijking met de referentie.

In dit rapport wordt per maatregelcategorie eerst de resultaten uit de systeemprouven gepresenteerd. Vervolgens worden deze resultaten bediscussieerd in relatie tot beschikbare hypothesen en bevindingen in de wetenschappelijke literatuur. Op elke maatregel wordt het raamwerk voor analyse toegepast (beschreven in paragraaf 2.2). Per bodemfunctie wordt in een samenvattende tabel een conclusie uit het stuk gegeven per maatregel met een aantal samenvattende woorden en een kleurcode. Zie Error! Reference source not found. voor een uitleg van de samenvattende tabellen. Bij de (1a) bodemfuncties geven de kleuren de richting aan van het effect op de bodemfunctie. Bij de informatie over de (1b) onderbouwing staat een gevulde stip voor een sterk onderbouwd effect (in geval van groen of rood) of afwezigheid van effect (in geval van geel). Een lege stip staat voor een zwak onderbouwd effect (in geval van groen of rood) of afwezigheid van effect (in geval van geel). In de onderbouwing wordt meegenomen in hoeverre resultaten statistisch significant zijn en in hoeverre resultaten voor alle indicatoren of deelonderwerpen beschikbaar zijn. Omdat het per bodemfunctie verschilt hoeveel verschillende indicatoren worden gebruikt, of omdat verschillende series van metingen apart zijn geanalyseerd, is er dus geen directe statistische of kwantitatieve vertaling van de kleur of de stip. Deze zijn gebaseerd op *expert judgement* tenzij anders vermeld. Een "L" staat voor alleen onderbouwing uit de literatuur en een "E" voor alleen onderbouwing op basis van *expert judgement* of extrapolatie van andere metingen en proeven. Bij (2.) de toepasbaarheidsaspecten staat een rode kleur voor dat de maatregel slecht toepasbaar is, kijkend naar het betreffend aspect, een gele kleur voor een matige toepasbaarheid en een groene kleur voor een goede toepasbaarheid. Het betreft de toepasbaarheid in de akkerbouw, rekening houdend met de aanwezige kennis en kunde, mechanisatie en investeringsruimte op een gemiddeld akkerbouwbedrijf met akkerbouwgewassen, veevoergewassen en/of akkerbouwmatige groenten.

**Tabel 2-2.** Beoordelingskader in de samenvattende tabellen van de effecten van maatregelen op een bodemfunctie.

1a. Bodemfuncties - kleur					
negatief	neutraal - negatief	neutraal	neutraal - positief	positief	onbekend
1b. Bodemfuncties - onderbouwing					
● = Sterk onderbouwd	○ = Zwak onderbouwd	L = op basis van literatuur	E = op basis van <i>expert judgement</i> of extrapolatie		
2. Toepasbaarheidsaspecten					
Niet toepasbaar	Slecht toepasbaar	Matig toepasbaar	Goed toepasbaar	Heel goed toepasbaar	

**Tabel 2-3.** Overzicht van de maatregelen die geanalyseerd worden in het resultaat-hoofdstuk. De laatste kolom geeft de codering weer die gebruikt wordt bij de tabellen met samenvattingen van de resultaten.

Maatregel	Productie-wijze	Maatregel	Proef	Indeling in 'Samenvatting resultaten' -tabellen
<b>Gereduceerde grondbewerking</b>				
NKG vs. ploegen	gangbaar	NKG met vaste tand en diepwoeler vs. ploegen 25 cm	BKZ	Zand
	biologisch	NKG met vaste tand en diepwoeler vs. ploegen 25 cm	BKZ	
NKG met woelen vs. ploegen (tussenvorm)	gangbaar	NKG met jaarlijks woelen tot 25 cm vs. ploegen 25 cm	BASIS	Klei - gangbaar
	biologisch	NKG met jaarlijks woelen tot 25 cm vs. ploegen 25 cm	BASIS	Klei - biologisch
NKG zonder woelen vs. ploegen (minimaal)	gangbaar	NKG zonder jaarlijks woelen tot 25 cm vs. ploegen 25 cm	BASIS	Klei - gangbaar
	biologisch	NKG zonder jaarlijks woelen tot 25 cm vs. ploegen 25 cm	BASIS	Klei - biologisch
NKG vs. spitten	gangbaar	NKG met vaste tand en diepwoeler vs. spitten 25 cm	BKV	Dalgrond
<b>Organische stof</b>				
Organische bemesting	gangbaar	STANDAARD (referentie): kunstmest en varkens- of rundveedrijfmest vs. LAAG (negatieve maatregel): kunstmest, spuiwater en mineralenconcentraat	BKZ	Zand - STANDAARD
Extra groencompost	gangbaar	Groencompost gemiddeld 15 ton ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> , in systeem LAAG (geen o.s. met mest)	BKZ	Zand - Compost
		Groencompost gemiddeld 15 ton ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> , in systeem STANDAARD (normale organische stofaanvoer met mest)		
	biologisch	Groencompost gemiddeld 15 ton ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>		
	gangbaar	Groencompost 50 ton/ha, elk 3 jaar, GP	BGZ	Zand - Compost elk 3 jr.
	gangbaar	Groencompost 20-40 ton ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	BASIS	Klei - Compost
gangbaar	Groencompost 15 ton ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	BKV	Dalgrond - Compost	
Maaimeststoffen	biologisch	Maaisel van ingekuilde grasklaver inwerken, van 2900 tot 3900 kg EOS/ha, bijna jaarlijks	BASIS	Klei - Enkele/dubbele gift maaimeststof
<b>Bemesting</b>				
Ca/Mg-methode	gangbaar	Ca/Mg-methode oftewel de Albrecht-methode vs. alleen standaard bemesting	BKV	Ca/Mg methode
Steenmeel	gangbaar	Steenmeel vs. alleen standaard bemesting	BKV	Steenmeel

<b>Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen</b>				
Anaerobe grondontsmetting (ASD)	gangbaar	Groene biomassa inwerken en afdekken met plastic	BGZ	ASD
Chitine	gangbaar	20 ton/ha garnalenafval inwerken	BGZ	Chitine
Natte grondontsmetting (Monam)	gangbaar	Middel Monam toedienen	BGZ	Monam
Cultivit	gangbaar	Machine die de grond verhit	BGZ	Cultivit
Biofumigatie	gangbaar	<i>Brassica juncea</i> gewas telen en inwerken	BGZ	Biofumigatie
Grasklaver	gangbaar	Grasklaver telen en inwerken mei vs. braak	BGZ	Grasklaver
Tagetes	gangbaar	Tagetes telen en inwerken, zaai juli, in systeem <i>Good practice</i> vs. braak	BGZ	Zand – tagetes
Groenbemestermengsel	gangbaar	Mengsel van 10-15 gewassen telen en inwerken, vanaf juli vs. braak	BGZ	Groenbemestermengsel
Haar-meel	gangbaar	7 ton/ha haar-meel	BGZ	Haar-meel
Tagetes	gangbaar	Tagetes telen en inwerken, zaai juli, i.p.v. zomergerst	BKV	Dalgrond - tagetes
<b>Groenbemesters</b>				
Groenbemester	gangbaar/ biologisch	Groenbemester telen na hoofdgewas	BASIS	Klei
<b>Combinaties van maatregelen</b>				
Grondbewerking en OS aanvoer	gangbaar	NKG en compost vs. ploegen zonder compost	BKZ	Zand
Combi grondontsmetting – TCC	gangbaar	Tagetes, chitine en compost vs. braak en standaard bemesting	BGZ	Combi-TCC
Combi grondontsmetting – AHC	gangbaar	Anaerobe grondontsmetting, compost en haar-meel vs. braak en standaard bemesting	BGZ	Combi-AHC
Grondbewerking en OS aanvoer	gangbaar	NKG en compost vs. ploegen zonder compost	BASIS	Klei
Grondbewerking en OS aanvoer	gangbaar	NKG en compost vs. ploegen en standaard bemesting	BKV	Dalgrond
Grondbewerking en groenbemester	gangbaar/biologisch	NKG en groenbemester vs. ploegen zonder groenbemester	BASIS	Klei

## 2.4 Statistische analyses

Als de analysemethode al gerapporteerd wordt in een ander rapport wordt verwezen naar die publicatie in de tekst. Voor een deel van de indicatoren zijn nieuwe statistische analyses uitgevoerd ten behoeve van dit rapport. Voor alle analyses zijn de model-aannames gecontroleerd en geldt dat wanneer de F-probability kleiner is dan 0,05 de gevonden verschillen tussen de objecten significant zijn.

Voor de **BGZ-proef** zijn voor dit rapport statistische analyses uitgevoerd die niet eerder gerapporteerd zijn op deze wijze. Deze statistische analyses zijn uitgevoerd in GenStat 19th edition. Bij de analyse zijn de gegevens van de aaltjesbemonsteringen, na  $10\log(x+1)$  transformatie, met variantieanalyse (ANOVA) geanalyseerd. Met de student T-test (Genstat procedure ATTEST) zijn de objectgemiddelden met elkaar vergeleken. De objectgemiddelden zijn weer terug-getransformeerd. Deze terug-getransformeerde gemiddelden worden medianen genoemd. De overige data zijn geanalyseerd met ANOVA, zonder transformaties. Met de student T-test (Genstat procedure ATTEST) zijn de objectgemiddelden met elkaar vergeleken.

Voor de **combinatie van NKG en compost in de proef BKZ** waren de data slechts in één herhaling beschikbaar. Daarom worden alleen de gemiddelden gerapporteerd en is er dus geen statistische analyse uitgevoerd (uitzondering voor N-min najaar en stikstofuitspoeling). De proef op klei (BASIS) is een split-plot blokkenproef in vier herhalingen (0). Binnen elk blok waren de drie grondbewerkingen gerandomiseerd over de drie aanwezige plots. De plots waren gesplitst in vier subplots waarover de organische stofbehandelingen met compost, maaimeststoffen en groenbemesters waren gerandomiseerd. Op deze data is een variantieanalyse uitgevoerd. Voor de combinatie van NKG en compost is voor de proef op dalgrond (BKV) een variantieanalyse uitgevoerd. Er waren per perceel twee blokken waarbinnen grondbewerking en behandeling gekruist waren aangelegd, met vier herhalingen per behandeling. Bij analyse over de jaren heen is jaar opgenomen als een splitfactor binnen de plots waarover de behandelingen waren gerandomiseerd. Deze statistische analyse is uitgevoerd in GenStat 19th edition.

De analyse van **N-min najaar, nitraatuitspoeling en OS in de proef BKZ** is gedaan volgens de methode beschreven in de Haan et al. (2018b) en uitgevoerd in R (R Core Team, 2014), gebruikmakend van lme4 (Bates et al., 2015). De geanalyseerde data zijn gebaseerd op zes percelen (blokken) met binnen ieder perceel twee plots: één plot met bemestingsregime LAAG en één met bemestingsregime STANDAARD. Vervolgens is elke plot onderverdeeld in twee subplots met op elk een andere grondbewerking. Binnen elk van deze subplots zijn herhaalde metingen gedaan. De analyse wordt gedaan volgens een split-plot blokkenproef, waarbij gewas en plot niet orthogonaal zijn. Compostobjecten zijn aangelegd in vier percelen (twee in gangbaar, twee in biologisch) over beide plots en subplots. Daarom is een gemengd model gebruikt dat is geanalyseerd met REML. Grondbewerking en compost zijn in het plot en binnen het blok stratum getoetst. Het jaar- en gewaseffect en de interactie tussen grondbewerking of compost aanvoer en jaar, en de interactie tussen gewas en jaar worden in het jaar binnen het plot binnen het blok stratum getoetst. De interactie tussen grondbewerking en jaar was voor uitspoeling niet opgenomen in het model. Een logtransformatie werd toegepast op de N-min en een worteltransformatie voor de nitraatuitspoeling. Zie het rapport van de Haan et al., 2018b voor de proefopzet.

# 3 Resultaat

## 3.1 Gereduceerde grondbewerking

Deze maatregelcategorie bestaat met name uit de vergelijking van NKG ten opzichte van conventioneel ploegen of spitten. In het systeem op klei heeft NKG twee varianten, een mét woelen (tussenvorm) en een zonder woelen (minimaal). Er wordt steeds aangegeven of de resultaten beide of één van de systemen betreffen. Voor deze analyse worden op zandgrond in het gangbare deel alleen metingen uit systeem STANDAARD (standaard OS aanvoer) gepresenteerd als niets anders vermeld staat. Resultaten uit het gangbare en biologische systeem worden samen geanalyseerd en gepresenteerd tenzij ze apart beschreven worden in de tekst en samenvatting.

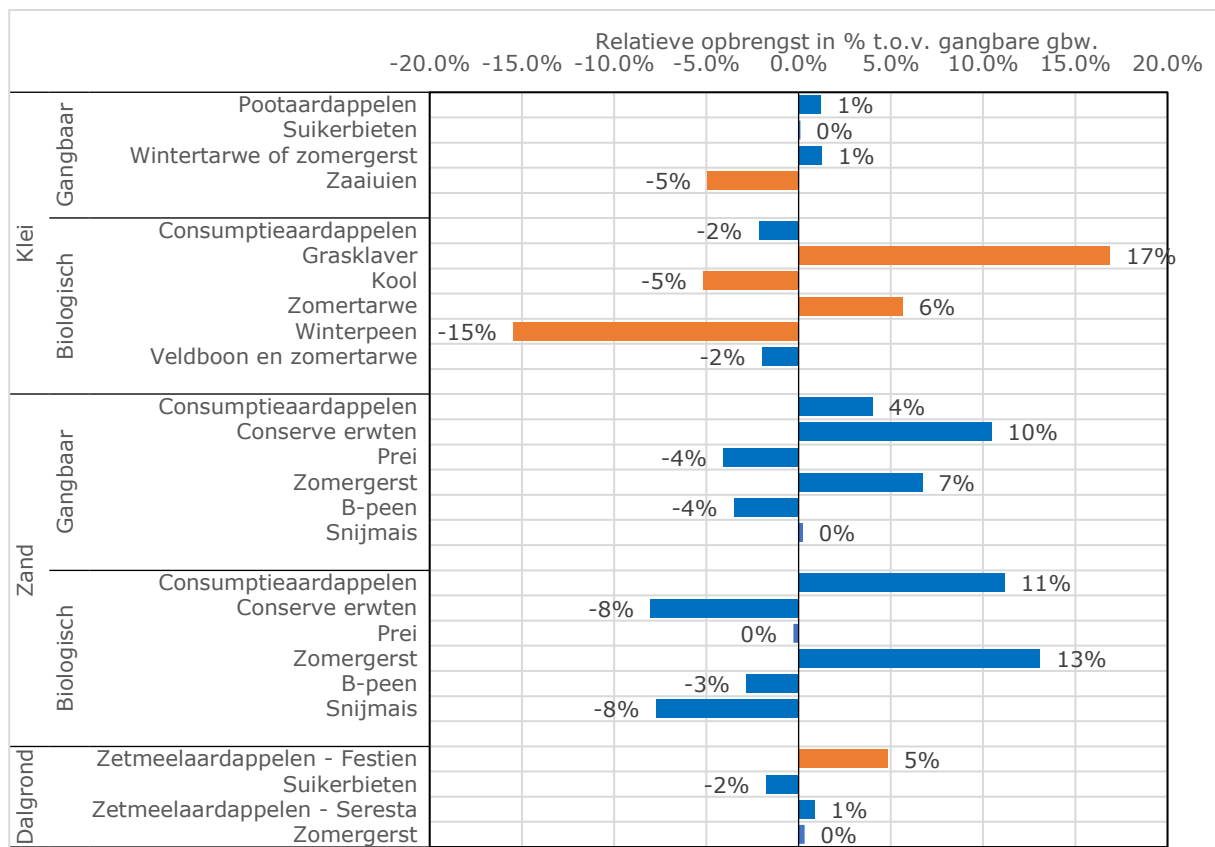
### 3.1.1 Productiviteit

#### Marktbaar opbrengst en kwaliteit

**Resultaat:** In de gangbare rotatie op klei is alleen de uienopbrengst lager met de beide vormen van NKG (-4%) (**Figuur 3-1**). De opbrengsten van de andere gewassen zijn nagenoeg gelijk met ploegen. In de biologische rotatie blijft de opbrengst van de peen achter met NKG (-15%), en de kool met behandeling 'minimaal' (-4%). Een oorzaak van deze lagere opbrengst zou voor zowel de ui als de peen voornamelijk toe te schrijven kunnen zijn aan lagere plantaantallen door slechte opkomst. In de peen echter, worden er geen significant lager plantaantallen gevonden, in uien is dit wel het geval. Daarnaast wordt in het biologische systeem significante opbrengstverhogingen gezien in grasklaver (+16%) en zomertarwe (+6%). Over het algemeen zijn de jaareffecten groot, het ene jaar doet ploegen het beter, het andere jaar doet NKG het beter. De financiële bouwplanopbrengst op klei is bij ploegen en NKG vrijwel gelijk. In het biologische systeem lijkt de bouwplanopbrengst (-8%) bij NKG iets lager dan bij ploegen door de lagere peenopbrengst, maar dit verschil is niet statistisch significant.

Samenvatting resultaten		
Klei - gangbaar	●	Bouwplanopbrengst onveranderd; alleen minder uienopbrengst
Klei - biologisch	●	Bouwplanopbrengst onveranderd; alleen minder peenopbrengst
Zand - gangbaar en biologisch	●	Bouwplanopbrengst onveranderd; meeropbrengst in aardappel en zomergerst
Dalgrond	●	Bouwplanopbrengst onveranderd; iets meer aardappelopbrengst

Op zand worden in het gangbare systeem positieve opbrengsteffecten gezien in aardappelen (+4%) en zomergerst (7%) (**Figuur 3-1**). In het biologische systeem zijn de effecten vergelijkbaar, met opbrengstverhogingen in aardappelen (+11%) en zomergerst (13%). Dat de opbrengst iets achterblijft in de andere gewassen zou onder andere te maken kunnen hebben met lagere plantaantallen bij fijnzadige gewassen, verstuiwing van het zaaibed en voor het biologische systeem ook verhoogde onkruiddruk. De peen is met NKG meestal korter door de grovere bodemstructuur. De financiële bouwplanopbrengst voor NKG ten opzichte van standaard ploegen is zowel voor het gangbare als het biologische systeem licht negatief, maar het verschil met ploegen is niet statistisch significant (Gangbaar: -2%, Biologisch: -1%) (zie ook Bijker et al., 2022).



**Figuur 3-1.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) ten opzichte van ploegen (klei en zand) of spitten (dalgrond). Data uit 2009-2017 op klei, 2012-2017 op zand, 2014-2017 op dalgrond (de Wolf et al., 2019). Op klei worden de resultaten uit grondbewerkingssysteem 'minimaal' gebruikt. Een oranje kleur van de staaf betekent een significant effect ten opzichte van ploegen of spitten, een blauwe kleur betekent geen statistisch significant effect. Dit is niet in het systeem op zand getoetst.

De effecten van NKG op gewasopbrengsten op dalgrond zijn tot nu toe niet groot (**Figuur 3-1**). Het zetmeelaardappelras Festien heeft een significant hogere opbrengst bij NKG (+5%) waardoor de financiële bouwplanopbrengst licht positief is voor NKG, maar niet statistisch significant (+1%) (zie ook Bijker et al., 2022). Bij aardappel was het zetmeelpercentage niet verschillend tussen de twee grondbewerkingssystemen. Zomergerst bleek een hoger eiwitgehalte te hebben met NKG (de Haan et al., 2020).

**Discussie:** Voor alle drie grondsoorten geldt dat er geen significante verschillen zijn in financiële bouwplanopbrengst (opbrengst minus de kosten voor arbeid, machines, diesel) door NKG in het gangbare systeem. In de biologische bouwplannen is de financiële bouwplanopbrengst lager met NKG maar dit ligt aan specifieke gewassen die opgenomen zijn in die bouwplannen, zoals prei en peen. Dat is redelijk in lijn met de meta-analyse van Cooper et al. (2016). In deze studie vinden ze geen significante opbrengstverschillen als NKG wordt vergeleken met ploegen tot 25 cm diep.

De resultaten uit de drie proeven komen ook aardig overeen met de literatuur wat betreft aardappelen, mais en zomergraan maar niet voor suikerbieten. De wetenschappelijke literatuur stelt namelijk dat de effecten van NKG op gewasopbrengsten variëren afhankelijk van het gewas, met een licht positief effect op zomergraan, aardappel en suikerbiet en negatieve effecten op mais en wintergraan. Er wordt ook gevonden dat de opbrengstvermindering meestal groter is op zandgrond dan op kleigrond (Van den Putte et al., 2010). Dit kunnen we niet concluderen uit de drie systeemprouven.

Veel van de gewas-specifieke effecten op opbrengsten blijven moeilijk te verklaren en kunnen door meerdere redenen optreden. Positieve effecten kunnen komen door een verbeterde bodemstructuur en

meer bodemleven. De negatieve effecten kunnen komen door een grovere bovengrond met meer organisch materiaal, waardoor het o.a. moeilijker is om een goed zaaibed te maken. Dit kan resulteren in slechtere opkomst en vervolgens in lagere opbrengsten. Daarnaast kan ook de gewasopbrengst beïnvloed worden doordat bij NKG onkruidzaden niet diep ondergewerkt worden met hogere onkruiddruk en concurrentie als resultaat (Cooper et al., 2016). Uit dezelfde meta-analyse (voornamelijk op leemgronden) blijkt dat er een gemiddelde afname in productie van 7.6% optreedt als NKG wordt geïmplementeerd in biologische systemen, ten opzichte van diep kerend ploegen (dieper dan 25 cm). De proeven bevestigen deze uitdagingen bij onkruidgevoelige en fijnzadige gewassen bij opkomst. In de proef op klei vormen onkruiden echter geen groot probleem en de opbrengstverschillen zijn niet hieraan te wijten.

**Kennislacunes:** Voor een deel zijn opbrengstdervingen in fijnzadige gewassen te verminderen door betere zaaitechnieken en een op NKG-aangepaste vruchtwisseling toe te passen. Hier is weinig ruimte voor geweest in de proeven maar dit is iets wat verder onderzocht zou moeten worden om de volle potentie van NKG in kaart te brengen. In de proeven wordt ook ervaren dat het onderwerken van grasachtige groenbemesters en grasklaver lastig is voor NKG en dat de vruchtwisseling en groenbemesterkeuze daarop aangepast moet worden.

### 3.1.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

**Resultaat:** In de proef op klei is visueel waargenomen dat de waterinfiltratie bij NKG sneller is en dat bij droogte waterstress minder snel optreedt. Het wel of niet optreden van deze effecten verschilt per gewas en tijd van het jaar. Het hogere infiltratievermogen bij hevige buien werd in NKG de eerste jaren al zichtbaar maar is niet duidelijk verbeterd in de loop van de tijd. Op basis van visuele beoordeling, werd ook waargenomen dat de bodemstructuur verbeterde in de loop van de tijd. NKG toont geen significant effect op de structuur in de laag 0-10 cm maar geeft minder rondblokkige, en meer scherpblokkige structuren in de diepere lagen (Schrik, 2014). Metingen tonen een significant verbeterende aggregaatsstabiliteit in de 0-20 cm laag met een gemiddeld aggregaat-gewichtsdiameter van 0,71 mm bij NKG tegenover 0,52 mm bij ploegen (Crittenden et al., 2015). Metingen tonen ook een verbeterde waterretentie aan, maar niet op alle percelen. De indringingsweerstand is over het algemeen hoger bij NKG op de dieptes ca. 7-35 cm maar er zijn geen verdichte lagen (zie ook

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Indicatie van betere waterregulatie
Zand- en dalgrond	○	Geen wezenlijke verschillen

**Tabel 3-1).** Op overige dieptes is het resultaat niet significant verschillend tussen de grondbewerkingssystemen (Crittenden et al., 2015). Metingen in 2020 tonen geen wezenlijke verschillen in een aantal indicatoren, alleen een lichte voordeel voor NKG voor de structuur in de ondergrond (Bakker et al., 2021). Er is ook waargenomen dat in de beginjaren na implementatie van NKG een hogere indringingsweerstand samengaat met een hogere bulkdichtheid, maar dat na ca. 6 jaar de bulkdichtheid weer vergelijkbaar is met ploegen terwijl de indringingsweerstand hoger blijft. Door de stabielere structuur bij NKG is de indringingsweerstand hoger maar met een vergelijkbare hoeveelheid lucht in de bodem. Dit kan vergeleken worden met het prikken in een bak met kralen (ploegen) of in een broсреep (NKG).



**Tabel 3-1.** Gemiddelde indringingsweerstand; klei uit 2009-2016 in gangbaar, zand uit 2019-2020 (Koopmans et al., 2020; Hoogmoed et al., 2021) en voor dalgrond uit 2021 (methode: de Haan et al., 2020). Significante verschillen met de referentie-behandeling (ploegen of spitten) worden met een ster aangegeven en is alleen op zand- en dalgrond getoetst. Vanaf 1,5 MPa is er sprake van hinder voor wortelgroei en vanaf 3,0 MPa is wortelgroei niet meer mogelijk.

Grondsoort	Grondbewerking	Weerstand 0-20 cm [MPa]	Weerstand 20-40 [MPa]	Diepte cm wortelbelemmering > 3 MPa [cm]	van >
Klei	Ploegen	0,83	1,45		74
	NKG – Tussenvorm	1,00	1,71		75
	NKG – Minimaal	1,28	2,17		71
Dalgrond	Spitten	0,75	2,4		41
	NKG	0,71 *	2.0 *		42
		<b>Weerstand 0-30 cm [MPa]</b>			
Zand	Ploegen	0,7	-		
	NKG	1,1	-		

Op zowel zand- als dalgrond is er beperkt gemeten. Uit de metingen die zijn uitgevoerd op zand in 2012 en 2016 worden geen effecten op bodemfysische parameters aangetoond. Metingen in 2019-2020 tonen perceelsafhankelijke verschillen tussen NKG en ploegen op het watervasthoudend vermogen, indringingsweerstand (

**Tabel 3-1**) en bulkdichtheid (gemiddeld voor ploegen: 1,3 g/cm<sup>3</sup> en NKG: 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Koopmans et al., 2020; Hoogmoed et al., 2021). Het watervasthoudend vermogen was hoger bij NKG (12%) dan bij ploegen (10%) (Hoogmoed et al., 2021). In 2020 zijn ook geen relevante verschillen gevonden tussen de behandelingen (Bakker et al., 2021). Er zijn verder geen visuele effecten op de bodemstructuur of gewas waargenomen. Op dalgrond is gevonden dat de indringingsweerstand significant lager is bij NKG in de lagen 0-40 cm (

**Tabel 3-1).** Dit heeft (nog) niet geresulteerd in visueel zichtbare effecten op vochthuishouding of in effecten op de opbrengst. In 2022 wordt voor deze proef in WP1B een analyse gedaan naar het effect van NKG op de bodemstructuur, gebruikmakend van recente metingen.

Discussie: Er wordt verwacht dat NKG resulteert in een verbeterde weerbaarheid tegen intensieve neerslag doordat er meer organische stof in de bovengrond aanwezig is, in combinatie met stabielere poriën en aggregaten in het bodemprofiel. Op zand- en dalgronden zijn de stabielere poriën minder van belang door de hogere waterdoorlatendheid van deze gronden.

Op kleigrond is de bodembedekking vaak beter met NKG dan met ploegen omdat de groenbemesters in de winter blijven staan. Hierdoor wordt de infiltratie en afvoer van water in het bodemprofiel verbeterd. NKG wordt ook verwacht beter te presteren bij extreme droogte door een verhoogd organisch stofgehalte in de bovengrond, verbeterde bodemstructuur en doordat de ondergrond niet bereiden wordt, wat resulteert in betere beworteling, capillaire werking en dus een verbeterde vochtvoorziening (Crittenden et al., 2015). Een verhoogde indringingsweerstand wordt verwacht voor NKG, de interpretatie hiervan is alleen negatief als dit leidt tot belemmeringen voor wortelgroei. Uit de drie proeven blijkt dat NKG op klei positieve effecten heeft op de bodemstructuur en waterhuishouding. Terbrügge & Düring (1999) vonden in lange termijn studies in Duitsland ook een verbeterde aggregaatstabiliteit bij afnemende intensiteit van grondbewerkingen. Op zand zijn er enkele tendensen in effecten op bodemparameters te bespeuren (watervasthoudend vermogen) en zijn er geen effecten in het gewas zichtbaar. De reden dat we geen effecten zien is niet duidelijk maar het is mogelijk dat de ook in NKG bodem intensief bewerkt wordt waardoor geen positieve effecten op structuur tot stand kunnen komen. Dit kan aan het bouwplan of de uitvoering liggen.

Kennislacunes: Om effecten van NKG op vochthuishouding beter in kaart te brengen moeten betere methodieken toegepast worden om gewas en jaar effecten uit te kunnen sluiten, zoals continue vochtmetingen en tensiometers met sensoren op meerdere dieptes. Daarnaast moeten de bodemfysische metingen die in begin van de proeven uitgevoerd zijn een aantal keer herhaald worden om effecten op structuur in kaart te brengen. Tevens kan er ook gekeken worden naar effect op opbrengst in jaren met extreme droge of natte periodes, om effecten van een verbeterde waterregulatie te kwantificeren.

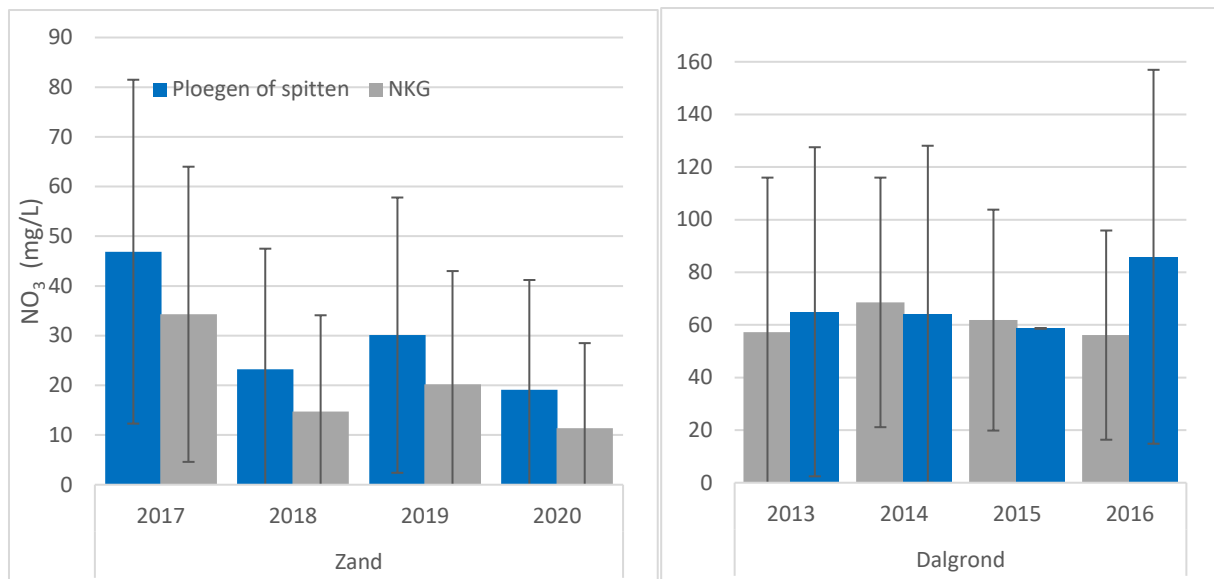
### 3.1.3 Waterzuivering

#### **N-min najaar en nitraatuitspoeling**

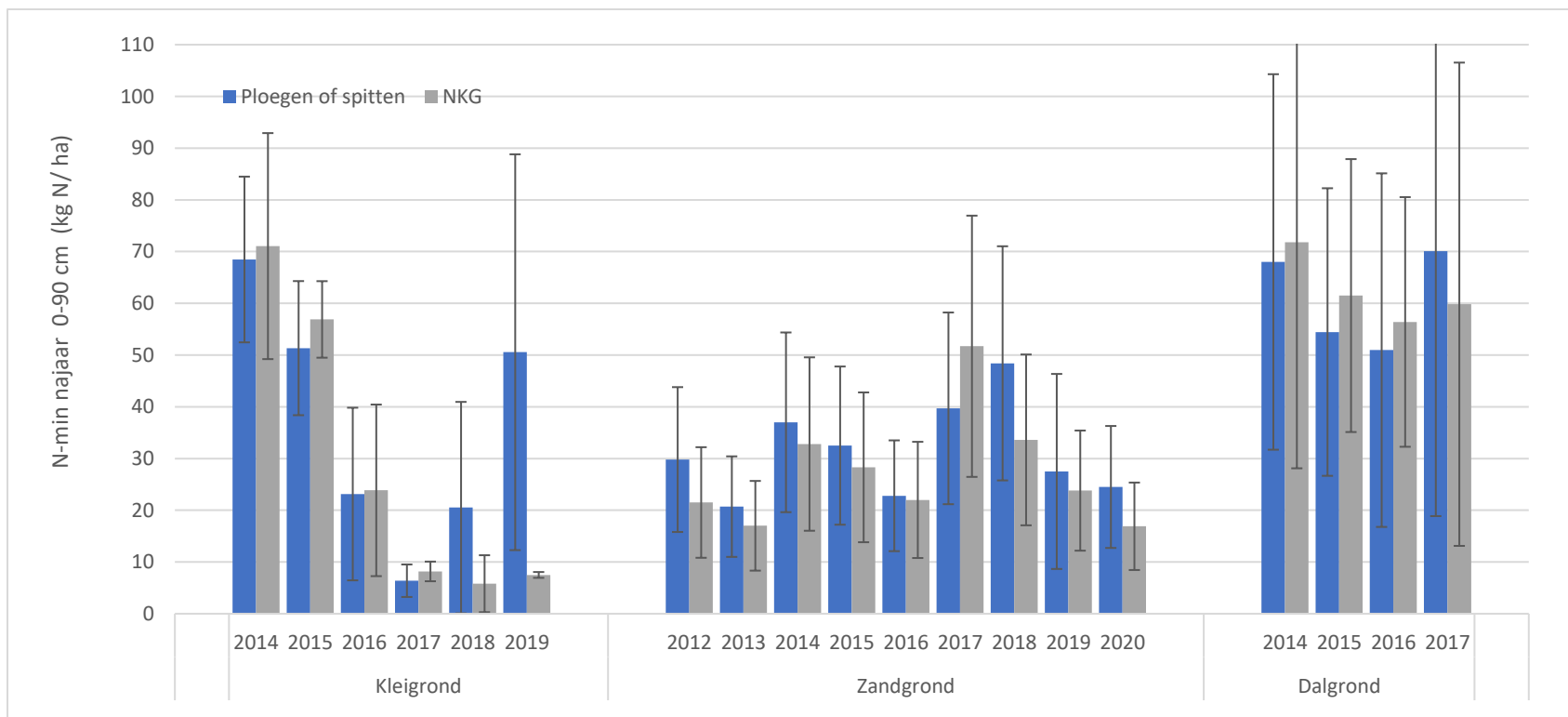
Resultaat: Op klei wordt geen effect van NKG op N-min najaar gezien (**Error! Reference source not found.**). Wat betreft nitraatuitspoeling voorspellen scenariostudies in NDICEA 27% minder uitspoeling en 22% minder denitrificatie bij NKG. Dit komt overeen met het gemeten resultaat dat de totale hoeveelheid N in de bodem na 8 jaar ca. 400 kg hoger is bij NKG (ca. 50 kg N per jaar gemeten, 33 kg N per jaar gemodelleerd) dan bij ploegen (Schouten et al., 2018). De stikstof blijft dus in het bodemprofiel. Verdiepend onderzoek naar effecten op bodemparameters toont dat N-totaal en potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) de meest onderscheidende bodemparameters zijn tussen NKG en ploegen op klei (Hoek et al., 2019).

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen effect op N-min najaar, modelindicatie van minder nitraatuitspoeling
Zand	●	Significant minder uitspoeling en gemiddeld lager N-min najaar
Dalgrond	●	Geen effect op N-min najaar of nitraatuitspoeling

Op zand was de N-min najaar voor alle drie bodemlagen lager in NKG dan bij ploegen, maar de verschillen waren soms erg klein en geen verschillen waren statistisch significant (**Figuur 3-2**). De totale stikstof in de bodem was ca. 70 kg N/ha hoger met NKG. Een significant lagere nitraatuitspoeling werd gevonden bij NKG ten opzichte van ploegen, een verschil van gemiddeld 12 mg NO<sub>3</sub>/L. In het biologische systeem was hetzelfde patroon van verlaagde N-min najaar en nitraatuitspoeling te zien net als in het gangbare systeem, met alleen significante effecten voor de variabelen N-min najaar in de lagen 30-60 cm en 0-90 cm.



**Figuur 3-2.** Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (mg nitraat/L) op zand- en dalgrond met standaardfout en standaarddeviatie, respectievelijk. De metingen op dalgrond zijn gedaan in de behandeling met alle maatregelen gecombineerd en tonen dus niet alleen effecten van NKG maar ook effecten van andere organische stof- en bemestings- maatregelen.



**Figuur 3-3.** N-min najaar (kg/ha) 0-90 cm op klei-, zand- en dalgrond, gangbaar. Foutbalken zijn standaarddeviaties voor klei- en dalgrond en standaardfouten voor zandgrond. Voor kleigrond wordt alleen systeem 'minimaal' weergegeven.

Op dalgrond worden geen effecten van NKG gemeten op N-min najaar en nitraatuitspoeling (Error! Reference source not found.-3). De uitspoeling in het object met de combinatie van alle maatregelen waaronder grondbewerking is gelijk aan de standaard.

Discussie: De minder intensieve menging van de bodem in NKG wordt verwacht te zorgen voor vertraagde mineralisatie van stikstof. De eerste jaren na omschakelen zou dit effect groter kunnen zijn door de verminderde aeratie van de grond (van der Weide et al., 2008). In de proeven op klei en zand heeft NKG een effect gehad op de stikstofhuishouding. Dit is op klei mogelijk te verklaren door het later onderwerken van gewasresten en groenbemesters in NKG, wat zorgt voor dat de stikstof langer vastgehouden wordt in het systeem en niet uitspoelt gedurende de wintermaanden. In de proef blijft ook een deel van de stikstof in de grond gebonden. De resultaten op zand zijn voor een deel moeilijk te verklaren. Aangezien de gewasopbrengsten niet hoger zijn in NKG, de bemesting gelijk is en de gemeten verliezen lager lijken te zijn, is het de vraag waar de stikstof dan blijft. Een deel van de stikstof wordt verwacht verloren te gaan door ammoniakemissies of denitrificatie bij zuurstofarme omstandigheden (de Ruijter & Smit, 2007). Dit is in de proef op zand echter niet vastgesteld. Net als in de proef op kleigrond zou de stikstof ook in de grond kunnen blijven. De totale stikstof was alleen marginaal hoger bij NKG. Metingen aan de totale bodemstikstofvoorraad zijn tevens ook onnauwkeurig met grote variatie over jaren.

Kennislacunes: Er wordt in 2022 vanuit WP1B verdiepend onderzoek gedaan naar de nutriëntenhuishouding in de proeven op klei- en zandgrond. Op klei zou namelijk de gemeten toename in totale stikstof, in tegenstelling tot de oorspronkelijke hypothese, tot hogere uitspoeling kunnen leiden. Met metingen van stikstofconcentratie in bodemvocht zou de modelmatige voorspelling van minder uitspoeling gecontroleerd kunnen worden.

### 3.1.4 Recycling van nutriënten

#### **NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten**

Resultaat: Nutriëntenoverschotten worden berekend als het verschil tussen aanvoer en afvoer. Verschillen tussen NKG en ploegen bestaan uit opbrengstverschillen en de bijbehorende nutriëntengehaltes als deze gemeten

Samenvatting resultaten		
Klei	•	Geen effect i.v.m. gelijke opbrengsten
Zand- en dalgrond	•	Geen effect i.v.m. gelijke opbrengsten

zijn. Aangezien er geen statistisch significante verschillen in de opbrengst op bouwplanniveau gemeten zijn, worden verschillen in nutriëntenoverschotten ook niet verwacht. Als er structureel lagere opbrengsten behaald worden in een gewas bij NKG, zou het overschot een reden zijn om de bemesting te verlagen. Op dalgrond waar gerekend is met opbrengstverschillen in suikerbiet wordt in het bodemoverschot verschillen van enkele kilo's N, P of K gezien bij toepassing van NKG. Voor een overzicht van de bodemoverschotten, aandeel organische mest en nutriëntenefficiënties in de systemen zie **Tabel 3-4**. Deze gegevens zijn gelijk aan de behandelingen met NKG.

Discussie: Door het laat vrijkomen van nutriënten uit gewasresten of groenbemesters bij NKG wordt een hogere beschikbaarheid van nutriënten in het volggewas verwacht, wat zou betekenen dat het mogelijk is om minder te bemesten. Er is niet uitgebreid gemeten aan verschillen in mineralisatie en het ontbreken van effecten op de opbrengsten laat zien dat er weinig effect is op de nutriëntenefficiëntie.

Kennislacunes: Om te onderzoeken of lagere overschotten mogelijk zijn kunnen meetplots aangelegd worden waarin de beschikbare N gemeten wordt, waarop de bemesting aangepast kan worden.

### 3.1.5 Koolstofvastlegging

#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

**Resultaat:** Op klei variëren de resultaten van metingen van koolstofvastlegging per meetmoment en lijken verschillen tussen gereduceerd en ploegen groter te worden sinds het begin van de behandeling. Resultaten lijken afhankelijk te zijn van

perceel en tijdstip van meten in het bouwplan. De meest recente metingen binnen het programma Slim Landgebruik in de gangbare percelen tonen in 2018 een significant effect voor de laag 0-30 cm maar in 2019 lijkt er sprake te zijn van een hogere maar niet significante tendens tot meer koolstofvastlegging in de NKG variant (Koopmans et al., 2020). In de ondergrond van 30-60 cm lijkt sprake van een (niet significante) afname aan koolstof in de NKG-variant in beide jaren (**Tabel 3-2**). Krauss et al. (2022) vinden in 2018 in de biologische percelen significante verhogingen in C-elementair in de lagen 0-30 cm (+ ca. 11%) en 70-100 cm (+ ca. 6%). Deze significantie werd bereikt door 3 individuele boringen in een perceel als (nested) herhalingen te beschouwen.

Op zand is de variatie in de meetwaardes hoog. In 2019-2020 werd een statistisch significant lagere koolstofvastlegging gemeten in NKG ten opzichte van ploegen (**Tabel 3-2**) (Hoogmoed et al., 2021). Er is ook een grote variatie in de metingen op dalgrond waardoor het lastig is om effecten statistisch aan te tonen. Het is ook waarschijnlijk te vroeg is om effecten te verwachten aangezien de proef er nog maar 7 jaar ligt.

**Tabel 3-2.** Vergelijking C-elementair metingen (0-30 cm) voor NKG en ploegen of spitten op klei (systeem 'minimaal'), zand- en dalgrond (Koopmans et al., 2020; Koopmans et al., 2019; Hoogmoed et al., 2021).

Grondsoort	Grondbewerking	C-elementair (%) – 2019
Klei	Ploegen	0,9
	NKG	1,0
Zand	Ploegen	2,2
	NKG	2,0*
Dalgrond	Spitten	5,4
	NKG	5,5

NKG zou ook een effect kunnen hebben op broeikasgasemissies via verhoogde denitrificatie door de veranderde hoeveelheid organische resten, bodemdichtheid en poriën in de bovenste lagen. In de proef op klei is geen invloed van NKG hierop gevonden. Dit komt overeen met dat ook geen bodemverdichting of problemen met anaerobe omstandigheden gevonden zijn (3.1.2).

**Discussie:** Uit deze resultaten kan niet geconcludeerd worden dat NKG bijdraagt aan meer koolstofvastlegging door minder verstorend van de bodem. Intensiever meten over meerdere jaren en een gestandaardiseerd protocol kan helpen om een definitieve conclusie te kunnen trekken uit deze proeven. De resultaten komen wel overeen met andere studies die tonen dat de hypothese van verhoogde organische stof niet bevestigd wordt door onderzoek waarin de juiste methodiek werd toegepast (Baker et al., 2007). Bij NKG lijkt sprake te zijn van een toename van organische stof in de bovenste bodemlagen en afname in diepere lagen, terwijl bij ploegen de organische stof meer gelijkmatig verspreid is door het bodemprofiel. De meta-analyse van Cooper et al. (2016) toont dat een toename van organisch materiaal in de bovenlaag door NKG niet leidt tot een toename in de diepere lagen in het bodemprofiel. Er zijn echter ook voorbeelden van studies waar een toename in koolstofvastlegging wel gevonden wordt (Ogle et al., 2005; Van Groeningen et al., 2010; Van Groeningen et al., 2011).

Over het algemeen geldt dat het meeste onderzoek naar NKG en no-till (zaaien in stoppel, geen diepe bewerking etc.), gekeken heeft naar systemen met veel maaigewassen (met hoge OS aanvoer) in klimaten die anders zijn dan het Nederlandse klimaat. Onze bouwplannen verschillen met die in de literatuur o.a. omdat ze een hoog aandeel rooivruchten bevatten. Door de rooivruchten wordt de grond behoorlijk

verstoord wat ook bijdraagt aan koolstofafbraak. In de literatuur wordt voor systemen met no-till vaak wel een toename in koolstofopslag gevonden. No-till is echter niet toe te passen bij rooivruchten (Luo, Wang, & Sun, 2010; West & Post, 2002). Deze aspecten zouden kunnen verklaren waarom de resultaten in de systeemprouven verschillen van die in de literatuur.

### 3.1.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat:** Metingen aan biodiversiteit zijn hoofdzakelijk gedaan in de proef op klei. De totale hoeveelheid en biomassa van regenwormen variëren erg tussen de jaren maar zijn over het algemeen iets hoger bij NKG (Crittenden et al., 2014; Michielsen, 2014). De soortenvariatie is consistent hoger in NKG. Bij de metingen waarbij ploegen meer regenwormen laat zien, is dat vooral te wijten aan een toename in een beperkt aantal soorten. In NKG was het aandeel strooiseleTERS significant hoger dan in ploegen. Ook werd gevonden dat de regenwormpopulatie in het voorjaar na de hoofdgrondbewerking (ploegen of niet-kerend) zich heeft hersteld qua aantallen maar dat de populatie dan voornamelijk bestaat uit juvenielen (Crittenden et al., 2014).

Samenvatting resultaten		
Klei	●	Meer microbiel bodemleven en hogere diversiteit aan regenwormen en geleedpotigen
Zand- en dalgrond	○	Geen effect

Geleedpotigen werden in twee groeiseizoenen bemonsterd. Het ene onderzoek toont geen effect van NKG op de totale aantallen geleedpotigen en terwijl het andere onderzoek een positief effect toont van NKG (Miao, 2014; Spee, 2019). Uit deze beide onderzoeken blijkt dat voor loopkevers hetzelfde geldt als voor regenwormen: de soortendiversiteit is hoger in NKG en het is een beperkt aantal soorten die soms sterk toenemen bij ploegen. Een mogelijke verklaring voor dit effect is het tijdstip van grondbewerking (voorjaar of najaar) wat de overlevingskans verschillend beïnvloedt voor verschillende keversoorten omdat ze verschillende rustperiodes hebben (Turin & Van Alebeek, 2007). Het tijdstip van bemonsteren na de grondbewerking kan ook een effect hebben gehad op de resultaten.

Schimmelbiomassa en bacteriebiomassa waren op basis van metingen uit de jaren 2010 en 2013-2015 gemiddeld 36% hoger (significant) bij NKG dan bij ploegen in de bovenste 12 cm van de bodem (Kurm et al., 2022). In 2016 werd ook een significant hogere bacteriebiomassa en PMN gevonden samen met een toename in andere indicatoren met betrekking tot bacteriën. De PMN was ook in 2012 hoger (Hoek et al., 2019). Dit komt overeen met bevindingen in 2019-2020 waar 78% meer bacteriebiomassa gevonden werd bij NKG (Hoogmoed et al., 2021) en metingen bij een ander moment hetzelfde jaar met een 131% toename in PMN en een 61% toename in HWC (een indicator voor bodemleven) bij het toepassen van NKG (Kurm et al., 2022). Ook werden een (gemiddeld) 64% hogere PMN en 39% hogere HWC gevonden bij NKG dan bij ploegen (Kurm et al., 2022).

In de proef op zand werden in 2019-2020 PMN, microbiële-, bacterie- en schimmelbiomassa gemeten. Er werden geen effecten van NKG gevonden (Hoogmoed et al., 2021).

**Discussie:** Uit de beperkte beschikbare gegevens kan voor klei geconcludeerd worden dat er een tendens is tot hogere biodiversiteit in de bovenste bodemlagen bij NKG. Dit komt overeen met andere studies die aantonen dat de verhoogde hoeveelheid gewasresten in de bovenste lagen van NKG, zorgt voor voedsel en een aantrekkelijk habitat voor veel bodemorganismen (Sapkota, 2012). Onze resultaten bevestigen ook dat de lagere verstoring de bodem beter geschikt kan maken voor specifieke soorten zoals de regenworm (Ernst & Emmerling, 2009). Door de hogere aanwezigheid van groenbemesters, bodemleven, insecten en gewasresten zou NKG ook vogels kunnen aantrekken. Daar is in onze proeven niet voldoende naar gekeken om een uitspraak over te kunnen doen.

**Kennislacunes:** In alle drie de systeemprouven zouden de effecten van NKG op het bodemleven beter in kaart gebracht moeten en worden door metingen te herhalen, over het hele bodemprofiel en meerdere



keren per jaar en op verschillende tijdstippen in de vruchtwisseling om effecten van weer en gewas op het resultaat te minimaliseren.

### 3.1.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten				
	Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Machines en werktuigen	Toepasbaarheid
Klei	Bouwplanafhankelijk, ervaring opdoen met tijdstip van grondbewerking	Met fijnzadige gewassen minder gunstig	Beperkte investeringen	Matig toepasbaar
Zand- en dalgrond	Bouwplanafhankelijk, ervaring en kennis opdoen in onkruidbeheersing	In biologisch en met fijnzadige gewassen minder gunstig	Beperkte investeringen	Matig toepasbaar

#### Kennis en kunde

Op basis van de ervaringen uit de systeemprouven zijn de uitdagingen voor de boer door NKG: het voorbereiden van een goed zaaibed toegespitst op het gewas, het tijdig onderwerken van gewasresten of groenbemesters en het bestrijden van onkruiden aangepast aan de omstandigheden van het perceel in een gegeven jaar. Daarom hangt de moeilijkheid van het toepassen van een NKG erg af van de gewassen die geteeld worden en of een systeem gangbaar of biologisch is. Op zand- en dalgronden is de toename in onkruidbestrijding de grootste uitdaging terwijl op klei het tijdstip van grondbewerking een uitdaging vormt. Op klei moet de boer ervaring opdoen met het juiste tijdstip van hoofdgrondbewerking, klepelen en onderwerken van de stoppel of groenbemester om een goed zaaibed te kunnen maken met een goede bodemstructuur. Een aanpassing in de gewasvolgorde kan ook hierbij helpen. Het juiste tijdstip van grondbewerking hangt van de bodemcondities af en is verschillend voor een nat of een droog voorjaar. Het voorbereiden van een zaaibed voor fijnzadige gewassen zoals peen en ui blijft een aandachtspunt met NKG door storende gewasresten en de uitdaging van het losmaken van voldoende losse grond. Door betere planning en door andere zaaitechnieken toe te passen kan het zaaibed verbeterd worden in NKG. De toename in onkruiddruk (alleen waargenomen op zandgrond) zorgt met name voor uitdagingen bij peen, prei en biologische conservenerwten. Gewassen zoals aardappel, granen, mais, gangbare conservenerwten en suikerbiet zijn relatief eenvoudig om met NKG te telen.

#### Bedrijfsresultaat en arbeid

Met NKG wordt verwacht dat het bedrijfsresultaat positief beïnvloed wordt door opbrengsteffecten in combinatie met andere kosten voor arbeid en brandstof omdat er niet geploegd hoeft te worden. Tegelijkertijd zou NKG ook kunnen leiden tot hogere kosten doordat meer grondbewerkingen nodig zijn om gewasresten en groenbemesters weg te werken en om een goede bodemstructuur te krijgen voor het zaaien en planten en om de toename in onkruid mechanisch te bestrijden. Vanuit de proeven blijkt, in lijn met de verwachting, dat NKG zowel economisch beter als slechter uit kan pakken dan gangbare grondbewerking, maar de verschillen zijn niet groot. De kosten zijn op alle grondsoorten lager bij NKG, behalve voor het biologische systeem op zand waar de handwiedkosten toegenomen zijn met gemiddeld € 32 ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (**Tabel 3-3**). De afname in kosten komt met name door lagere kosten voor grondbewerking (brandstofgebruik en arbeid). Voor het systeem op zand is uitgerekend dat de kosten voor grondbewerking € 63 ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> lager zijn voor NKG. Op klei geeft ploegen het beste bedrijfsresultaat, behalve in het gangbare systeem met NKG met woelen. Op zowel klei als zand is het *verschil in opbrengsten* negatief door de verlaagde opbrengsten in de economisch belangrijke gewassen zoals peen en ui. Op dalgrond blijkt dat NKG voordeliger is dan spitten en is er ook geen verschil gevonden in de onkruiddruk.

Of het economische bedrijfsresultaat met NKG positiever is dan met ploegen of spitten is met name afhankelijk van het bouwplan en of het teeltsysteem biologisch of gangbaar is. De handwiedkosten zijn hoger in biologische systemen met NKG. Als de economisch belangrijke gewassen een opbrengstderving ondervinden met NKG en de besparingen op kosten dit niet compenseren kan het bouwplansaldo negatiever uitkomen. In dit deelonderzoek is gerekend met productprijzen uit de KWIN, waardoor

bijvoorbeeld biologische peen hier slecht presteert. Het volledige resultaat over de invloed van NKG op het bedrijfsresultaat kan gelezen in het rapport van de Wolf et al. (2019).

**Tabel 3-3.** Overzicht van het economische bedrijfsresultaat van NKG op klei, zand- en dalgrond. Handwiedkosten zijn alleen meegenomen in het biologische systeem op zand (Wolf et al., 2019; Bijker et al., 2022).

Grondsoort	NKG	Systeem	Verschil kosten t.o.v. standaard	Verschil opbrengsten t.o.v. standaard	Totaal verschil ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> t.o.v. standaard
Klei	met woelen	Gangbaar	€ 13	0	€ 13
	zonder woelen	Gangbaar	€ 62	- € 88	- € 26
	met woelen	Biologisch	€ 54	- € 559	-€ 505
	zonder woelen	Biologisch	€ 65	- € 726	-€ 661
Zand	met woelen	Gangbaar	€ 63	€ 67	€ 130
		Biologisch	- € 32	- € 130	-€ 162
Dalgrond	met woelen	Gangbaar	€ 88	- € 37	€ 51

### Machines en werktuigen

Om NKG toe te kunnen passen zijn meestal beperkte aanpassingen in het machinepark nodig. De ploeg wordt vaak vervangen door een cultivator waarmee wat bespaard kan worden op kosten voor aankoop en onderhoud. Er zijn specifieke cultivatoren beschikbaar voor NKG waarmee het risico op opstropen van gewasresten kleiner is dan met een standaard cultivator. Daarnaast is een goede zaaimachine met schijfkouters een vereiste. Die zijn meestal duurder dan gewone zaaimachines. Voor het inzaaien van groenbemesters in de stoppel moet ook een machine beschikbaar zijn voor lichte grondbewerking. Bij het zoeken naar machines in het buitenland moet opgelet worden dat ze geschikt zijn voor de grondsoort hier in Nederland omdat de meeste machines ontwikkeld zijn voor lössgronden. Daarnaast zijn de machines vaak erg groot waardoor ze niet zullen passen bij kleine tot middelgrote bedrijven.

### Toepasbaarheid

Door toepassing van de maatregel niet kerende grondbewerking is er op elke grondsoort een verhoogd risico op zowel blad- als bodemschimmels. Na afsterving van het gewas blijven de gewasresten aan het bodemoppervlakte liggen waardoor deze minder snel afbreken. Op deze gewasresten kunnen bepaalde schimmels de winter gemakkelijker overleven. In het voorjaar kunnen de schimmels al vroeg gaan sporuleren, het jonge gewas infecteren en van daaruit een nieuwe cyclus starten. Het goed verkleinen en oppervlakkig inwerken van de gewasresten kan bijdragen aan een snellere vertering en daardoor het extra risico beperken. Zie maatregel "Grondbewerking" op [gezondgewastool.nl](http://gezondgewastool.nl) voor meer informatie over specifieke pathogenen waarop er bekende effecten zijn door grondbewerking. De vraag is nog wel hoe relevant het extra risico op pathogene schimmelziekten is bij NKG ten opzichte van ploegen. Hier wordt in de komende jaren meer aandacht aan gegeven. Ook welke schimmelziekten een verhoogd risico hebben door toepassing van NKG moet verder onderzocht worden. Een goede vruchtwisseling is verder een belangrijk aspect in het voorkomen van schimmelziektes.

Het totale areaal waarop de maatregel van toepassing is, wordt geschat op 52% van het totaal areaal landbouwgrond oftewel 732.280 ha (Koopmans et al. 2020). Als maatregel zou NKG op veel gangbare bedrijven toegepast kunnen worden afhankelijk van de gewassen in het bouwplan. Op percelen met fijnzadige gewassen die gevoelig zijn voor onkruid en een fijn zaaibed nodig hebben voor een goede opkomst kan het lastiger zijn. Gewassen die geplant/gepoot worden en grotere zaden hebben (granen en peulvruchten) doen het goed met NKG. Vanuit kosten en arbeidsoogpunt is het toepasbare areaal lager voor biologische systemen door benodigde extra arbeid voor mechanische en handmatige onkruidbestrijding door de eventueel hogere onkruiddruk in NKG. Dit is ook afhankelijk van de onkruiddruk van de locatie. De onkruiddruk is doorgaans hoger op zandgronden. Op lichte gronden neemt ook het risico op stuiven toe bij oppervlakkige bewerking van de droge bovengrond, waar sommige gewassen onder lijden. Samengevat, de combinatie van grondsoort en gewas bepaalt het succes in NKG.

## 3.2 Organische stof aanvoer: organische mest en compost

De resultaten van twee typen organische stof maatregelen worden gepresenteerd in dit hoofdstuk. Deze zijn: 1. Organische bemesting (genaamd systeem STANDAARD) en 2. Aanvoer van extra natuur- of groencompost. De maatregel compost werd met verschillende grote giften toegediend, van 15 ton tot 40 ton jaarlijks (BKZ, BASIS, BKV), of 50 ton elk 3 jaar (BGZ). De situatie van toediening verschilde ook, hier wordt onderscheid gemaakt tussen toediening van compost in systemen met verschillende mate van aanvoer van dierlijke mest (LAAG-STANDAARD-Biologisch). Tevens verschilt de locatie en grondsoort van toediening (klei, zand, dalgrond) en het teeltsysteem (gangbaar-biologisch). Wanneer er opvallende verschillen zijn in de resultaten tussen systemen en toedieningen worden ze afzonderlijk van elkaar besproken. Het systeem met standaard organische stof aanvoer (STANDAARD) wordt vergeleken met een onderzoeksobject met een lage organische stof aanvoer (LAAG). Voor behandeling LAAG is geprobeerd om net zoveel werkzame stikstof aan te voeren als bij de referentie (STANDAARD). In de compostobjecten in de proef op klei is niet gecorrigeerd voor de stikstofbemesting maar is wel de fosfaat en kaliumbemesting eenmalig overgeslagen. In de proef op zand wordt de stikstofbemesting verminderd in de jaarlijkse compostbehandelingen. In de proef op dalgrond is de met compost aangevoerde K<sub>2</sub>O gedeeltelijk gecompenseerd door lagere andere mestgiften. In de praktijk zou de aanvoer van nutriënten via bemesting verlaagd worden waardoor de resultaten op de nutriëntenbalans gunstiger zouden uitpakken. In alle proeven is groencompost of natuurcompost gebruikt. Andere kwaliteiten van compost kunnen andere effecten geven. Voor informatie over de samenstelling van de compost zie achterliggende publicaties van de drie proeven (hoofdstuk 2.3.1).

### 3.2.1 Productiviteit

#### Marktbaar opbrengst en kwaliteit

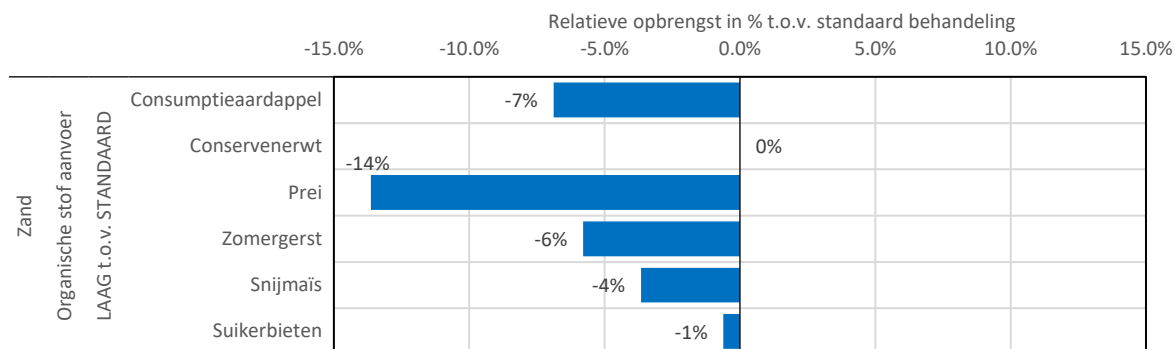
**Resultaat:** Op klei resulteert 20 ton compost per hectare per jaar in significant verbeterde opbrengsten in graan (+14%) en conservenerwten (+8%). Met 40 ton compost per hectare per jaar is er een significante opbrengstverhoging in pootaardappel (+1%) en graan (+24%) (**Figuur 3-5**). Aangezien de bemesting niet is aangepast in

Samenvatting resultaten		
Klei – Compost	•	Significant hogere opbrengst bij granen en conservenerwten
Zand – STANDAARD	•	Sterk verhoogde bouwplanopbrengsten t.o.v. LAAG
Zand – Compost jaarlijks	•	Hogere opbrengsten in LAAG, geen effect in STANDAARD
Zand – Compost elk 3 jr.	•	Kan significant hogere opbrengsten geven, ook op bouwplanniveau
Dalgrond - Compost	•	Significant hogere opbrengst in suikerbiet

de compostplots, zouden deze effecten grotendeels door een verhoogde beschikbaarheid van stikstof kunnen komen.

In de proef op zand is de productie van de gewassen in systeem LAAG (geen aanvoer van organische meststoffen) lager in vergelijking met systeem STANDAARD (**Figuur 3-4**). Voor alle gewassen behalve conservenerwt wordt een productievermindering gevonden. Het is met name de opbrengst van prei die achterblijft (-14%). De effecten zijn echter niet statistisch significant. Verschillen in kwaliteit van het gewas tussen de systemen wordt vooral gevonden in de aardappel waar de kwaliteit lager is in systeem LAAG (de Haan et al., 2018a)

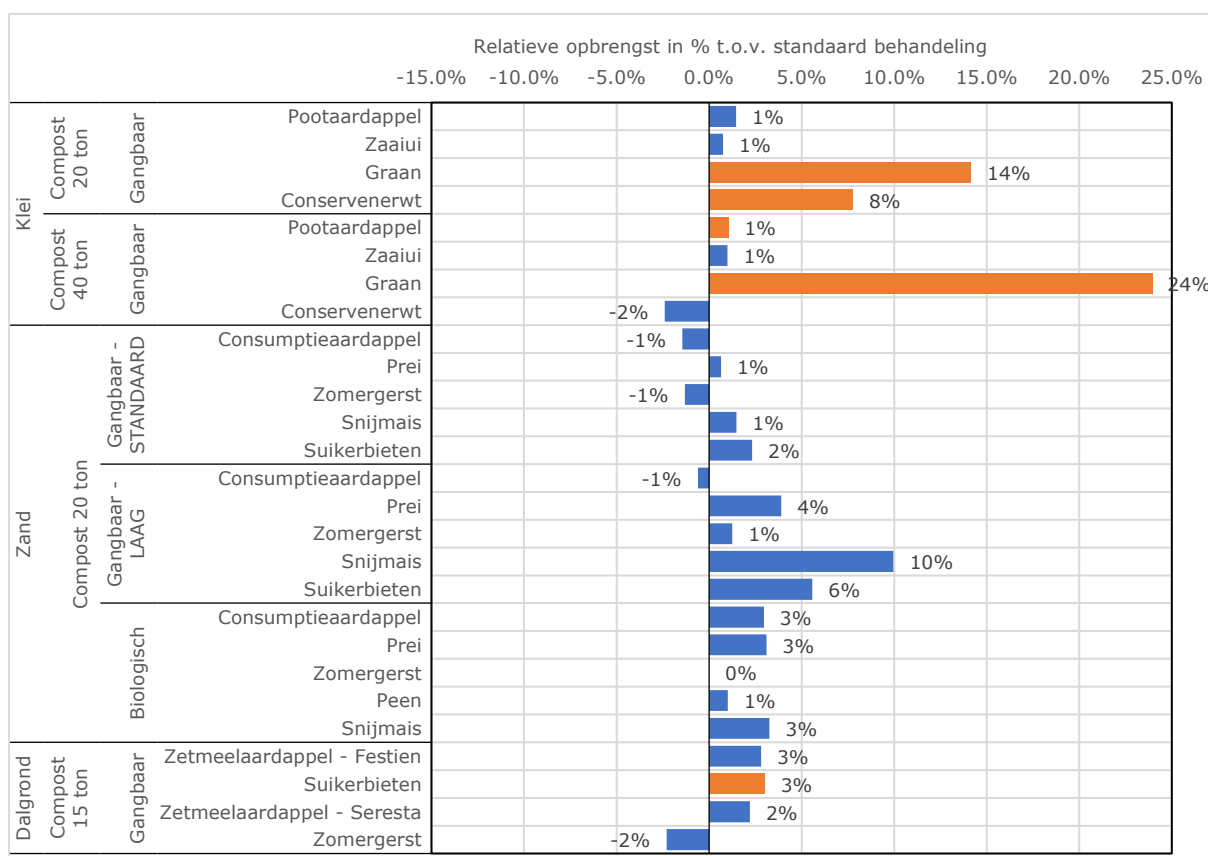
In het systeem STANDAARD zijn de opbrengsten nagenoeg gelijk met en zonder aanvoer van compost (**Figuur 3-5**). In LAAG hebben de compostplots gemiddeld een 4% hogere opbrengst. De snijmaïsoopbrengst is gemiddeld 10% hoger met compost en de opbrengsten van suikerbieten en prei zijn ca. 5% hoger. Geen van de opbrengstverschillen door compost zijn significant in zowel STANDAARD als LAAG. De opbrengsten in LAAG met compost liggen gemiddeld op het niveau van STANDAARD zonder compost. In het biologische systeem zijn de effecten van compost op opbrengst klein. Gemiddeld over alle gewassen was de opbrengst iets hoger bij toediening van compost (zie ook Bijker et al., 2022), maar dit



**Figuur 3-4.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) van LAAG (geen organische stof aanvoer), ten opzichte van een standaard bemesting met dierlijke mest (STANDAARD). Bij een blauwe kleur is er geen significant verschil aangetoond ( $p < 0,05$ ).

effect was niet significant. Gewaskwaliteitsaspecten zijn niet geanalyseerd voor de compostplots (de Haan et al., 2018b, 2018a).

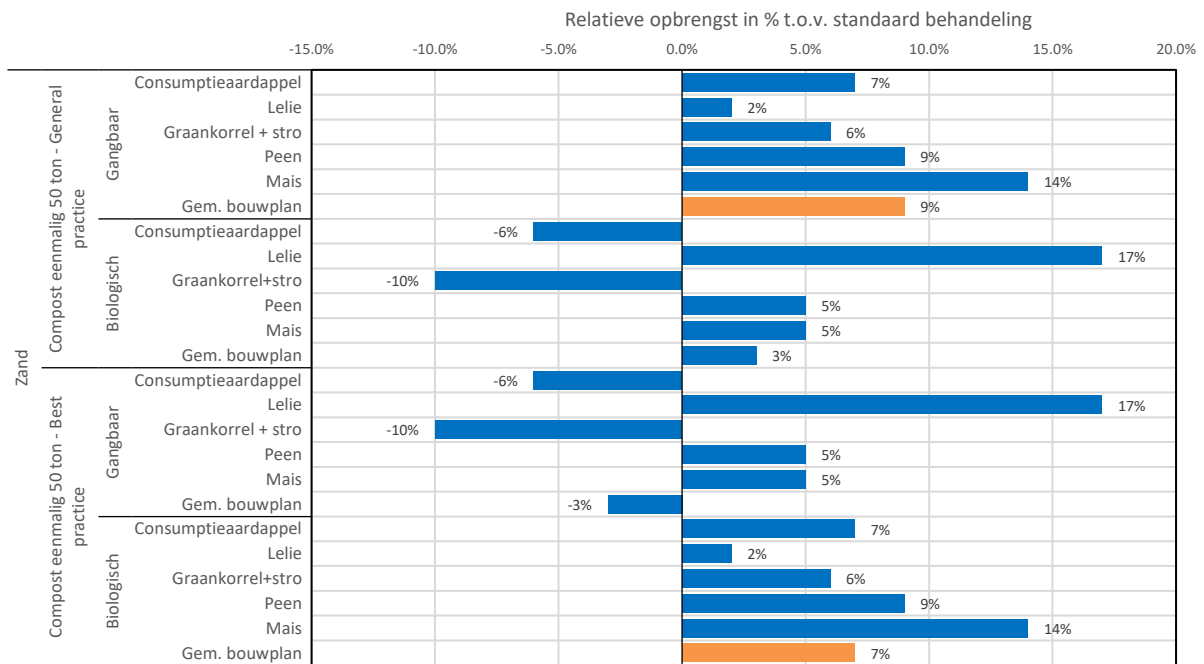
Op dalgrond is er een trend van verhoogde opbrengsten door het aanvoeren van compost in de aardappelen (+2 á 3%) en suikerbiet (+3%) maar niet in de zomergerst (-2%) (zie ook Bijker et al., 2022). Het opbrengsteffect is alleen significant bij de suikerbiet. Compost heeft alleen significant negatieve effecten op de kwaliteit van zomergerst die kleinere korrels krijgt met een hoger eiwitgehalte.



**Figuur 3-5.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) bij jaarlijkse toepassing van compost, ten opzichte van een standaard bemesting. De opbrengsten zijn op klei uit de jaren 2015-2019 (twee jaren gemeten per gewas) 2013-2016 op zand en 2014-2017 op dalgrond. Een oranje kleur betekent een significant verschil met de standaardbehandeling ( $p < 0,05$ ), bij een blauwe kleur is er geen significant verschil aangetoond.

Dit komt mogelijk doordat bij de zomergerst de compost leidt tot een lagere stikstofbeschikbaarheid voor het gewas door langzamere mineralisatie en immobilisatie van stikstof (de Haan et al., 2020).

In de proef op zand waarbij compost eens in de 3 jaar toegepast werd is een significant positief effect te zien op de gemiddelde opbrengst van de gewassen in het gangbare systeem – Good practice (+9%) en in het biologische systeem – Best practice (+7%) (**Figuur 3-6**). Op gewasniveau zijn er geen significante verschillen in opbrengst. Wat in het gangbare systeem mogelijk te zien is, is dat als de (bodem)omstandigheden suboptimaal zijn (zoals in het Good practice-systeem), compost een steuntje in de rug is en de opbrengst significant kan verbeteren.



**Figuur 3-6.** Relatief opbrengstverschil na toepassing van compost, ten opzichte van een standaard bemesting. De opbrengsten zijn uit de jaren 2007-2014 en op basis van drie teeltjaren voor mais, twee teeltjaren voor biologische aardappel en voor de rest één teeltjaar. Een oranje kleur betekent een significant verschil met de standaardbehandeling ( $p < 0,05$ ), bij een blauwe kleur is er geen significant verschil aangetoond. Compost is in 2006 en 2009 toegediend.

**Discussie:** De effecten van organische meststoffen en compost op gewasopbrengsten komen grotendeels overeen met de verwachting dat deze de gewasopbrengsten verbeteren door de effecten op de bodemkwaliteit en nutriëntenhuishouding via verbeterd bodemleven en structuur (D'Hose et al., 2014; Singer et al., 2004). Door alleen minerale meststoffen te gebruiken (LAAG) zijn de opbrengsten voor bijna alle gewassen lager dan bij de toepassing van dierlijke mest. In het geval van lage OS aanvoer kan de aanvoer van compost weer zorgen voor toenames in opbrengsten. Het is dus met name bij lage OS aanvoer uit bemesting, dat compost heel waardevol is. Met gebruik van compost als aanvulling op organische meststoffen (bijv. in STANDAARD of biologische systemen) worden in de meeste gewassen wel enige toename in gewasopbrengsten gevonden maar niet significant. Het voortzetten van de experimenten zou kunnen zorgen voor statistisch significante effecten. Anderzijds, uit praktisch en economisch opzicht zouden effecten op de opbrengsten na deze proefduur wel beter zichtbaar moeten zijn.

Toepassing van compost met een hoge C/N-verhouding kan leiden tot tijdelijke vastlegging van stikstof waardoor plantengroei belemmerd wordt. Dit kan worden vermeden door compost met een geschikte C/N-verhouding te gebruiken of de compost ruim voor het groeiseizoen (in het najaar) toe te passen, mogelijk met een vlinderbloemige groenbemesters. In de proeven is deze tijdelijke vastlegging in geen van de gewassen waargenomen, behalve mogelijk in de zomergerst op dalgrond. Wat betreft effecten op productkwaliteit lijken deze mee te vallen. In vergelijking met andere minerale en ook dierlijke mestsoorten

zou compost een grotere variatie aan mineralen en sporenelementen bevatten. De extra stimulering van het bodemleven hierdoor zou ook eventueel de opname van deze nutriënten vergemakkelijken. Dit zou positieve effecten kunnen geven op productkwaliteit maar is in de proeven niet waargenomen.

### 3.2.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

**Resultaat:** Op klei zijn alleen in 2019-2020 enkele indicatoren gemeten. Er werden geen effecten gevonden op indringingsweerstand (0-30 cm) (referentie: 0,5 MPa, compost: 0,5-0,6 MPa), bulkdichtheid (referentie: 1,43 g/cm<sup>3</sup>, compost: 1,43-1,44 g/cm<sup>3</sup>), watervasthoudend vermogen (referentie: 16.9%, compost: 17.6-18.0%) en % scherpblokkige structuren (referentie: 10%, compost: 0-6%) (Hoogmoed et al., 2021).

Samenvatting resultaten		
Klei - Compost	○	Geen effect
Zand - STANDAARD		
Zand- en dalgrond - Compost		

Op zand zijn er bodemfysische metingen gedaan in 2012 en 2016 en deze lieten geen verschillen zien tussen systeem LAAG en STANDAARD in indringingsweerstand, bulkdichtheid, watervasthoudend vermogen en porievolumen (Vervoort, 2016; Visser et al., 2014). Er zijn ook geen visuele effecten waargenomen in de gewassen.

Op dalgrond zijn geen visuele effecten waargenomen en is de indringingsweerstand gelijk voor compost en de referentie (0-20 cm: 0,7 MPa, 20-40: 2,14 MPa met >3 MPa bij 42 cm diepte) (voor methode zie De Haan et al., 2020). Dezelfde conclusie is getrokken voor metingen aan indringingsweerstand in 2018 (Koopmans et al. 2019).

**Discussie:** Het resultaat dat organische meststoffen geen effect hebben op bodemfysische parameters komt niet overeen met de verwachting. De verwachting was dat organische stof aanvoer resulteert in een verbeterde weerbaarheid tegen heviger neerslag doordat er meer organische stof aanwezig is, waardoor de bodemstructuur verbetert. Dit effect zou tot stand komen door verbeterde aggregaatstabiliteit en lagere bodemdichtheid (Diacono & Montemurro, 2010). De organische stof zou ook kunnen leiden tot een verbeterde vochtvoorziening bij droogte (Bot & Benites, 2005; Hudson, 1994).

Er is te beperkt gemeten aan deze parameters om op dit vlak uitspraken te kunnen doen. Het effect blijkt zo gering te zijn dat het ook niet visueel zichtbaar is. Dat er geen effecten zijn gevonden is aan de andere kant niet heel verrassend. Omdat de verwachte effecten op bodemorganische stofgehalte gering zijn en een grote spreiding hebben, vergen deze veel waarnemingen om goed te kunnen onderzoeken.

**Kennislacunes:** Als deze aspecten van waterhuishouding in kaart gebracht moeten worden in deze proeven, dan zou er intensiever gemeten moeten worden op meerdere momenten gedurende het seizoen en over de jaren heen. Vrij uitgebreide metingen van bodemvocht zijn voor het experiment op dalgrond beschikbaar en zouden nog geanalyseerd kunnen worden.

### 3.2.3 Waterzuivering

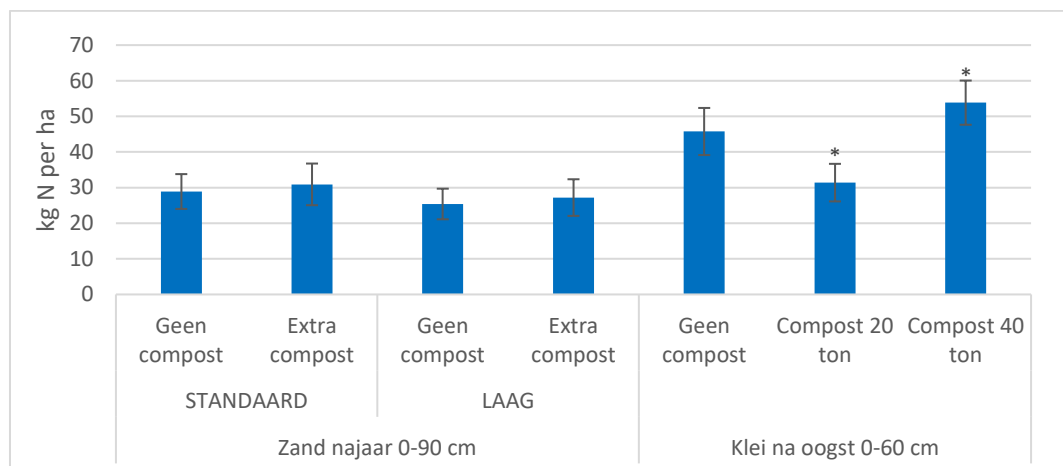
#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

**Resultaat:** Op klei wordt een significant hogere N-min gevonden bij zowel 20 als 40 ton compost (**Figuur 3-7**). Omdat alleen gebruik gemaakt wordt van data uit twee jaar is dit effect nog niet voldoende onderbouwd. Er kunnen geen metingen gedaan worden van de nitraatuitspoeling i.v.m. de meetmethode en te kleine

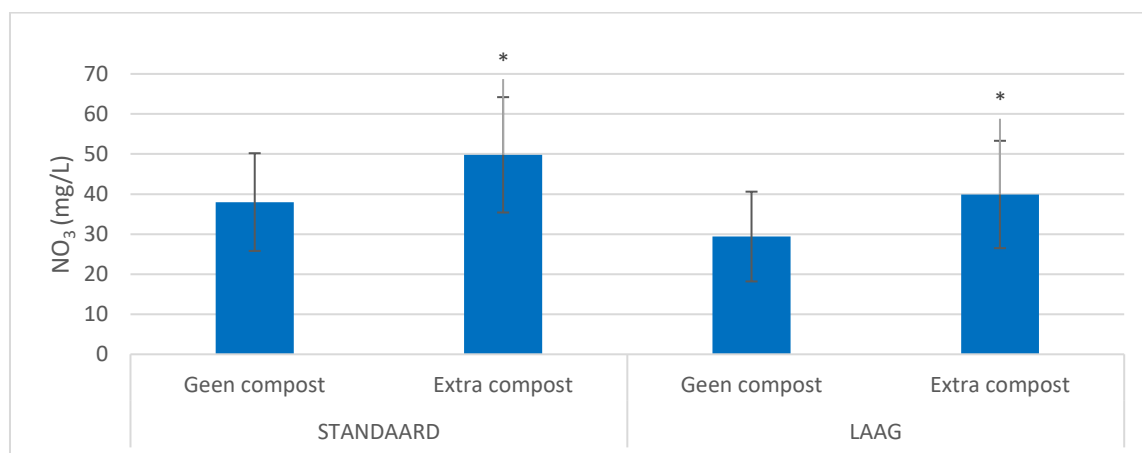
Samenvatting resultaten		
Klei - Compost	○	Geen eenduidig effect
Zand - STANDAARD	●	Gemiddeld hogere nitraatuitspoeling dan in LAAG, niet significant
Zand - Compost	●	Significant hogere uitpoeling en gemiddeld iets hoger N-min najaar
Dalgrond - Compost		

afmetingen van de compostplots. Het risico op uitspoeling kan wel geschat worden op basis van N-min in het bodemprofiel na de oogst van het hoofdgewas (De Ruijter & Smit, 2003).

In het experiment op zand was de N-min najaar voor LAAG en STANDAARD gemiddeld lager dan de streefwaarde van 45 kg/ha en waren er geen significante verschillen tussen systeem LAAG en STANDAARD (**Figuur 3-7**) (zie ook De Haan et al., 2018a). Gemiddeld over de jaren 2012-2020 bedroeg de nitraatconcentratie in het grondwater in LAAG en STANDAARD, respectievelijk 35 en 44 mg per liter en lagen dus beide systemen onder de norm van 50 mg/L. Het verschil tussen de systemen was niet statistisch significant (**Figuur 3-8**).



**Figuur 3-7.** N-min (kg N/ha) in de laag 0-90 cm op zand (najaar) 2012-2020, met standaardfout aangegeven ( $n=67, 7, 71, 22$  voor de behandelingen respectievelijk), en in de laag 0-60 cm op klei (na oogst) 2016 en 2019 met standaarddeviatie aangegeven ( $n=2$ ). Resultaten van N-min najaar op dalgrond zijn alleen gemeten in de combi-behandeling en worden getoond in **Error! Reference source not found.** Een (\*) staat voor een significant verschil vergeleken met de behandeling zonder compost.



**Figuur 3-8.** Nitraatconcentratie (mg NO<sub>3</sub>/L) in het grondwater op zand met en zonder compost in systeem STANDAARD en LAAG. De meetperiode is 2012-2020. Nitraatuitspoeling op dalgrond wordt weergegeven in **Figuur 3-2**.

Op zand was de N-min najaar voor alle drie bodemlagen iets hoger met aanvoer van compost in de periode 2012-2020, maar de verschillen waren alleen significant in de laag 0-30 cm (**Figuur 3-7**). Een significant hogere nitraatuitspoeling werd gevonden voor de compostbehandeling, een toename van ongeveer 12 mg NO<sub>3</sub> /L (**Figuur 3-8**). In het biologische systeem was hetzelfde patroon te zien als in gangbaar, met alleen een significant effect voor N-min in de laag 0-30 cm. Het effect van compost op N-min najaar en

nitraatuitspoeling toonde een grote variatie tussen jaren en gewassen en werd met de tijd (na ca. 4 jaar) beter zichtbaar. Over het algemeen was het effect meer consequent terug te zien in systeem LAAG.

Op dalgrond zijn geen metingen gedaan aan N-min najaar of nitraat in bovenste grondwater in de compostplots.

Discussie: De aanvoer van dierlijke mest (STANDAARD) geeft een toename in nitraatuitspoeling die niet statistisch significant is (zie ook **Tabel 3-4**). Dit is in lijn met de verwachting aangezien de mineralisatie uit organische mest minder voorspelbaar is waardoor het risico op verliezen buiten de teeltperiode groter is. De resultaten tonen dat het gebruik van compost na veel jaren van toepassing een toename in N-min najaar en nitraatuitspoeling kan veroorzaken. Toen dit getoetst werd over de jaren 2013-2016 werd nog geen tendens tot een toename gevonden (de Haan et al., 2018b). Ander experimenteel onderzoek (Basso & Ritchie, 2005) en modelstudies (van Hospers-Brandt en van der Burgt, 2013; en Groenendijk et al. 2017) geven aan dat bij toepassing van compost de nitraatuitspoeling zal stijgen als in de stikstofbemesting geen rekening wordt gehouden met de mineralisatie uit de compost. In deze proef werd de stikstofbemesting na een aantal jaren verlaagd om rekening te houden met de mineralisatie uit de compost. Mogelijk werd de voorspelde mineralisatie uit compost onderschat met het MINIP model. De uitkomsten van het model zijn afhankelijk van de gemaakte aannames en de parametrisering. De parameters waren niet vastgesteld voor de bodem van de locatie of van de specifieke eigenschappen van de compost. Dit zou de onderschatting kunnen verklaren. Dat de N-min vooral hoger is in de laag 0-30 is te verklaren door de aanwezigheid van de compost in deze laag. Dat de trend sterker lijkt te zijn in systeem LAAG valt mogelijk te verklaren met dat de gewasgroei en opbrengst in dit systeem achterblijft waardoor ook de nutriëntenopname lager zal zijn. Het zou ook kunnen komen door dat er minder organische stof is in de bodem waar de gemineraliseerde stikstof aan kan binden. Uit deze resultaten kan dus geconcludeerd worden dat het bij (langjarige) aanvoer van compost belangrijk is om de mineralisatie uit de compost te monitoren en de stikstofbemesting in mindering te brengen op basis daarvan. Daarnaast is het belangrijk om te zorgen voor opname van stikstof in het najaar door bijvoorbeeld een groenbemester te telen.

Kennislacunes:

Een **Tabel 3-4** ander belangrijk punt is dat het moeilijk blijft om relaties te leggen met nitraatuitspoeling omdat de variabiliteit in de metingen groot is en veel aspecten zoals neerslagoverschot en drainage de metingen beïnvloeden (de Haan et al., 2018b). In 2022 wordt voor deze proef in WP1B een verdiepende analyse gedaan naar het effect van compost op de stikstofdynamiek.

### 3.2.4 Recycling van nutriënten

#### **NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten**

Resultaat: Voor het experiment op klei zijn de nutriëntenbalansen van de compostplots niet geanalyseerd. De verwachting is dat de uitkomsten vergelijkbaar zijn met de uitkomsten op zand- en dalgrond.

Samenvatting resultaten		
Klei - Compost	E	Extrapolatie van resultaten op zand- en dalgrond
Zand – STANDAARD	●	Overschotten en efficiëntie vergelijkbaar met LAAG
Zand – Compost	●	Hogere overschotten, efficiënties nemen af
Dalgrond - Compost	●	N- en P-overschotten nemen toe, K overschot afneemt, efficiënties nemen af

Bij aanvoer van compost is het verschil tussen de totale stikstof en de werkzame stikstof (de stikstof die verwacht wordt opgenomen te worden door de plant binnen één jaar na toediening) aanzienlijk en worden dus de N-overschotten die met N-totaal berekend zijn erg hoog (**Tabel 3-4**). Voor fosfaat en kalium nemen ook de overschotten toe bij aanvoer van compost.



Voor systeem LAAG en STANDAARD op zand daalt het gemiddelde stikstofbodemoverschot als de mineralisatie en vastlegging van stikstof worden meegenomen. Omdat het verschil tussen mineralisatie en vastlegging in LAAG lager is dan in STANDAARD is er bij het op deze manier gecorrigeerde bodemoverschot vrijwel geen verschil meer tussen de systemen (**Tabel 3-4**). Het stikstofbodemoverschot van LAAG was 13 kg N per ha lager dan bij STANDAARD omdat de lagere aanvoer onvoldoende gecompenseerd werd door een lagere afvoer via gewasopbrengsten. Voor fosfaat geldt dat voor beide systemen het gemiddelde overschot negatief is maar niet significant verschillend voor de twee systemen. Beide systemen zijn niet helemaal in evenwicht, wat wel het streven is. Met de negatieve overschotten (tekorten) is handhaving van de fosfaattoestand van de bodem lastig. Wat betreft de kalibalans heeft LAAG een gemiddeld overschot van net iets boven de streefwaarde, maar STANDAARD zit ruim onder de streefwaarde van 40 kg K<sub>2</sub>O per ha door een hogere afvoer. Het kaliumoverschot is niet significant verschillend tussen de systemen (de Haan et al., 2018b). De efficiënties zijn vergelijkbaar met als enige verschil een iets lagere kaliumefficiëntie bij LAAG.

In het systeem op dalgrond is het P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> overschot door de aanvoer van compost volgens verwachting aanzienlijk hoger. Dat van de toegediende P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in compost slechts de helft hoeft te worden meegerekend in de mineralenboekhouding betekent niet dat het niet in de bodem terecht komt. De met de compost aangevoerde K<sub>2</sub>O worden in het bemestingsplan gedeeltelijk gecompenseerd door lagere andere mestgiften. Over het geheel genomen neemt, ten opzichte van de standaard, het kaliumtekort flink af bij toepassing van compost. Bij toepassing van compost is de verwachting dat deze toenemende overschotten vooral in de bodem opgeslagen worden en niet verloren gaan naar water of lucht (de Haan et al., 2020).

**Tabel 3-4.** Het N (totaal)-, P-, en K -bodemoverschot, aandeel N, P, en K uit organische mest en efficiëntie (afvoer/aanvoer) per systeem. Voor systeem LAAG en STANDAARD zijn de getallen uit 2011-2016, behalve het aandeel organische mest dat uit 2017-2019 is, de compostbehandelingen in LAAG en STANDAARD zijn uit 2013-2016 en de getallen op dalgrond uit 2014-2017.

Grondsoort	Behandeling		N	P	K
Zand	LAAG	Overschot (kg/ha)	89	-2	45
		Aandeel organisch (%)	48	-	-
		Efficiëntie (%)	60	107	81
	STANDAARD	Overschot (kg/ha)	102	-3	23
		Aandeel organisch (%)	62	-	-
		Efficiëntie (%)	59	108	90
	LAAG + compost	Overschot (kg/ha)	175	51	59
		Aandeel organisch (%)	71	-	-
		Efficiëntie (%)	41	50	77
		Overschot (kg/ha)	206	35	66
		Aandeel organisch (%)	78%	-	-
		Efficiëntie (%)	40	61	77
Dalgrond	Geen compost	Overschot (kg/ha)	14	-20	-52
		Aandeel organisch (%)	46	100	53
		Efficiëntie (%)	92	138	132
	Met compost	Overschot (kg/ha)	144	43	-12
		Aandeel organisch (%)	57	100	64%
		Efficiëntie (%)	53	62	113

**Discussie:** De verwachting was dat de stikstof gebonden in organische mest en compost langzamer en meer onvoorspelbaar vrijkomt dan de meteen beschikbare minerale meststoffen waardoor het risico op verliezen buiten de teeltperiode toeneemt. Dit zou kunnen leiden tot hogere stikstofoverschotten als de bemesting hier niet op wordt aangepast (Hospers-Brandt en van der Burgt, 2013; Groenendijk et al. 2017). In de praktijk kan vaak gezorgd worden voor weinig periodes zonder gewasgroei en stikstofopname, bijvoorbeeld door het telen van groenbemesters. Hierdoor kan het risico op verlies door ontijdige mineralisatie sterk beperkt worden. Dit wordt alleen deels in de proeven zo uitgevoerd.

Bij alle systeemprouven ligt het aandeel van de N-aanvoer uit organische meststoffen tussen de 40-80%. De keuze voor een lage OS-aanvoer resulteert in een lager aandeel terwijl het toepassen van compost het aandeel verhoogt. De nutriëntenefficiënties gaan als verwacht omlaag door de aanvoer van compost, maar een groot deel van de nutriënten is langdurig gebonden aan de organische stof.

### 3.2.5 Koolstofvastlegging

#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

**Resultaat:** Koolstofvastlegging is in het najaar van 2018 en 2019 gemeten in de drie proeven. Op klei zien we dat compost tot een significant toename in organische stof leidt (**Tabel 3-5**). Hier wordt in 2022 een verdiepende analyse naar gedaan in WP1B. Op zand zien we geen significante verschillen in C-elementair tussen STANDAARD en LAAG, maar wel een significant verhoogd organisch

Samenvatting resultaten		
Klei - Compost	●	Significante toename in organische stof
Zand - STANDAARD	●	Significante toename
Zand - Compost	●	Significante toename
Dalgrond - Compost	●	Niet-significante toename

stofgehalte door compost ten opzichte van STANDAARD. Voor de vergelijking tussen STANDAARD en LAAG tonen meer uitgebreide metingen gedaan aan organische stofgehalte een significant hoger gehalte voor systeem standaard (0,4 procentpunt) (de Haan et al., 2018b). Op dalgrond zien we een niet-significante toename in koolstofvastlegging met compost. Broeikasgasemissies uit de bodem zijn niet gemeten.

**Tabel 3-5.** *Vergelijking koolstofvastlegging (0-30 cm) voor organische stof aanvoer en standaard bemesting op klei, zand- en dalgrond. Significante verschillen met de standaard worden aangeduid met een ster (\*) (Koopmans et al., 2020 en 2019)*

Grondsoort	Maatregel	C-elementair (%)
Klei	Kunstmest	0,9
	Compost 20 ton	1,0*
	Compost 40 ton	1,1*
Zand	LAAG	2,4
	STANDAARD	2,2
	STANDAARD + compost	2,5*
Dalgrond	Standaard bemesting	5,4
	Compost	7,1

**Discussie:** Met regelmatige aanvoer van organische meststoffen zoals dierlijke mest en compost wordt verwacht dat de koolstofvastlegging op langere termijn zal toenemen (Diacono & Montemurro, 2010). Compost, met moeilijker afbreekbare organische stof zou per ton een groter effect moeten hebben op koolstofvastlegging dan een verse organische mest. De resultaten zijn in lijn met deze verwachtingen op klei maar niet op zand- en dalgrond. Voor de vergelijking op zand tussen LAAG en STANDAARD is de omgekeerde relatie gevonden van wat verwacht werd, ook konden geen statistisch significante verschillen aangetoond worden voor de compostplots op zand- en dalgrond. Dat geen significante verschillen in koolstofvastlegging gevonden werd kan liggen aan grote variatie in de metingen, de grootte van de verwachte verschillen en de kwaliteit en hoeveelheid van de compost. Op dalgrond speelt de grote variatie in organische stofgehalten in het proefveld een rol om überhaupt significante verschillen aan te kunnen tonen.

### 3.2.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat:** Er zijn weinig metingen gedaan aan biodiversiteit in de experimenten. In de compostplots op klei is in 2019-2020 de PMN, microbiële-, bacterie- en de schimmelbiomassa gemeten. Hier worden significante toenames gevonden in bacterie- en microbiële biomassa voor 40 ton compost (Hoogmoed et al, 2021) (**Tabel 3-6**).

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Toename microbiële bodemleven
Zand - STANDAARD	L	Op basis van literatuur
Zand- en dalgrond - Compost	L	Op basis van literatuur

**Tabel 3-6.** Indicatoren voor bodemleven bij toepassing van 20 ton of 40 ton compost op kleigrond, ten opzichte van de referentie met alleen kunstmest. Gehaald uit Hoogmoed et al. (2021). Een ster (\*) staat voor een significant verschil met de referentie kunstmest.

	Kunstmest	Compost 20 ton	Compost 40 ton
PMN N (mg N kg <sup>-1</sup> )	25,5	25,5	27,3
Microbiële biomassa (mg C kg <sup>-1</sup> )	89,8	117,3	203,8 *
Bacteriebiomassa (mg C kg <sup>-1</sup> )	42,8	56,5	69,3 *
Schimmelbiomassa (mg C kg <sup>-1</sup> )	28,8	24,8	55,0

**Discussie:** Aanvoer van organische stof via meststoffen draagt bij aan voedsel voor het bodemleven. Dit kan vervolgens ook bovengrondse organismen stimuleren door doorwerking in de voedselweb (Idinger & Kromp, 1997). De beperkte resultaten uit eigen metingen komen overeen met deze verwachtingen, wat te zien is in de toename van de bacterie- en microbiële biomassa. In een grote analyse van meerjarige experimenten in Europa worden de effecten van drijfmest, stalmest en compost op bodemorganismen ten opzichte van alleen kunstmest in kaart gebracht (D'Hose et al., 2018). Stalmest leidde tot een toename in regenwormen van ca. 150%, drijfmest tot een toename van ca. 100% en compost tot een toename van ca. 65%. Alle drie meststoffen veroorzaken significante toenames van ca. 30% in biomassa van micro-organismen zoals bacteriën en schimmels. De verwachting is dat vergelijkbare effecten ook op Nederlandse bodems zullen optreden.

### 3.2.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten				
	Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Mechanisatie	Toepasbaarheid
Klei - Compost	Eenvoudig	Extrapolatie op basis van resultaten voor zand- en dalgrond	Geen aanpassingen, loonwerk	Matig toepasbaar
Zand - STANDAARD		Erg voordelig t.o.v. LAAG		Wordt al toegepast
Zand - Compost		Vooraf positief bij lage OS aanvoer		Matig toepasbaar
Dalgrond - Compost		Licht ongunstig		

#### Kennis en kunde

Gebruik van compost en mest is een gemakkelijke maatregel om toe te passen. De wetgeving vormt hierbij wel een uitdaging en puzzelen om het inpasbaar te maken voor het gehele bedrijf. Ook kan het een uitdaging zijn om compost te vinden van voldoende kwaliteit tegen een goede prijs.

#### Bedrijfsresultaat en arbeid

Op zand wordt gevonden dat het bedrijfsresultaat in systeem STANDAARD bij ieder gewas economisch gunstiger is dan in systeem LAAG met een verschil van €823 per ha op bouwplanniveau (**Tabel 3-7**). Een

deel van dit verschil kwam door de hogere opbrengst in STANDAARD, en een deel vanwege de ontvangen betaling voor dierlijke mest.

Bij aanvoer van compost op zand is het bedrijfsresultaat gemiddeld negatief in systeem LAAG (-€426) en gunstig in STANDAARD (€149). Compost is een relatief dure maatregel van ruim €100 per hectare per jaar. In systeem LAAG zorgt het toedienen van compost voor een verhoging van de opbrengst maar dit compenseert niet de hoge kosten in LAAG. In systeem STANDAARD zorgt compost voor een hoge opbrengstverhoging in prei wat het positieve bedrijfsresultaat veroorzaakt. Op dalgrond heeft het systeem met aanvoer van compost een negatief bedrijfsresultaat van - €43 per hectare ten opzichte van de standaard. Tegenover de hogere kosten van compost, is er ook een vermindering in de kosten voor kunstmest gecombineerd met een hogere opbrengst van de suikerbiet. De laatste twee posten zijn echter niet groot genoeg om de meerkosten voor de compost te compenseren (de Wolf et al., 2019). Over het bedrijfsresultaat bij toepassing van compost op klei zijn geen gegevens beschikbaar. Aangezien de kosten voor compost gelijk zijn en dat de opbrengsten alleen iets toenemen bij de gemiddeld- en laag salderende gewassen wordt verwacht dat het bedrijfsresultaat vergelijkbaar is met dat voor zand- en dalgrond, namelijk een licht negatief bedrijfsresultaat.

Het aanvoeren van compost heeft weinig of geen meerkosten voor arbeid ten opzichte van gebruik van andere meststoffen. Dierlijke mest levert vaak geld op, terwijl mineralenconcentraat, kunstmest en compost geld kosten. Afhankelijk van het gewas kan organische stof aanvoer de opbrengst verhogen. De proef op zand geeft een indicatie dat extra organische stof vooral effect heeft in situaties waarin tientallen jaren te weinig organische stof is aangevoerd. Organische stof aanvoer is dus financieel voordelig als de aanvoer in het bestaande systeem te laag is, waardoor gewassen profiteren van extra organische stofaanvoer. De toename in opbrengst weegt dan op tegen de kosten, zeker als de aanvoer gerealiseerd wordt met dierlijke mest en niet met (duurdere) compost. Het is belangrijk om te beseffen dat de financiële effecten die hier zijn doorgerekend met name de korte termijn effecten van organische stof zijn (de Wolf et al., 2019).

**Tabel 3-7.** Overzicht van het economische bedrijfsresultaat van organische stof maatregelen zand- en dalgrond (de Wolf et al., 2019; Bijker et al., 2022).

Grondsoort	Behandeling	Verskil kosten € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Verskil opbrengsten € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Totaal verschil € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>
Zand	LAAG t.o.v. STANDAARD	- € 213	- € 610	- € 823
	LAAG + compost t.o.v. LAAG	- € 92	€ 490	€ 398
	STANDAARD + compost t.o.v. STANDAARD	- € 108	€ 257	€ 149
Dalgrond	Compost t.o.v. standaard bemesting	- € 121	€ 37	- € 43

### Machines en werktuigen

Aanvoeren van meer organische meststoffen vergt geen aankoop van machines bij de meeste boeren. Uitrijden van organische meststoffen gebeurt overwegend door loonwerkers.

### Toepasbaarheid

Compost is als maatregel eenvoudig te combineren met andere maatregelen. Wel moet gelet worden op de wettelijke beperking voor organische meststoffen en de gebruiksnormen. Door de beperkte beschikbaarheid van grote hoeveelheden compost van goede kwaliteit blijft het toepasbare areaal in Nederland vooralsnog klein.

### 3.3 Organische stofaanvoer: Maaimeststoffen

De toediening van maaimeststoffen (ingekuilde gras-klover) is een maatregel in de proef BASIS in Lelystad. De maaimeststof werd telkens in het voorjaar (april/mei) volvelds toegediend, en vervolgens oppervlakkig ingewerkt met een cultivator. Maaimeststoffen zijn bijna jaarlijks (in 2012-2015, 2017 en 2019) toegediend in twee hoeveelheden bij drie typen grondbewerkingen in combinatie met een groenbemester en met standaard dierlijke bemesting. In dit hoofdstuk wordt alleen gekeken naar maaimeststoffen met ploegen als hoofdgrondbewerking. Er is voor deze maatregel gedeeltelijk gecorrigeerd in de standaard bemesting. Voor de totale aanvoer van EOS en stikstof bij de drie maatregelen, zie Tabel 3-8.

**Tabel 3-8.** Gemiddelde jaarlijkse aanvoer van stikstof en EOS bij de behandelingen. Het stikstofgehalte in de maaimeststoffen varieerde tussen de 13 en 28 g kg<sup>-1</sup>. Ook de toegepaste hoeveelheid maaimeststoffen varieerde tussen de jaren, van 3,7 ton ha<sup>-1</sup> bij een enkele gift tot wel 22,6 ton ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> bij een dubbele gift.

	Maaimeststof		Dierlijke mest		Totaal	
	Aanvoer EOS (kg/ha/jr)	Stikstof aanvoer (kg/ha/jr)	Aanvoer EOS (kg/ha/jr)	Stikstof aanvoer (kg/ha/jr)	kg EOS/ha/jr	kg N/ha/jr
Referentie	0	0	1872	136	1827	136
Enkele gift maaimeststof	2876	224	1259	82	4135	306
Dubbele gift maaimeststof	3949	301	1701	116	5650	417

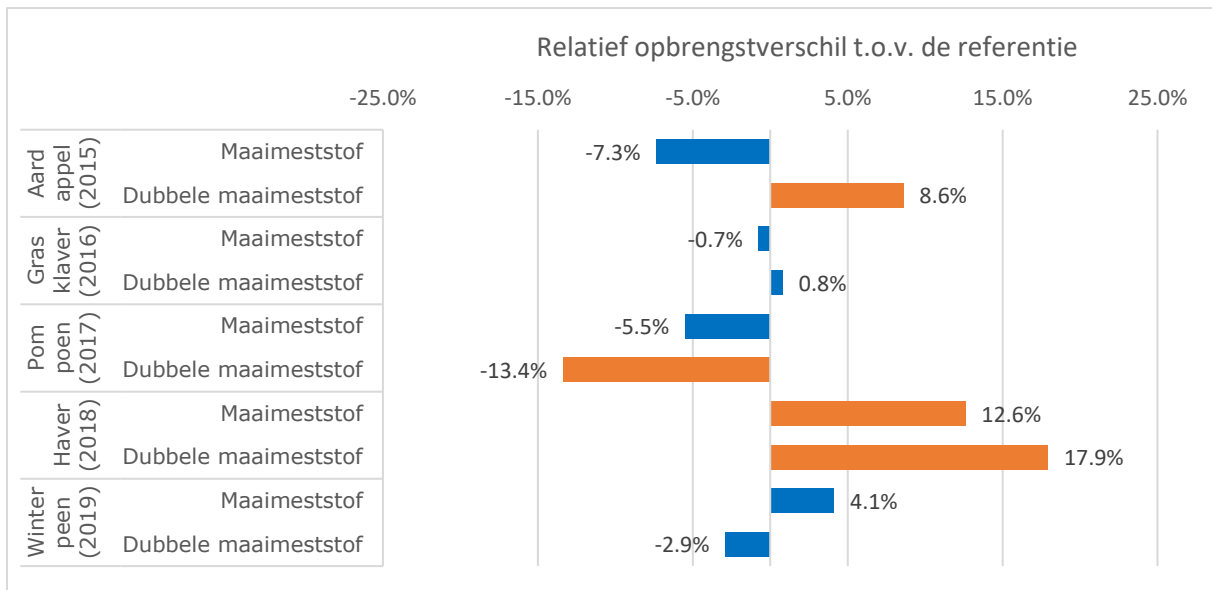
#### 3.3.1 Productiviteit

##### Marktbaar opbrengst en kwaliteit

**Resultaat:** Op basis van vijf teelten kan worden gesteld dat het effect van maaimeststoffen op de gewasopbrengst afhangt van het gewas (zie **Figuur 3-9**). Mogelijk omdat de maaimeststoffen ondiep ingewerkt werden, ondervonden de pompoen en de winterpeen daar hinder van. Daarnaast wordt pompoen later in het seizoen

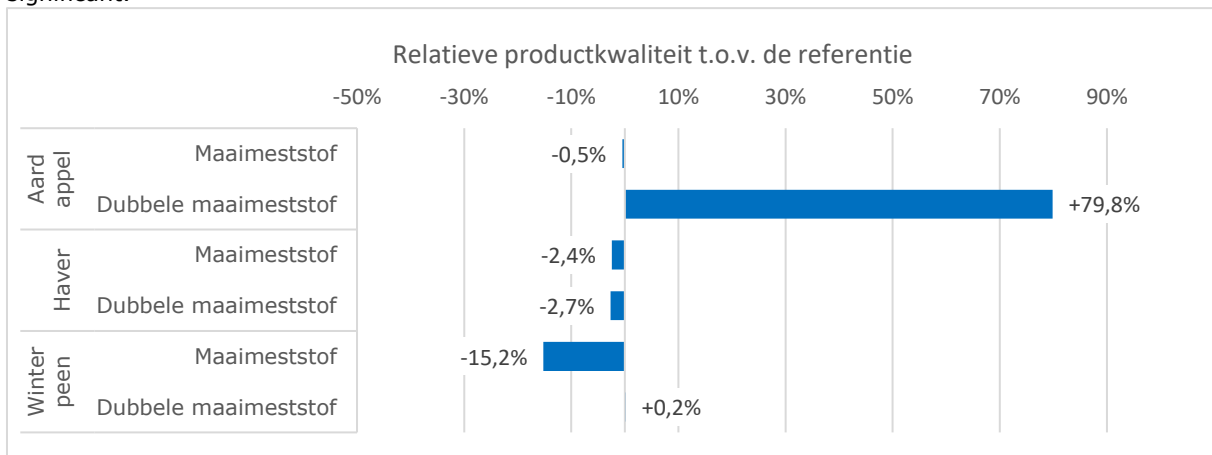
Samenvatting resultaten		
Klei – enkele gift maaimeststof	○	Beperkt effect op de gewasopbrengst
Klei – dubbele gift maaimeststof	○	Significant hogere opbrengsten bij aardappel en graan

gezaaid wanneer het doorgaans droger is, mogelijk zijn de zaden door de toepassing van maaimeststoffen droog komen te liggen. Bij de pompoen leidde de dubbele maaimeststof gift tot significant lagere opbrengsten (-13,4%), voor de peen werd geen significant verschil waargenomen in de opbrengsten. De aardappel en haver profiteerde van de maaimeststoffen, dit komt waarschijnlijk doordat het stikstofbehoefte gewassen zijn. De gewasopbrengst bij aardappel was enkel bij de dubbele gift significant hoger (+8,6%), bij de haver was dat bij beide giften het geval (+12,6% en +17,9%). De grasklover profiteerde niet van de maaimeststof, mogelijk werd de ontwikkeling van klover geremd door de stikstof uit de maaimeststoffen.



**Figuur 3-9.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) ten opzichte van het referentie object, significante verschillen worden in oranje aangegeven.

De productkwaliteit is enkel bekend van de consumptieaardappel, haver en peen (zie **Figuur 3-10**). Op basis van deze drie teelten kan worden afgeleid dat het effect van maaimeststoffen op producteigenschappen beperkt is. Bij de consumptieaardappel is de tarra, uitgedrukt als  $\text{kg ha}^{-1}$ , erg hoog bij de dubbele maaimeststof in vergelijking met de referentie. Uitgedrukt als percentage is de tarra 1,7% van de bruto opbrengst in vergelijking met 1,0% bij de referentie, echter is dit verschil niet statistisch significant.



**Figuur 3-10.** Relatieve verschillen ten opzichte van de referentie, significante verschillen worden in oranje aangegeven. Het kwaliteitskenmerken voor de consumptieaardappel en peen is tarra en van haver het duizendkorrelgewicht (DKG).

**Discussie:** In een proef waar gestreefd werd naar een volledige stikstofvoorziening uit vlinderbloemige maaimeststoffen werd een lagere productiviteit gevonden dan bij de referentiebehandeling (van der Burgt et al., 2021). Hospers-Brands et al. (2015) vonden een hogere opbrengst in de spinazie bij toediening van verschillende maaimeststoffen. Nelissen et al. (2017) vonden na de toediening van maaimeststoffen (als toevoeging op de basisbemesting) een hogere opbrengst in paksoi, aardappel bij één van de twee proeven, en geen opbrengstverhoging bij witte kool, tomaat of spinazie. Hierbij was geen verschil tussen het toepassen van de maaimeststof voor ploegen of licht onderwerken na ploegen. Net als bij Nelissen et al. (2017) vonden wij geen eenduidig effect, en verschillen tussen gewassen. Bij de aardappel werd slechts bij de dubbele maaimeststof een positief effect gevonden. Op de opbrengst van pompoen had de maaimeststof een negatief effect, op de haver een positief effect en bij de gras-klaver en peen werd geen effect gevonden. Het effect was over het algemeen sterker bij een hogere maaimestgift dan bij een lagere. Omdat er slechts data beschikbaar is van één jaar per gewas, zijn

verstreckende conclusies niet te trekken. De aangevoerde stikstof kan consequenties hebben voor de productkwaliteit. Zo kan stikstof het onderwatergewicht verlagen (Nelissen et al., 2017), maar deze is in onze proef niet bepaald.

### 3.3.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

Resultaat en discussie: Met de aanvoer van organische stof is de verwachting dat de bodemstructuur kan veranderen. Specifiek voor maaimeststoffen is weinig bekend. In deze proef is er eenmalig in 2019 gemeten aan de indringingsweerstand, bulkdichtheid, watervasthoudend vermogen, scherpblokkigheid en beworteling, en gerapporteerd door Hoogmoed et al. (2021). Zij vonden een lagere bulkdichtheid bij een dubbele gift maaimeststoffen en een wat hoger watervasthoudend vermogen bij beide giften, bij de overige parameters werd geen verschil gevonden. Aanvullend is in 2021 de bulkdichtheid gemeten. De verwachting is dat de bulkdichtheid lager is bij toepassing van maaimeststoffen. **Tabel 3-9** toont dat er geen significant effect was van de maaimeststoffen op de bulkdichtheid.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen aantoonbaar effect

**Tabel 3-9.** Bulkdichtheid ( $\text{kg m}^{-3}$ ) gemeten in 2021 in de bodemlaag 0-15 en 15-30 cm, een significant verschil met de referentie is weergegeven met een ster (\*).

	0-15 cm	15-30 cm
Referentie	1246	1248
Maaimeststof	1246	1244
Dubbele maaimeststof	1248	1245

### 3.3.3 Waterzuivering

#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

Resultaat en discussie: In verband met dat de maaimeststoffen in de proef in het voorjaar toegediend zijn, is de verwachting dat een groot deel van de stikstof opgenomen wordt door het gewas. De N-min gemeten in het najaar (0-60 cm) is alleen van 2018 bekend en was hoger bij het toepassen bij maaimeststoffen maar niet significant. De gevonden waardes zijn bovendien voor alle drie de objecten erg laag ( $<5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Het risico op uitspoeling is daarom voor alle drie objecten waarschijnlijk beperkt. Dit is overigens lastig op te maken uit deze cijfers, omdat er over de gehele laag 0-60 cm is gemeten, en niet ook onder de bouwvoor (30-60 cm). Bovendien was 2018 een uitzonderlijk jaar waardoor de N-min zowel op het gangbare perceel (zomergerst) als het biologische perceel (haver) erg laag was. Het is daarom lastig om op basis van deze data een effect van maaimeststoffen op het risico op uitspoeling vast te stellen. Voor verdere discussie, zie 3.3.4.

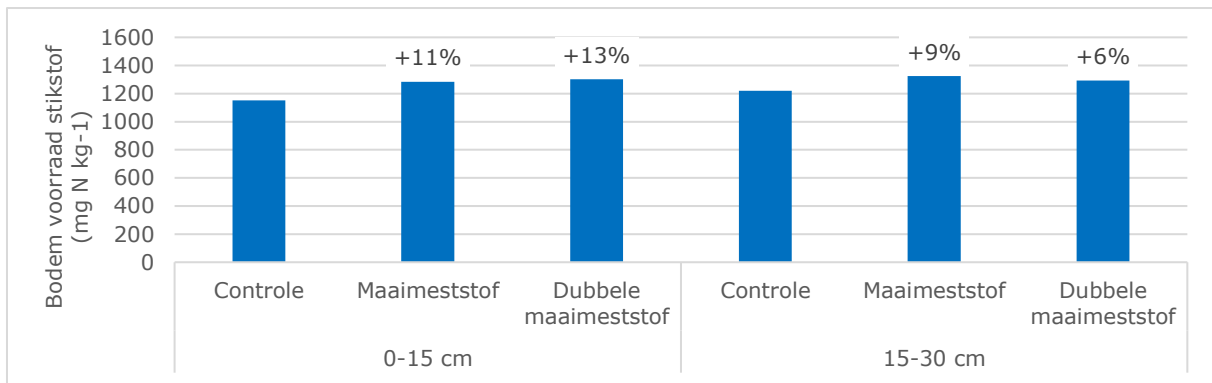
Samenvatting resultaten		
Klei	E	Geen effect bij aanpassing bemesting

### 3.3.4 Recycling van nutriënten

#### Bodemstikstofvoorraad en nutriëntopname

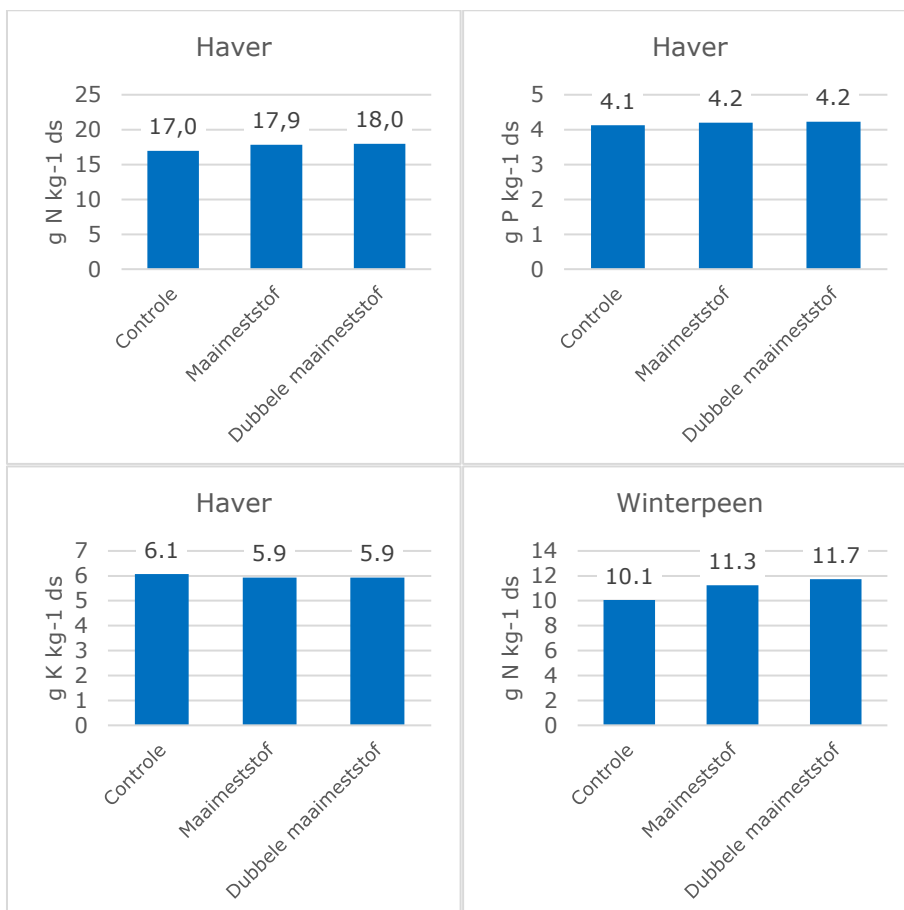
Resultaat: De stikstofbodemvoorraad is enkel gemeten in 2019 door Hoogmoed et al. (2021) en aanvullend in 2021. Aangezien er met de maaimeststoffen meer stikstof werd aangevoerd dan bij de referentie, resulteert dit naar verwachting in een hoger gehalte aan bodemstikstof. Bij de toepassing van maaimeststoffen werd een hoger gehalte aan stikstof gevonden, zowel in 2019 als in 2021 (**Figuur 3-11**). In 2019 was dit zowel voor N-totaal als voor minerale stikstof, beide verschillen waren echter niet significant.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Beperkt effect



**Figuur 3-11.** De stikstofbodemvoorraad van de objecten in de laag 0-15 cm en 15-30 cm in 2021, de labels geven het procentuele verschil met de referentie weer. Deze verschillen zijn niet statistisch getoetst.

De NPK-gewasconcentraties zijn bekend van de haver en van de winterpeen is alleen de stikstofconcentratie bekend. Er werd een hogere stikstofconcentratie gemeten in de haver en de winterpeen bij toepassing van maaimeststoffen (zie **Figuur 3-12**). Uitgedrukt in de totale opname is dit verschil groter. Bij de haver was het verschil ten opzichte van de referentie respectievelijk 17 en 24 kg N ha<sup>-1</sup> bij de toepassing van maaimeststoffen en de dubbele hoeveelheid maaimeststoffen. Bij de winterpeen was dit respectievelijk 24 en 13 kg N ha<sup>-1</sup>. Dit betekent dat de haver en de peen meer stikstof hebben opgenomen wanneer maaimeststoffen zijn toegepast.



**Figuur 3-12.** De NPK inhoud van haver (2018) en N inhoud van winterpeen (2019). Deze verschillen zijn niet statistisch getoetst.

Discussie: Nelissen et al. (2017) hebben in verschillende proeven onderzoek verricht aan de nawerking van stikstof na toediening van maaimeststoffen. In aardappelen werd een hogere stikstofopname gevonden, bij witte kool en spinazie was dat niet het geval. Zij vonden dus enkel een hogere stikstofopname bij het gewas waarbij ook een hogere opbrengst werd gevonden. Wij vonden een hogere



opname van stikstof zowel in de gewassen met een hogere opbrengst (haver) als in het gewas waarbij geen hogere opbrengst werd gevonden (peen). Na de oogst vonden Nelissen et al. (2017) dat de minerale stikstof na de oogst in de laag 0-90 cm significant hoger was na de toediening van de maaimeststoffen. Bij een initieel laag gehalte werd geen significant hogere concentratie gevonden (Nelissen et al., 2017), wat overeenkomt met onze resultaten.

Van der Burgt et al. (2021) vonden in het systeem gebaseerd op volledige stikstofvoorziening door stikstofbinding een lage uitspoeling, de beschikbare stikstof werd namelijk zeer nauw gevolgd door de gevraagde stikstof waardoor N-mineraal laag was en een hoge stikstofefficiëntie werd bereikt. In systemen waarin mest werd aangevoerd, werd een uitspoeling van 44-47 kg N/ha berekend. Het risico op uitspoeling hangt voor een groot samen met het al dan niet corrigeren van de basisbemesting voor de N mineralisatie uit maaimeststoffen. Van der Burgt et al. (2021) berekenen de stikstofmineralisatie uit de maaimeststoffen op 48 kg N/ha. Nelissen et al. (2017) vonden dat er na toepassing van maaimeststoffen er tussen de 0 en 32 kg N/ha meer mineraliseerde dan bij de referentie. Met incubatieproeven stelden zij werkingscoëfficiënten (NWC) vast, bij toediening van ingekuilde grasklaver varieerde deze van 2-8% onder standaard omstandigheden, tot 20-25% bij een hoge dosis (>400 kg N/ha), variërend tussen de 0-30% wanneer toegepast i.c.m. compost of stalmest, en tot 30-48% bij toediening van een verse gras-klaver (Nelissen et al., 2017).

Bovendien werd er geen verschil gevonden in de stikstofwerking van de maaimeststoffen tussen de manier van inwerken. In BASIS werd in de referentie rundvee- en rundveedrijfmest<sup>1</sup> toegepast (NWC=30% en 60%) en bij de maaimeststof objecten rundveemest en ingekuilde grasklaver (NWC=0-30%). In tegenstelling tot bij de proef van Nelissen et al. (2017) werd in de standaard bemesting gedeeltelijk gecorrigeerd voor de maaimeststoffen. Desalniettemin liepen de jaarlijkse verschillen in stikstofaanvoer uiteen tussen 9 en 132 kg N ha<sup>-1</sup>. Ondanks de verschillen in NWC kan daardoor een hogere N-min najaar of uitspoeling ten gevolge van de toediening van maaimeststoffen wel worden verwacht, maar met de beschikbare data is niet voldoende te onderbouwen of (het risico op) uitspoeling hoger was. Het is aannemelijk dat een gedeelte van de extra stikstof opneembaar was voor het gewas (hogere N opname door haver en peen), en gedeeltelijk in de bodem is achtergebleven (hogere N bodemvoorraad in 2021).

### 3.3.5 Koolstofvastlegging

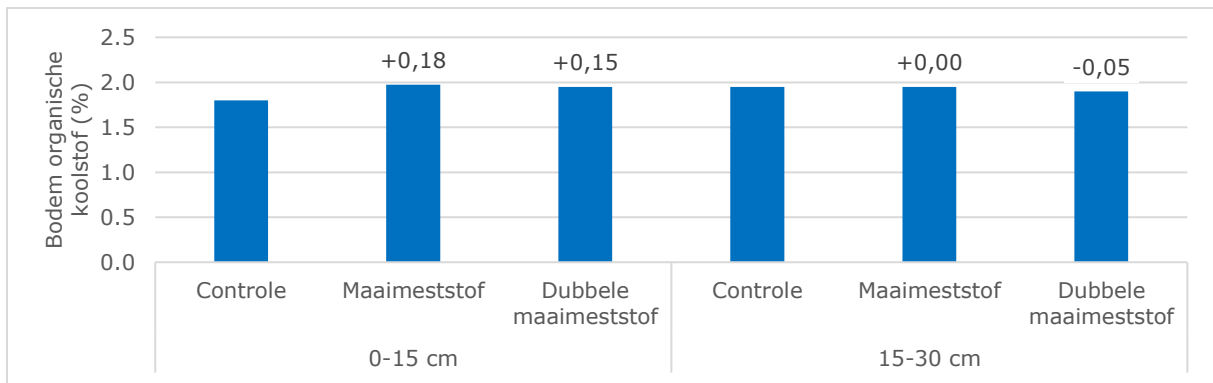
#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

Resultaat: Het koolstofgehalte in de bodem is alleen in 2021 gemeten. In de bovenste bodemlaag wordt een hoger koolstofgehalte gevonden bij de toepassing van maaimeststoffen (zie **Figuur 3-13**). Ook uitgedrukt in de koolstof bodemvoorraad is de vastlegging groter bij de toepassing van maaimeststoffen. Het verschil met de referentie is 3,3 en 2,9 ton C ha<sup>-1</sup> respectievelijk voor het toepassen van de enkele gift van maaimeststof en het toepassen van de dubbele hoeveelheid maaimeststof. De verschillen zijn echter klein en op basis van één jaar kan geen verregaande conclusie worden getrokken.

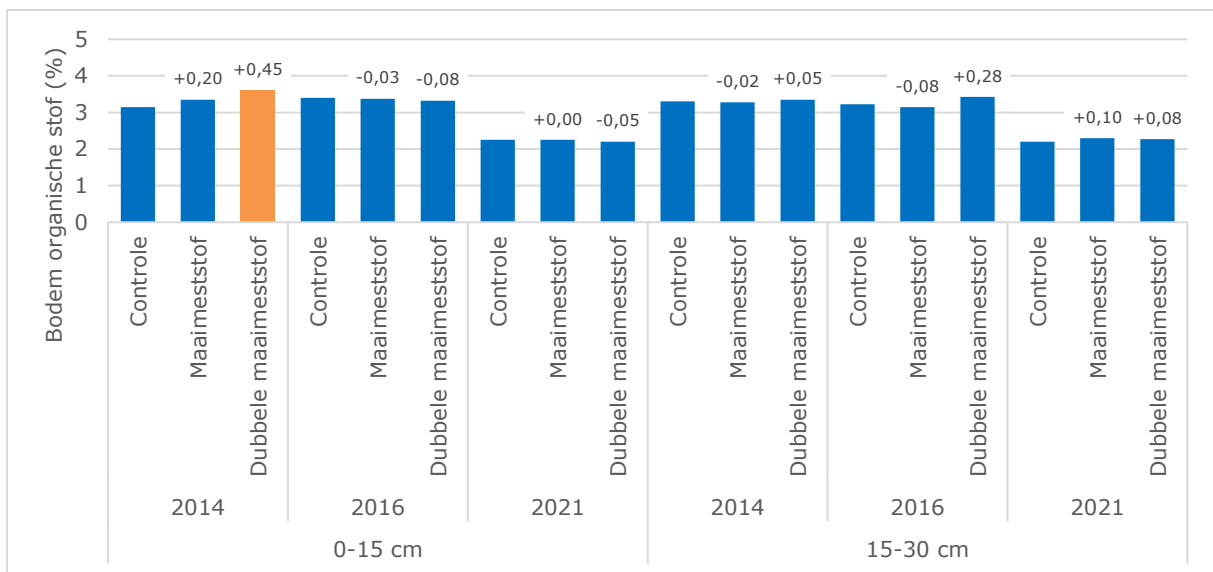
Samenvatting resultaten		
Klei	○	Mogelijk hogere koolstofvoorraad

Het bodemorganisch stofgehalte is gemeten in 2014, 2016 en 2021. **Figuur 3-14** laat zien dat de verschillen in bodem organische stof tussen de objecten erg klein is, in 2021 werd er geen significant hoger bodem organisch stofgehalte gevonden bij toepassing van de maaimeststoffen. Bovendien is het bodem organische stofgehalte afgenomen tussen 2014 en 2021, zowel voor de objecten met als zonder maaimeststoffen.

<sup>1</sup> En in 2013 kippenmest.



**Figuur 3-13.** Gemeten koolstofgehalten in de bodem, de labels geven het absolute verschil met de referentie weer. Deze verschillen zijn niet statistisch getoetst.



**Figuur 3-14.** Gemeten bodem organische stof, de labels geven het absolute verschil met de referentie weer. In oranje worden statistisch significante effecten t.o.v. de referentie aangeduid.

**Discussie:** De verwachting is dat maaimeststoffen het bodem organisch stofgehalte zullen verhogen. Over zes jaar bezien is er met de maaimeststoffen meer organische stof toegediend dan bij de referentie, hiervan mag een zeer beperkt effect op het bodem organisch stofgehalte worden verwacht ( $\sim +0,3$  tot  $0,6$  procentpunt). Eenmalige metingen in 2019 tonen koolstofvastlegging aan voor maaimeststoffen in deze proef (Koopmans et al., 2020). Hoogmoed et al. (2020) hebben ook gemeten aan verschillende organische (kool)stof aspecten in deze proef. Zij vonden bij een dubbele gift maaimeststoffen een significant hoger C-gehalte in de laag 0-30 cm in vergelijking met de referentie (drijfmest), al was het verschil beperkt ( $0,1$  procentpunt). Er werden ook geen verschillen gevonden in het organisch stofgehalte en de HWC tussen het toepassen van maaimeststoffen en de referentie.

### 3.3.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat en discussie:** Er zijn in 2019 metingen verricht aan de bodembiodiversiteit (Hoogmoed et al. 2021). Hoewel de bacterie- en schimmelmassa groter zijn bij toepassing van maaimeststoffen, waren de verschillen met de referentie niet significant. Verder zijn er in de literatuur weinig effecten bekend van het toepassen van maaimeststoffen op de bodembiodiversiteit. Nelissen et al. (2017) vonden na het inwerken van ingekuide grasklaver geen verschil in de microbiële gemeenschapsstructuur (PLFA analyse).

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Verwacht i.v.m. OS aanvoer

### 3.3.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten			
Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Mechanisatie	Toepasbaarheid
Eenvoudig	Naar verwachting negatief	Weinig eisen, loonwerk	Slecht toepasbaar

#### **Kennis en kunde**

Met de inzet van maaimeststoffen is met name in de biologische sector ervaring. De praktische uitvoering verloopt doorgaans goed: het inkuilen, verdelen, inwerken en zaaien levert meestal geen problemen op (Rietberg & ter Berg, 2012). De grasklaver of luzerne dient verhakseld te worden en enkele weken voor het zaaien of poten toegediend te worden. Bovendien is voldoende vocht belangrijk voor de vertering en daarmee de stikstofvoorziening voor het gewas. Mogelijk moet er berekend worden om de stikstofmineralisatie op gang te helpen. Ook moeten onkruiden voldoende aandacht krijgen, om verspreiding van onkruidzaden te voorkomen.

#### **Bedrijfsresultaat**

Er is geen bedrijfseconomische analyse uitgevoerd voor deze maatregel. De grasklaver of luzerne die normaal gesproken wordt afgevoerd naar de veehouderij, kan (deels) worden gebruikt als maaimeststof. Hierdoor valt de verkoop van veevoer weg, daartegenover staat dat er minder stikstofbemesting aangekocht hoeft te worden. Als de maaimeststof geconserveerd moet worden brengt dat kosten met zich mee. Het effect op het uiteindelijke bedrijfsresultaat zal afhangen van de besparing op de stikstofaankoop, het wegvallen van de verkoop van grasklaver/luzerne, de kosten voor het inkuilen/compostereren, en het effect op de opbrengsten (afhankelijk van welke gewassen worden geteeld). Uit bovenstaande analyse kan een effect verwacht worden op de opbrengsten, in het geval van een dubbele gift betekent dat een hogere opbrengst van de aardappel en haver maar een lagere opbrengst van de pompoen, netto zal dit neerkomen op een derving. Van der Burgt et al. (2021) maakten op basis van hun proef een economische analyse en concludeerden dat, in de huidige situatie, de inzet van maaimeststoffen tot een lager bedrijfsrendement leidt.

#### **Mechanisatie**

Er zijn meerdere stappen nodig om zelf maaimeststoffen te telen en toe te dienen bij andere teelten. Er is mechanisatie nodig voor het inkuilen, verdelen en inwerken van de maaimeststof.

#### **Toepasbaarheid**

In de proef zijn de maaimeststoffen toegediend in aanvulling op een (iets aangepaste) standaard bemesting waardoor het systeem aangevuld wordt met andere nutriënten dan stikstof. Als alleen maaimeststoffen gebruikt zouden worden voor de bemesting, is het de verwachting dat de overige nutriënten langzaam zouden afnemen in bodem en gewas. De toepasbaarheid is deels afhankelijk van het bouwplan omdat gewassen verschillend reageren op maaimeststoffen. Mogelijk ondervinden enkele gewassen problemen bij kiemen, hier kan per gewas rekening mee gehouden worden omdat verwacht wordt dat dit effect niet langdurig optreedt. In verband met het negatieve effect op het bedrijfsresultaat is de toepasbaarheid laag.

### 3.4 Bemesting: Ca/Mg methode en steenmeel

Naast de maatregel om extra te bemesten d.m.v. organische stoftoevoer, zijn ook twee verdere bemestingsstrategieën getoetst: 1) de toevoeging van steenmeel; 2) bemesting o.b.v. Ca/Mg-gehalten, volgens de Ca/Mg-methode. Steenmeel werd toegevoegd om de bindingscapaciteit van de grond te verhogen en sporenelementen aan te voeren, de Ca/Mg-methode werd ingezet om bemestingsbeleid te optimaliseren. De twee bemestingsstrategieën werden beiden getest in de Veenkoloniën, bij de proef BKV. De proefopzet wordt uitgebreid omschreven in de Haan et al. (2020) en uit hetzelfde rapport zijn ook deze resultaten gehaald. De objecten 'Ca/Mg' en 'steenmeel' worden vergeleken met de standaard en 'compost'. De details en de bewerkingen per object zijn als volgt:

- **Standaard** – de hoofdgrondbewerking wordt voor de teelt uitgevoerd met een roterende spitmachine met een werkdiepte van 30 cm. Er wordt op reguliere wijze bemest en gerststro wordt afgevoerd. De basis van de bemesting in Standaard bestaat uit varkensdrijfmest, aangevuld met kunstmeststikstof, -fosfaat en -kalium, volgens het gangbare bemestingsadvies voor de geteelde gewassen.
- **Ca/Mg methode** – op basis van bodemanalyse uitgevoerd via Soiltech Solutions en HortiNova wordt een adviesgift berekend voor Ca, Mg en K en toegepast om zo te werken naar de juiste gehalten en de juiste verhoudingen van Ca, Mg en K aan het bodemcomplex. Hierbij wordt zoveel mogelijk met varkensdrijfmest bemest, aangevuld met specifieke nutriënten.
- **Steenmeel** – in het steenmeelobject wordt jaarlijks Zeoliet en Bioliet aan de standaardbemesting toegevoegd, beide in een hoeveelheid van 3 ton/ha. Steenmeel bevat mineralen en sporenelementen en zou de bodem verbeteren door het optimaliseren van processen die leiden tot een betere bodemkwaliteit.
- **Compost** – in het compostobject is de aanvoer van effectieve organische stof twee keer zo hoog als in Standaard, namelijk ca. 3 ton ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in compostobject t.o.v. ca. 1,5 ton ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in in Standaard. In de jaren 2014 t/m 2016 kreeg ieder gewas 15 ton/ha groencompost. Met ingang van 2017 is de strategie 20 ton ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in groencompost voor alleen de twee aardappelteelten en de suikerbieten. De zomergerst krijgt geen compost meer voorafgaande aan de teelt omdat dit object daardoor later afrijpt dan de andere objecten waardoor het oogsttijdstip suboptimaal wordt. Op bedrijfsniveau blijft door deze aanpassing van de bemestingsstrategie de effectieve organische stofaanvoer gelijk. Dit object wordt ook uitvoerig geanalyseerd in hoofdstuk 3.2.

#### 3.4.1 Productiviteit

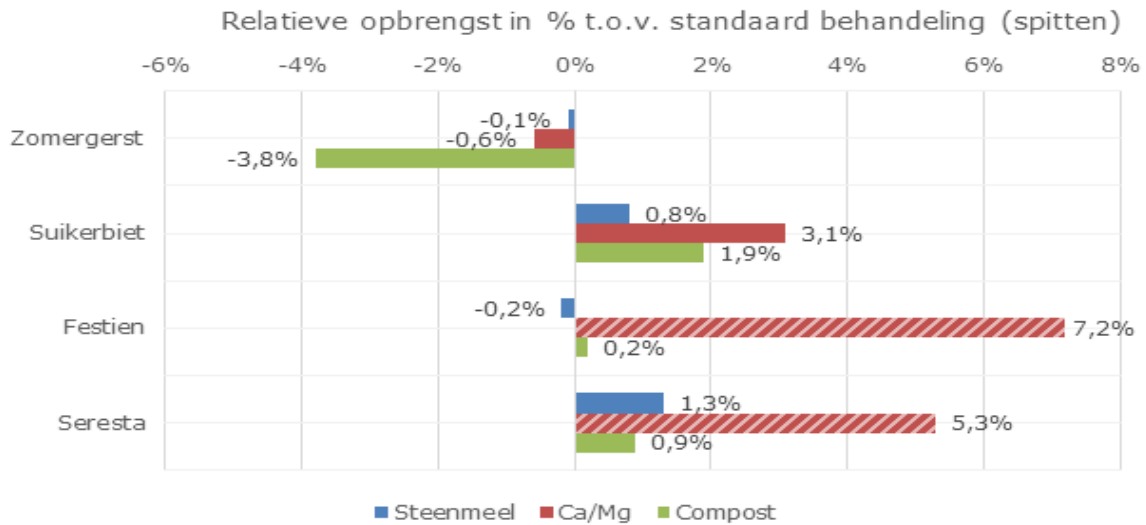
##### Marktbaar opbrengst en kwaliteit

**Resultaat:** **Error! Reference source not found.** **Figuur 3-15** geeft de relatieve opbrengsten van steenmeel, Ca/Mg, en compost, t.o.v. de standaardbewerking (spitten). Uit de resultaten komt naar voren dat de Ca/Mg methode de gewasopbrengsten van de aardappelen significant verhoogt. Verder gaat het onderwatergewicht van de aardappelen omlaag (negatief) en worden de gerstkorrels kleiner met een hoger eiwitgehalte. De steenmeel objecten laten geen statistisch significant verschil zien over de verschillende gewassen, en vallen in sommige gevallen zelfs lager uit dan de standaardbewerking (o.a. bij de zomergerst). Steenmeel laat ook geen effecten zien op de productkwaliteit.

Samenvatting resultaten		
Steenmeel	●	Geen effect
Ca/Mg methode	●	Verhoogde opbrengsten, variabele effecten op productkwaliteit

**Discussie:** In tegenstelling tot de verwachtingen laten de resultaten geen positief effect zien van de aanvoer van steenmeel op de gewasopbrengsten. Het gematigde klimaat in Nederland bemoeilijkt de verwerking van steenmeel, waardoor voedingsstoffen langzamer beschikbaar komen. Een positief effect van steenmeel op gewasopbrengst wordt in de literatuur voornamelijk gevonden in tropische omgevingen, terwijl de resultaten in gematigde klimaten tegenstrijdiger zijn (Winiwarter & Blum, 2008; Swoboda, 2016). Voor de Ca/Mg methode waren de resultaten in lijn met de verwachting: de opbrengsten zijn hoger dan bij de

referentie. In 2022 wordt in WP1B een verdiepende analyse gedaan naar het effect van de Ca/Mg methode op de opbrengst.



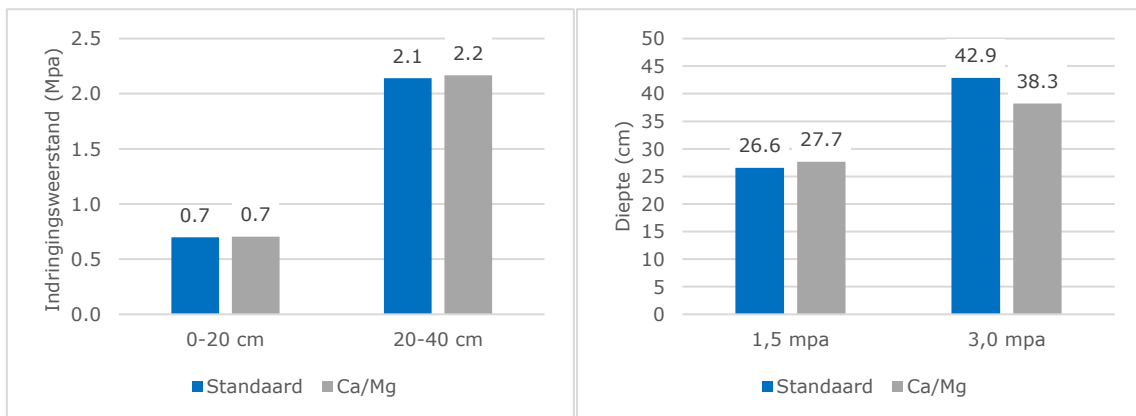
**Figuur 3-15.** De relatieve marktbaar opbrengst van zomergerst, suikerbiet, en aardappel (Festien & Seresta) in 2014-2017 voor de objecten steenmeel (blauw), Ca/Mg-methode(rood), en compost (groen) t.o.v. de standaardbehandeling. Statistisch significante verschillen zijn weergegeven d.m.v. gestreepte balken.

### 3.4.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

**Resultaat:** De uitkomsten voor steenmeel en de Ca/Mg methode op de indringingsweerstand worden gepresenteerd in **Figuur 3-16** en tonen geen significante effecten van de maatregel.

Samenvatting resultaten		
Steenmeel	E	Expert judgement
Ca/Mg methode	○	Indringingsweerstand onveranderd



**Figuur 3-16.** Indringingsweerstand op twee dieptes (links) en de diepte waarop wortelbelemmering (1,5 MPa) en -remming (3,0 MPa) wordt veroorzaakt (rechts), data van twee momenten in 2021.

**Discussie:** Metingen aan het bodemvocht zijn ook uitgevoerd, de verwerking daarvan volgt. De verwachting is dat ook steenmeel geen effect zal hebben op de bodemfysische indicatoren.

### 3.4.3 Waterzuivering

#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

Resultaat en discussie: Binnen de proef zijn er geen analyses uitgevoerd op steenmeel of Ca/Mg objecten met betrekking tot waterzuivering (zoals N-min metingen of nitraatuitspoeling), en kunnen er dus geen conclusies worden getrokken. De verwachting is dat steenmeel en de Ca/Mg methode een beperkt effect hebben op nutriëntenverliezen.

Samenvatting resultaten		
Steenmeel	E	Expert judgement
Ca/Mg methode	E	Expert judgement

### 3.4.4 Recycling van nutriënten

#### NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten

Resultaat: De nutriëntenbalansen van de vier bemestingsstrategieën zijn weergegeven in **Tabel 3-10**. Bij zowel Ca/Mg als bij steenmeel is er een goede balans tussen aan- en afvoer van stikstof. Bij Ca/Mg is de afvoer van Na<sub>2</sub>O erg gering (3-4 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>), waardoor er in alle gevallen sprake is van een groot overschot. Daarnaast zijn er flinke overschotten in K<sub>2</sub>O, CaO, MgO en SO<sub>3</sub>. Dit is in lijn met de verwachting omdat bij de Ca/Mg methode, CaO en MgO overmatig worden toegediend alsmede K<sub>2</sub>O en SO<sub>3</sub>.

Samenvatting resultaten		
Steenmeel	●	Hogere overschotten van nutriënten
Ca/Mg methode		

Voor steenmeel ligt de afvoer over de hele linie iets lager dan bij Standaard, wat de ietwat lagere opbrengsten volgt. De aanvoer van P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO en CaO ligt aanzienlijk hoger dan bij Standaard, resulterend in (nagenoeg) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> evenwicht en overschotten voor de andere drie nutriënten. Er lijkt geen sprake van onevenredige toe- of afname van de nutriëntenopname door de gewassen.

**Tabel 3-10.** Nutriëntenbalansen van de standaard, compost, Ca/Mg, en steenmeel behandelingen in de proef op dalgrond. Nwz is werkzame N. Depositie is in deze nutriëntenbalans niet meegenomen, al zou deze hoogstwaarschijnlijk gelijk zijn over de percelen.

		N totaal	Nwz	P2O5	K2O	MgO	CaO	Na2O	SO3
Standaard	Aanvoer mest divers	185	169	52	165	32	78	74	65
	Afvoer product	171	171	72	217	27	17	4	35
	Overschot	14	-2	-20	-52	5	61	69	30
Compost	Aanvoer mest divers	308	181	115	198	75	87	102	79
	Afvoer product	164	164	71	210	26	11	4	35
	Overschot	144	17	43	-12	49	76	98	44
Ca/Mg	Aanvoer mest divers	185	169	52	329	376	501	74	349
	Afvoer product	166	166	68	247	28	10	3	38
	Overschot	19	3	-16	82	349	490	70	311
Steenmeel	Aanvoer mest divers	185	169	64	331	180	264	185	64
	Afvoer product	164	164	68	208	26	10	4	35
	Overschot	21	5	-5	123	154	254	181	29

Discussie: Zowel de toepassing van steenmeel als de Ca/Mg leidt tot hogere overschotten in K<sub>2</sub>O, CaO en MgO. Ca/Mg leidt ook naar overschotten in SO<sub>3</sub>. De maatregelen leiden niet tot overschotten in de mobiele macronutriënten waardoor milieukundige effecten van deze maatregelen niet verwacht zijn. Tegelijkertijd is het ongewenst om inputs aan te voeren die niet of nauwelijks gebruikt worden, in verband met de impact en kosten van het productieproces, transport en toediening van de input. Hierdoor worden beide maatregelen als negatief beoordeeld als het gaat om recycling van nutriënten.

### 3.4.5 Koolstofvastlegging

#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

**Resultaat:** Directe bodemkoolstof is voor deze maatregelen niet gemeten en er wordt geen extra organische stof aangevoerd met deze maatregelen, behalve evt. een kleine toename in organische stof aanvoer via de verhoogde opbrengsten in de aardappelen bij toepassing van de Ca/Mg-methode.

Samenvatting resultaten		
Steenmeel	E	Geen extra OS aanvoer
Ca/Mg methode	E	Beperkt extra OS aanvoer

**Discussie:** De verwachting is dat steenmeel en de Ca/Mg-methode geen effect heeft op de koolstofvastlegging. In de literatuur is echter te vinden dat de Ca/Mg-methode zou kunnen zorgen voor een tragere afbraak (Hildebrand & Shack-Kirchner, 2000).

### 3.4.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat:** Er is niet gemeten aan biodiversiteit in deze proef en ook zijn er geen visuele waarnemingen gedaan naar biodiversiteit.

Samenvatting resultaten		
Steenmeel	E	Geen extra OS aanvoer
Ca/Mg methode		

**Discussie:** De verwachting is dat de effecten op biodiversiteit erg klein zijn omdat er geen sprake is van extra organische stof aanvoer. Wel kan een andere samenstelling verwacht worden van het bodemleven bij de Ca/Mg-methode.

### 3.4.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten				
	Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Arbeid en mechanisatie	Toepasbaarheid
Steenmeel	Eenvoudig	Niet rendabel	Eenvoudig, loonwerk	Slecht toepasbaar
Ca/Mg methode	Eenvoudig	Niet rendabel	Eenvoudig	

De toevoeging van **steenmeel** heeft na meer dan 5 jaar van toepassing niet tot hogere opbrengsten geleid. Vanwege de hoge kosten van deze toevoeging (€340 per ha) is gebruik van steenmeel economisch gezien niet rendabel (**Tabel 3-11**). Ook als er later een economisch effect optreedt is de maatregel vanwege de hoge investeringskosten voor agrarische ondernemers onaantrekkelijk. De toevoeging van steenmeel in deze proef is daarom stopgezet in 2018. Opbrengstmetingen zullen uitgevoerd blijven worden om mogelijke lange termijn (door)werking in kaart te brengen. Bij hogere opbrengsten of productinhoud van sporenelementen in de toekomst, als gevolg van doorwerking, is het raadzaam om dan een analyse op de algemene bodemkwaliteit uit te voeren om te zien hoe dit effect tot stand komt.

**Tabel 3-11.** Overzicht van het economische bedrijfsresultaat van de Ca/Mg methode en aanvoer van steenmeel op dalgrond (Wolf et al., 2019; Bijker et al., 2022). De referentie is de standaard bemesting.

Grondsoort	Behandeling	Verschil kosten € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Verschil opbrengsten € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Totaal verschil € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>
Dalgrond	Ca/Mg methode	- € 287	€ 24	- € 263
Dalgrond	Steenmeel	-€ 340	€ 19	- € 321

De **Ca/Mg-methode** is een bekende methode, en de applicatie van deze maatregel is ongecompliceerd met een kunstmest- of kalkstrooier. Binnen de proef BKV waren de meerkosten t.o.v. de standaardbemesting €287 per ha. Bij de Festien en Seresta aardappelen leidde de Ca/Mg methode tot

significant hogere productopbrengsten, €56 en €49 per ha, respectievelijk. Gemiddeld over alle gewassen levert het toedienen van Ca/Mg een gemiddelde bruto-opbrengst verhoging van € 24/ha. Gemiddeld heeft de toediening van Ca/Mg daarmee een negatief effect op het gemiddelde nettoresultaat van € -263 per ha. Deze methode komt in deze hoedanigheid dus niet tot een economisch rendabel resultaat waardoor de toepasbaarheid beperkt blijft (Wolf et al., 2019).

## 3.5 Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen

### Beschrijving maatregelen

De resultaten in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op zandgrond (BGZ) en de proef op dalgrond (BKV). De proef op zandgrond wordt uitgebreid beschreven in Korthals et al., (2014). Vanaf 2017 zijn de maatregelen biofumigatie, cultivit en de combinatie-maatregel met tagetes, chitine en compost vervangen door respectievelijk een groenbemestermengsel, haarmeel en de combinatie-maatregel anaerobe grondontsmetting, compost en haarmeel. Daarom worden de resultaten in twee delen gepresenteerd, eerst tot en met 2016 en daarna vanaf 2017 tot en met 2020. De maatregelen werden toegepast in 2006, 2009 en in 2017 en dus niet jaarlijks. In deze analyse is alleen gekeken naar *Good practice* in het gangbare systeem. De getoetste maatregelen vanuit BGZ zijn:

**Zwarte braak:** Niets doen (referentie).

**Compost:** 50 ton/ha natuurcompost. Het doel is om de organische stof voorraad te verhogen en de bodemstructuur en het leefmilieu van het bodemleven te verbeteren. De effecten van deze maatregel op productiviteit zijn ook in hoofdstuk 3.2 opgenomen.

**Chitine:** 20 ton/ha garnalenafval (chitine). Bij de omzetting van dit materiaal ontstaan diverse afbraakproducten o.a. ammoniak, die kunnen leiden tot directe doding van bodemorganismen. Daarnaast stimuleert de chitine o.a. in de bodem aanwezige (chitinolytische) micro-organismen die (pathogene) schimmels kunnen onderdrukken door hun celwand af te breken.

**Anaerobe grondontsmetting (ASD):** 40 ton/ha vers gras in de bouwvoor inwerken en gedurende 8 weken afdekken met plastic. Bij de omzetting van het organische materiaal ontstaan verschillende afbraakproducten en wordt zuurstof onttrokken waardoor het bodemleven sterk veranderd en onder andere diverse bodempathogenen worden gedood.

**Natte grondontsmetting (Monam):** In het gangbare systeem is een natte grondontsmetting met 300 L/ha **Monam** uitgevoerd. Bij deze behandeling sterft normaal gesproken 60-80% van het bodemleven (incl. plant-parasitaire nematoden) af. Het middel Monam is vanaf 30 juni 2022 niet meer toegestaan.

**Cultivit:** Een vorm van fysische grondontsmetting waarbij een machine de bodem omspit en verhit. Deze wordt in zuidelijke landen toegepast maar wordt nu niet meer verkocht in Nederland. De behandeling is alleen in 2006 uitgevoerd en is in 2017 vervangen door haarmeel.

**Biofumigatie:** Het telen van *Brassica juncea* en vervolgens inwerken. Bij de afbraak van koolgewassen worden glucosinolaten omgezet in isothiocyanaten, die giftig zijn en qua werking veel lijken op het natte grondontsmettingsmiddel Monam. Biofumigatie is in 2006 en 2009 uitgevoerd en is in 2017 vervangen door een groenbemestermengsel. Zie ook: Visser & Van Os, 2016.

**Grasklaver:** Half juli is een mengsel van witte klaver en Engels raaigras (1:5 kg, 40 kg/ha) gezaaid. De maatregel is toegepast als groenbemester na graan (2006, 2009) en na conservenerwten (2018). Grasklaver kan waardplant zijn voor bodemorganismen, zoals plant-parasitaire aaltjes of (mycorrhiza)schimmels. Door de effecten op aaltjes worden door deze maatregel negatieve effecten op opbrengsten verwacht. De stikstofvastlegging van de klaver zou echter een positief effect kunnen hebben op de opbrengst.

**Tagetes:** Vanaf half juli tot en met half november zijn afrikaantjes (*Tagetes patula*) geteeld, als groenbemester tegen het wortellesie-aaltje *P. penetrans*.

**Combinatie-maatregel tagetes, chitine en compost (Combi-TCC):** Na de teelt van tagetes is 20 ton/ha chitine en 50 ton/ha compost toegediend. Deze maatregel is alleen in 2006 en 2009 uitgevoerd en is vanaf 2017 vervangen door de combinatie van ASD, haarmeel en compost.



**Haar-meel:** 7 ton/ha haar-meel. Het bodemleven reageert op de toevoeging van deze reststroom. In biotoetsen kon de bodemweerbaarheid worden verhoogd door haar-meel aan de grond toe te voegen.

**Groenbemestermengsel:** Vanaf half juli werd een divers mengsel van groenbemers gezaaid. Een mengsel met 14 componenten, met o.a. grasachtigen, klavers en verschillende cruciferen. Verondersteld wordt dat een mengsel van groenbemers een groter effect heeft op structuur, vastleggen en beschikbaar komen van nutriënten en organische stof aanvoer dan een enkelvoudige groenbemester. De teelt is verder vergelijkbaar met een monocultuur groenbemester.

**Combinatie-maatregel anaerobe grondontsmetting, compost en haar-meel (Combi-AHC):** Na een anaerobe grondontsmetting is eind september haar-meel (7 ton/ha) en compost (50 ton/ha) toegediend. Dit is een dure oplossing voor bodemgezondheid maar het is voorstelbaar dat de verschillende maatregelen elkaar aanvullen, waardoor er een beter (of duurzamer) effect is op de bodemgezondheid.

Op dalgrond is er, met oog op het bestrijden van plant-parasitaire aaltjes, een **Tagetes** object aangelegd. De proefopzet van BKZ is uitgebreid beschreven in de Haan et al. (2020). In het Tagetesobject wordt afrikaantjes (*Tagetes patula*) gezaaid in plaats van zomergerst én Japanse haver. De Tagetes wordt gezaaid na half mei wanneer het risico op nachtvorst minimaal is en op een moment met goede condities (vochtigheid, temperatuur), zodat het gewas goed kan groeien. De resultaten van het object Tagetes (1:4) worden vergeleken met de referentie ('Standaard-spitten').

### 3.5.1 Productiviteit

#### Markt-bare opbrengst en kwaliteit

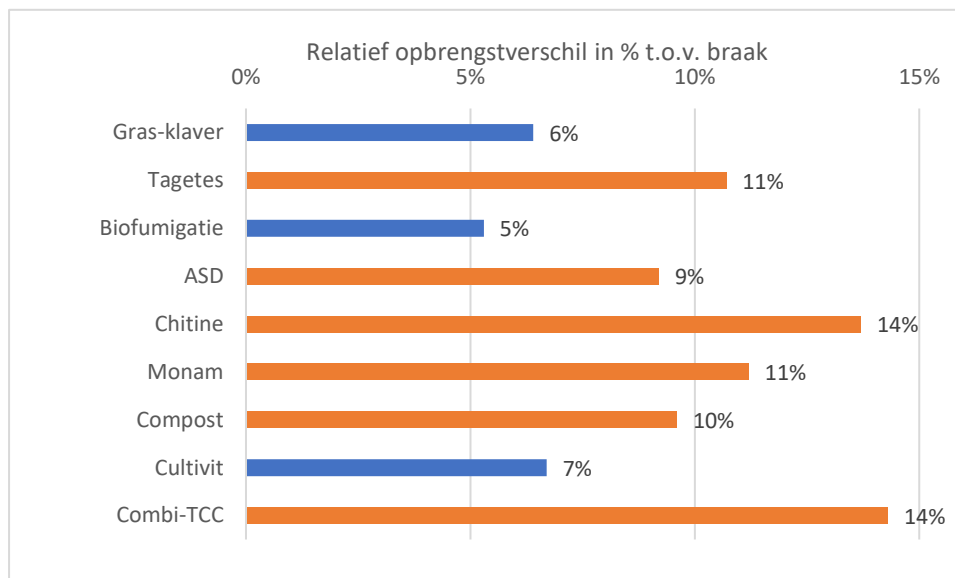
Resultaat en discussie 2007-2014: De verwachting is dat alle maatregelen in deze proef de gewasopbrengst en -kwaliteit kunnen verbeteren door met name het bodemleven te stimuleren of door bodempathogenen te onderdrukken of te bestrijden. Alle bodemmaatregelen bleken een positief effect te hebben op de opbrengsten, waarbij tagetes, ASD, chitine, Monam, compost en met name de combinatie de grootste significante opbrengstverbetering gaven (**Figuur 3-17 en Figuur 3-18**). Cultivit en biofumigatie zijn geen effectieve bodemmaatregelen tegen bodempathogenen gebleken.

De effecten op opbrengsten van de maatregelen met significante effecten lijken te komen door veranderingen in de bodemvruchtbaarheid (stikstof-nalevering vanuit de organische producten) en veranderingen in het bodemleven, met name in de *P.*

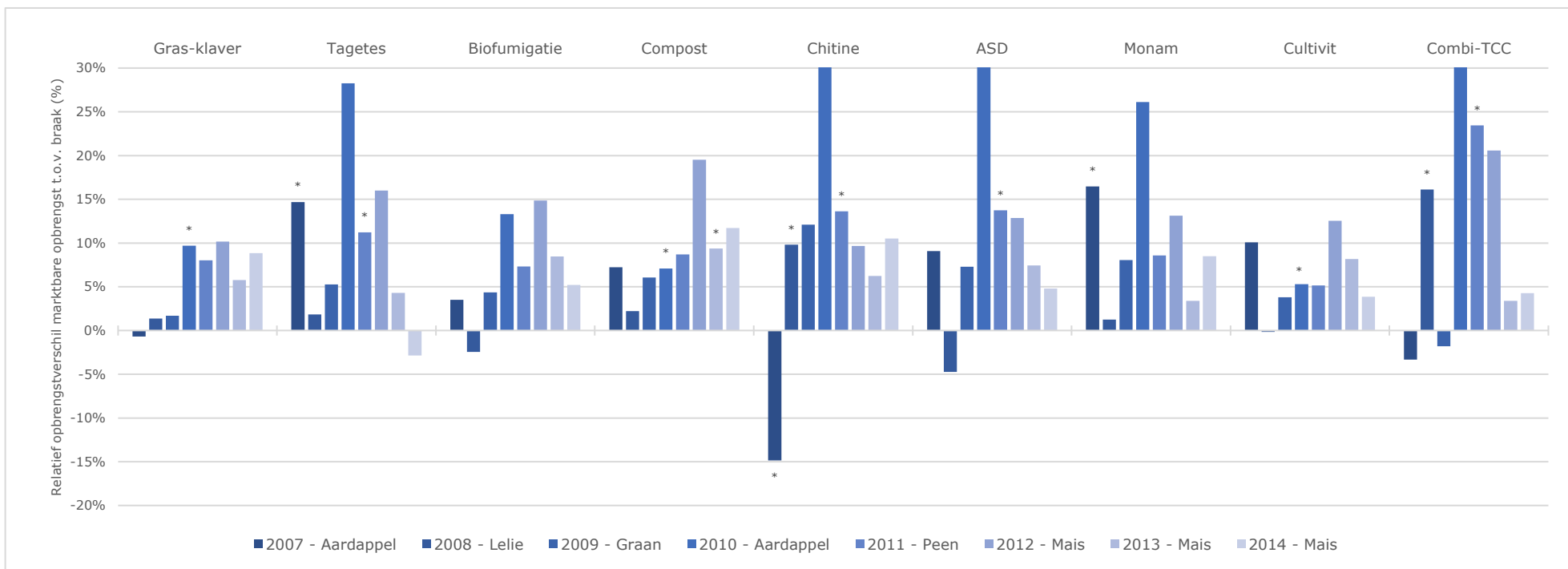
Samenvatting resultaten	
Compost	● Verbeterde opbrengsten door effect op bodemvruchtbaarheid
Chitine	● Significante opbrengstverbetering door effect op aaltjes, bodemschimmels en bemestingseffect
Anaerobe grondontsmetting (ASD)	● Significante opbrengstverbetering door effect op aaltjes, bodemschimmels en bemestingseffect
Monam	● Significante opbrengstverbetering door effect op aaltjes en bodemschimmels
Cultivit	● Geen significant effect
Biofumigatie	● Geen significant effect, aaltjesvermeerdering
Grasklaver	● Geen effect op opbrengst, aaltjesvermeerdering
Zand - Tagetes	● Significante opbrengstverbetering door effect op <i>P. penetrans</i> en bemestingseffect
Combinatie - TCC	● Significante opbrengstverbetering door effect op aaltjes, bodemschimmels en bemesting
Haar-meel	● Significante opbrengstverbetering door bemestingseffect
Groenbemestermengsel	● Geen effect op opbrengst, aaltjesvermeerdering
Combinatie - AHC	● Significante opbrengstverbetering door effect op aaltjes en bemesting
Dalgrond - Tagetes	● Significante opbrengstverbetering door effect op aaltjes

*penetrans* en *V. dahliae* populatie (Korthals et al., 2014). Chitine, combi-TCC en ASD dringen namelijk de *V. dahliae* populatie terug. De veranderingen in de hoeveelheid plant-parasitaire aaltjes en *P. penetrans* zijn in **Figuur 3-19** te zien. In 2007 komt de opbrengstvermindering in chitine en de combi-TCC door een fytotoxisch effect van chitine (dat in het voorjaar, relatief kort voorafgaand aan het poten van de aardappelen is toegepast) en in cultivit mogelijk door de intensieve verstoreng van de bodem. Het is onbekend of chitine toegepast in kleinere hoeveelheden dan toegepast in deze proef, ook interessant is voor grondontsmetting.

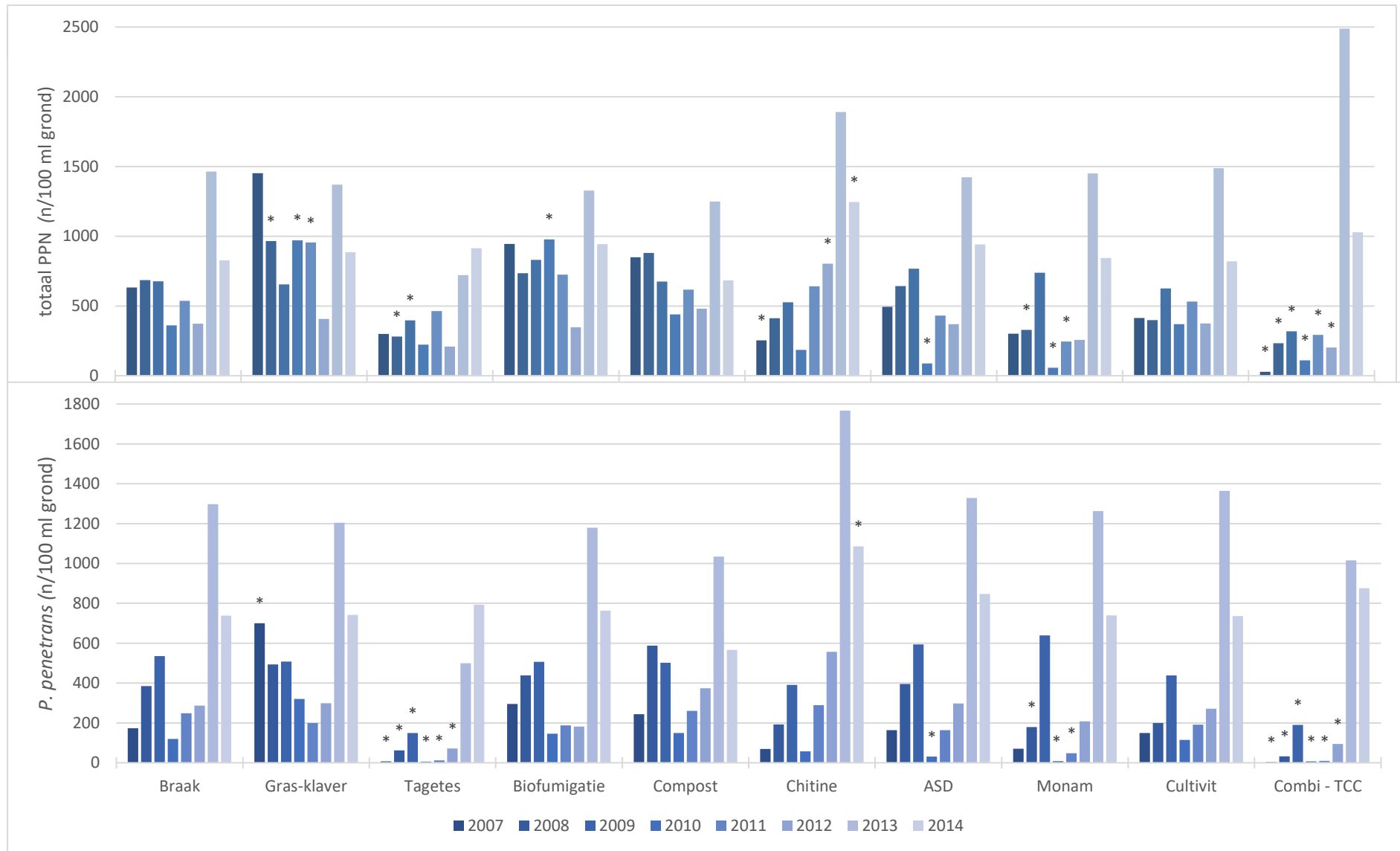
**Resultaat en discussie 2017-2019:** De aaltjesbesmetting was na 2017 lager dan in de periode voorheen. Daarom zien we in deze periode minder effect van de maatregelen op aaltjesbesmetting en de opbrengsten. Bij alle maatregelen ligt de opbrengst hoger dan bij braak maar alleen voor de combi-AHC en haarmeel resulteert dit in opbrengsten die significant hoger zijn dan de referentie (Error! Reference source not found.). In 2019 en 2020 was de totale hoeveelheid plant-parasitaire aaltjes significant lager dan de braak voor de combi-ASD en Monam terwijl grasklaver en het groenbemestermengsel significant meer plant-parasitaire aaltjes had (**Figuur 3-21**). Hetzelfde patroon is te zien voor *P. penetrans* (**Figuur 3-22**). Er is in deze periode ook geen effect geweest van de maatregelen op de kwaliteit van de producten. In 2022 wordt in WP1B een verdiepende analyse gedaan naar de lange termijn effecten van de bodemaatregelen op de bodempathogenen. Hierin wordt gekeken naar de hele periode en worden ook recente metingen meegenomen.



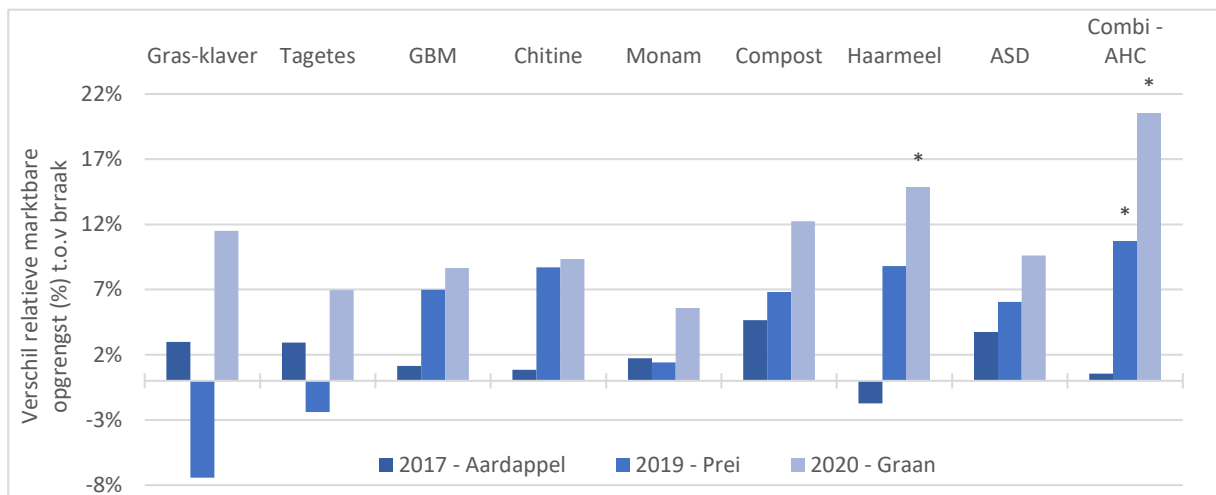
**Figuur 3-17.** Relatief (marktbaar) opbrengstverschil van de maatregelen ten opzichte van braak. Het betreft metingen uit 2007-2012 over verschillende gewassen. Een oranje kleur staat voor een significant verschil met de braak.



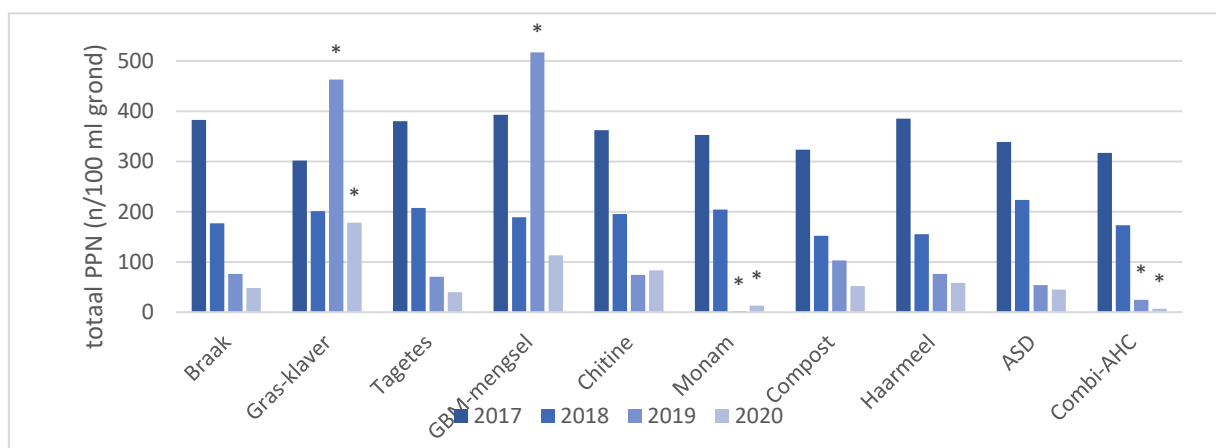
**Figuur 3-18.** Relatief (marktbaar) opbrengstverschil van de maatregelen t.o.v. braak. Het betreft metingen uit 2007-2014 in het gangbare systeem. Een ster (\*) staat voor een significant verschil met de braak. Bij graan gaat het hier over de totale biomassa en niet over de marktbaar opbrengst.



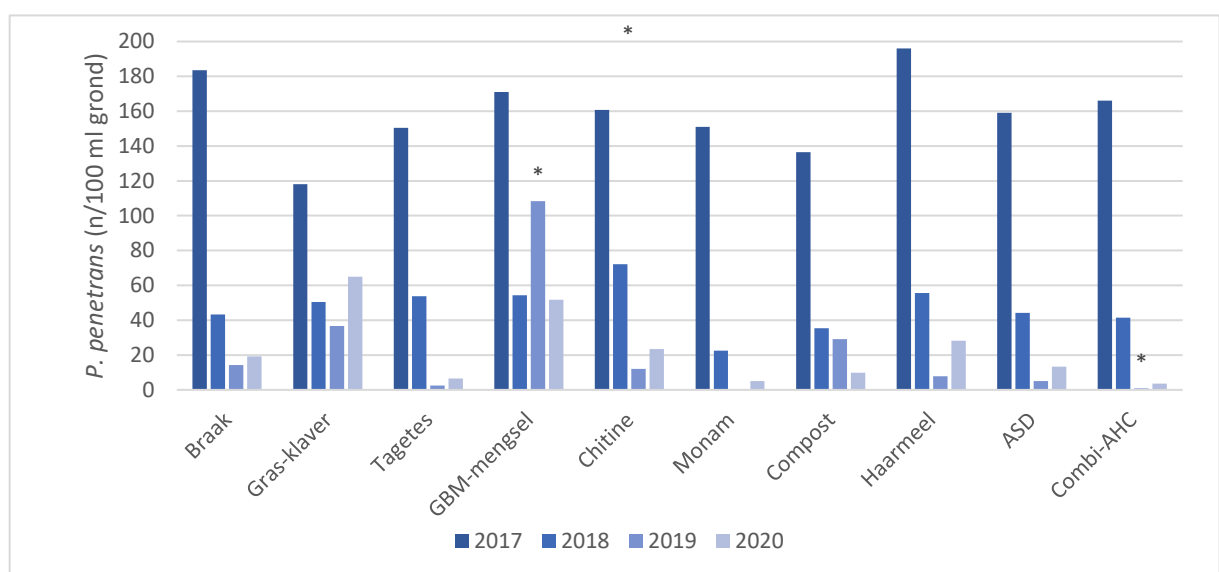
**Figuur 3-19.** Verloop van 1. totale hoeveelheid plant-parasitaire aaltjes en 2. *P. penetrans* 2007-2014. Een ster (\*) staat voor een significant verschil met braak.



**Figuur 3-20.** Verschil in relatieve (marktbaar) gewasopbrengsten ten opzichte van braak in de jaren 2017-2019. Een ster (\*) staat voor een statistisch significant verschil met de braak.

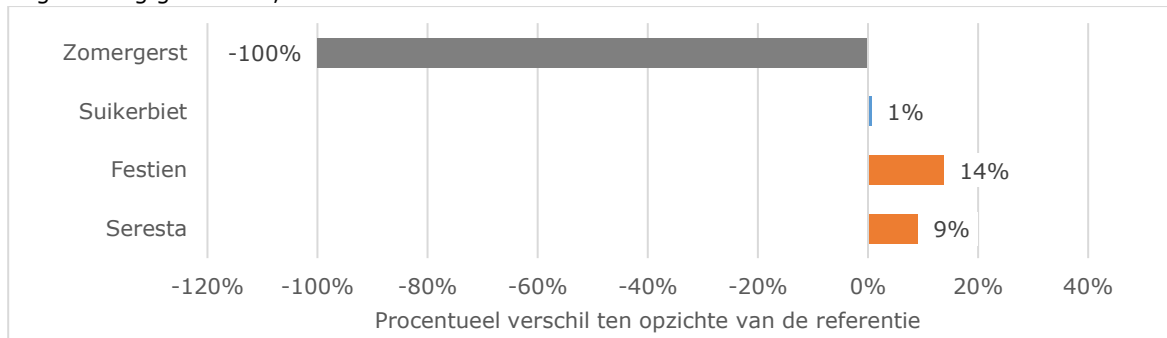


**Figuur 3-21.** Verloop van totaal PPN 2017-2020. Een ster (\*) staat voor een significant verschil met de braak.



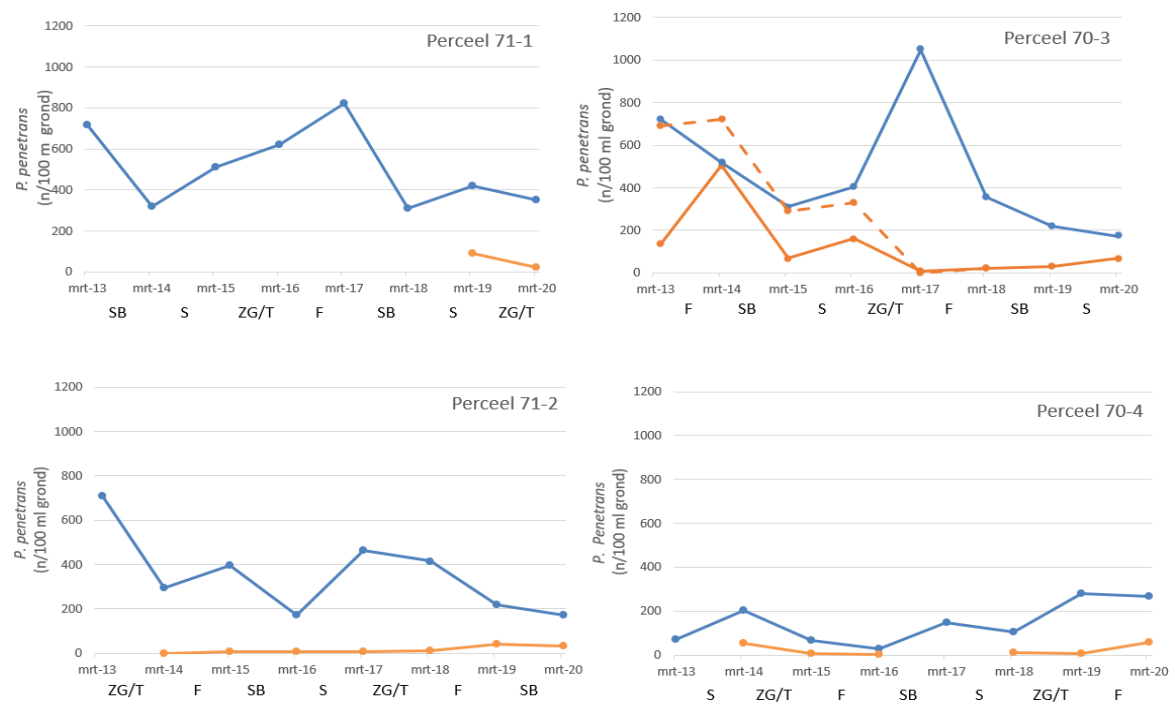
**Figuur 3-22.** Verloop van P.penetrans 2017-2020. Een ster (\*) staat voor een significant verschil met de braak.

**Resultaat en discussie dalgrond (2014-2019):** Figuur 3-23 laat de opbrengsten zien van het Tagetes (1:4) object over de periode 2014-2019. In de figuur wordt direct zichtbaar dat de teelt van zomergerst wegvalt t.b.v. de Tagetes. Daarnaast laten de resultaten een positief effect zien van de teelt van Tagetes op de opbrengst van de aardappelrassen Festien en Seresta. Voor Festien en Seresta was dit verschil significant, voor de suikerbiet niet. De manier waarop de Tagetes in de vruchtwisseling is opgenomen heeft ertoe geleid dat het van 2013 tot 2016 geduurd heeft voordat op ieder perceel Tagetes heeft gestaan. Omdat Festien direct na de Tagetes is geteeld, heeft de teelt van Tagetes een effect gehad op de opbrengst van Festien in alle jaren (2014 t/m 2019) (+14%). Seresta staat pas vanaf 2016 voor het eerst op een perceel waar Tagetes is geteeld (de Tagetes uit 2013), dus alleen in 2016-2019 is er mogelijk sprake van een effect van de Tagetes op de opbrengst van Seresta (+9%). Wanneer alleen de opbrengsten van de Seresta van 2016-2019 worden geanalyseerd, is het verschil tussen wel of geen Tagetes nog groter: 15,8%.



**Figuur 3-23.** Gewasopbrengsten van het object Tagetes (1:4) ten opzichte van de referentie in de periode 2014-2019. Zomergerst wordt vervangen met tagetes, waardoor deze opbrengst helemaal wegvalt. Wanneer alleen de opbrengsten van de Seresta van 2016-2019 worden geanalyseerd, is het verschil tussen wel of geen Tagetes nog groter: 15,8%. Een oranje kleur staat voor een significant verschil met de referentie.

Het effect van Tagetes op de gewasopbrengsten is toe te schrijven aan de populatie *P. penetrans*. Figuur 3-24 laat zien dat de populatie aanzienlijk lager is bij het Tagetes-object dan bij de standaard.



**Figuur 3-24.** Besmetting met *P. penetrans* bij het object Tagetes 1:4 (oranje) ten opzichte van de referentie (blauw) in de periode 2014-2019. SB staat voor suikerbiet, S voor Seresta, ZG/T voor zomergerst of Tagetes, F voor Festien. De stippelijijn geeft de besmetting zonder uitbijter weer.

### 3.5.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

Er is niet gemeten aan bodemfysische

eigenschappen in deze proeven omdat de maatregelen niet gekozen zijn om deze eigenschappen te beïnvloeden. De effecten op deze bodemfunctie van gras-klover, biofumigatie, groenbemestermengsel en tagetes zullen vergelijkbaar zijn met die uitgewerkt voor de maatregel groenbemester in hoofdstuk 3.6 of kleiner, omdat deze maatregelen alleen eens in de drie jaar

toegepast werden in deze proef. Het effect van compost wordt beschreven in hoofdstuk 3.5.53.2. Voor de overige maatregelen zijn de effecten op deze bodemfunctie onbekend en is de verwachting dat er geen groot effect is.

Samenvatting resultaten		
Compost	E	Extrapolatie o.b.v. effect compost
Chitine	E	<i>Expert judgement</i>
Anaerobe grondontsmetting (ASD)	E	<i>Expert judgement</i>
Monam	E	<i>Expert judgement</i>
Cultivit	E	Structuurschade
Biofumigatie	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Grasklover	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Zand - Tagetes	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - TCC	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Haar-meel	E	<i>Expert judgement</i>
Groenbemestermengsel	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - AHC	E	Extrapolatie o.b.v. effect compost
Dalgrond - Tagetes	E	Referentie is graanteelt, geen effect verwacht

### 3.5.3 Waterzuivering

#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

Er zijn te weinig metingen gedaan aan N-min in deze proeven om daar conclusies uit te kunnen trekken voor waterzuivering. De effecten van gras-klover, biofumigatie, groenbemestermengsel en tagetes zullen vergelijkbaar zijn met die uitgewerkt voor de maatregel groenbemester in hoofdstuk 3.6. Het effect van compost wordt beschreven in hoofdstuk 3.2. Voor de overige maatregelen zijn de effecten op N-min nog

onbekend maar wordt een verwachting weergegeven in de tabel. Chitine bevat zeer veel stikstof wat de toegepaste hoeveelheid zou kunnen beperken als het meegeteld wordt als meststof of bodemverbeteraar in de wetgeving. Met een aanvoer van 20 ton chitine met een stikstofconcentratie van 7% waarvan 80% mineraliseert komt ca. 1000 kg stikstof vrij in een jaar.

Samenvatting resultaten		
Compost	E	Extrapolatie o.b.v. effect compost
Chitine	E	<i>Expert judgement (20 ton aanvoer)</i>
Anaerobe grondontsmetting (ASD)	E	Mogelijk N-uitspoeling door grote aanvoer
Monam	E	Mogelijk komt stikstof vrij van het stilgelegde bodemleven
Cultivit	E	Mogelijk komt stikstof vrij van het stilgelegde bodemleven
Biofumigatie	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Grasklover	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Zand - Tagetes	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - TCC	E	<i>Expert judgement o.b.v. effect chitine</i>
Haar-meel	E	Mogelijk komt meer stikstof vrij
Groenbemestermengsel	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - AHC	E	Op basis van ASD (en klein deel compost en haar-meel)
Dalgrond - Tagetes	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters

### 3.5.4 Recycling van nutriënten

#### NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten

##### Resultaat en discussie:

Er zijn in de bodemgezondheidsproef geen metingen gedaan van nutriëntenconcentraties in het gewas om conclusies voor nutriëntenbalansen te kunnen trekken. De effecten op deze bodemfunctie van gras-klover, biofumigatie, groenbemestermengsel en tagetes zullen vergelijkbaar zijn met die uitgewerkt voor maatregel groenbemester in hoofdstuk 3.6. Het effect van compost wordt beschreven in hoofdstuk 3.2. Voor de overige maatregelen zijn de effecten onbekend.

Samenvatting resultaten		
Compost	E	Extrapolatie o.b.v. effect compost
Chitine	E	<i>Expert judgement</i> (20 ton aanvoer)
Anaerobe grondontsmetting (ASD)	E	<i>Expert judgement</i> (weliswaar eenmalig)
Monam	E	<i>Expert judgement</i>
Cultivit	E	<i>Expert judgement</i>
Biofumigatie	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Grasklover	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Zand - Tagetes	E	Extrapolatie o.b.v. effect tagetes dalgrond
Combinatie - TCC	E	<i>Expert judgement</i> o.b.v. effect chitine
Haar-meel	E	Klein beetje extra stikstof in haar-meel
Groenbemestermengsel	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - AHC	E	Op basis van ASD (en klein deel compost en haar-meel)
Dalgrond - Tagetes	●	Geen groot negatief effect

Bij de teelt van tagetes op dalgrond nemen de overschotten van stikstof en fosfaat iets toe (**Tabel 3-12**). Dit komt omdat de afvoer via een productiegewas (gerst) wegvalt. Op kalium is er geen effect omdat de afvoer via het aardappelgewas ook toeneemt.

**Tabel 3-12.** Nutriëntenoverschotten bij de teelt van tagetes ten opzichte van de referentie in de proef op dalgrond.

Behandeling	N totaal	N werkzaam	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Standaard	14	-2	-20	-52
Tagetes	36	20	-11	-52

### 3.5.5 Koolstofvastlegging

#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

In de proef op dalgrond is er geen koolstofvastlegging gemeten bij tagetes. Gezien de tagetes in totaal minder biomassa ontwikkelt dan zomergerst gevolgd door Japanse haver wordt een neutraal effect verwacht. In de proef op zand is niet rechtstreeks gemeten aan koolstofvastlegging, maar wel aan HWC. Deze labiele fractie verandert sneller dan de veel grotere hoeveelheid totaal koolstof, en kan worden beschouwd als een

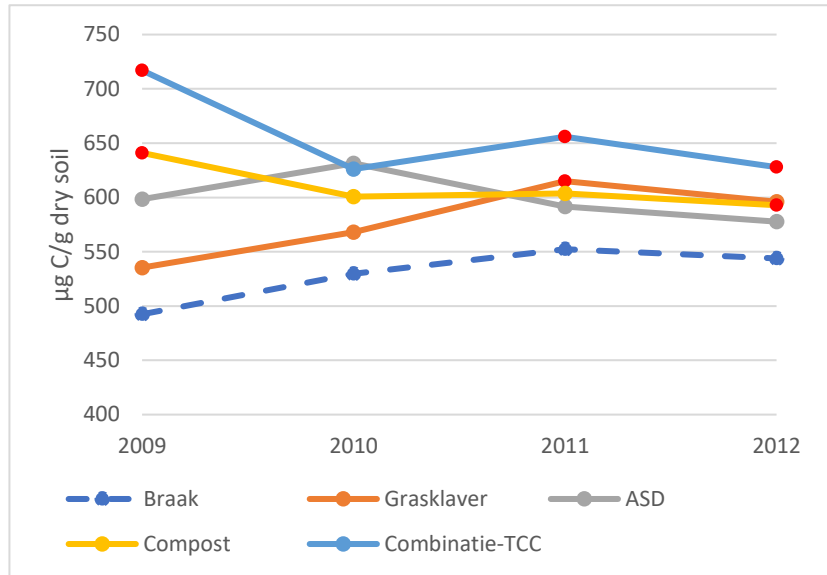
Samenvatting resultaten		
Compost	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Chitine	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Anaerobe grondontsmetting(ASD)	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Monam	○	Geen effect
Cultivit	E	Geen OS aanvoer, evt. effect op afbraak
Biofumigatie	E	Vergelijkbaar met andere groenbemesters
Grasklover	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Zand - Tagetes	○	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - TCC	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Haar-meel	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Groenbemestermengsel	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Combinatie - AHC	○	Indicatie van hogere koolstofvastlegging
Dalgrond - Tagetes	E	Referentie is graanteelt, geen effect verwacht

vroege indicator van een verandering in de hoeveelheid organische stof in de bodem (Van den Elsen et al, 2019). We kunnen daarom geen harde conclusies trekken of deze maatregelen bijdragen aan koolstofvastlegging. Deze maatregelen worden ook niet jaarlijks toegepast waardoor het effect naar verwachting minder zal zijn.



**Resultaat en discussie 2007-2014:** In de bodemgezondheidsproef is in vier maatregelen gemeten aan de HWC in 2009 (**Figuur 3-25**). Bij alle vier maatregelen worden significant hogere HWC-waardes gevonden door het organisch materiaal wat toegevoegd werd aan de bodem. De combinatie maatregel, waarin totaal meer organische stof aangevoerd werd, met een variatie in de kwaliteit (tagetes-resten, compost en chitine) had dan ook de hoogste HWC. Overige trends van de HWC komen waarschijnlijk door het bouwplan en de hoeveelheid gewasresten en (de kwaliteit van de) mest. Drie jaar na toediening was het effect door de combi-TCC en compost nog significant.

**Resultaat en discussie 2017-2020:** In 2019 hadden ASD, groenbemestermengsel, chitine, compost, haarmeel en combi-AHC een significant hogere HWC dan de referentie (**Tabel 3-13**). In 2020 is in drie behandelingen gemeten en hebben zowel compost als de combinatie-AHC een hogere HWC dan de referentie (**Figuur 3-26**). Ook bij deze metingen is het duidelijk dat met maatregelen waarbij veel organische stof aangevoerd wordt, er een toename is van HWC. Verschillen tussen groenbemesters zijn mogelijk te verklaren door verschillen in de kwaliteit van de organische stof. Het zou bijvoorbeeld kunnen dat in

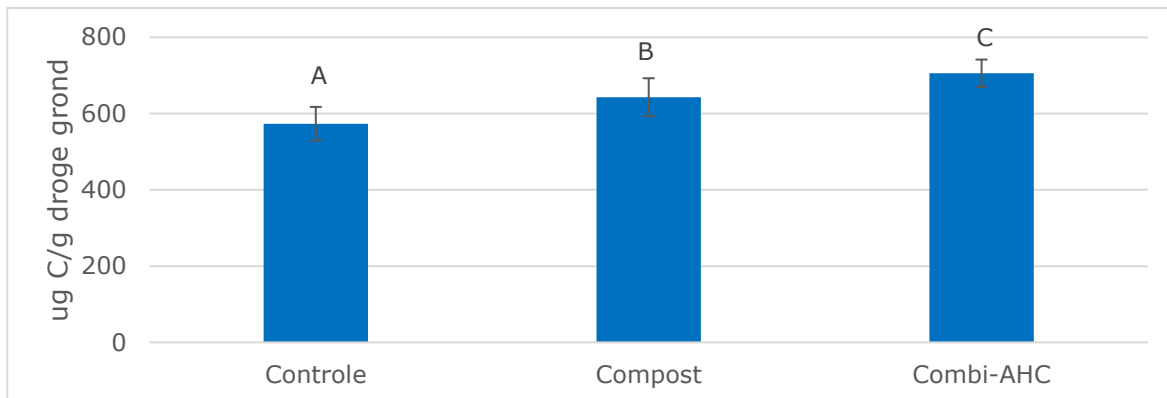


**Figuur 3-25.** Het verloop van de HWC in 2009-2012 in vier behandelingen. Een rode stip staat voor een significant verschil met de referentie (braak). De HWC is gemeten in november, behalve in 2011 wanneer de HWC in maart gemeten is.

het groenbemestermengsel organisch materiaal zat wat minder makkelijk afbreekt dan in de tagetes en grasklaver. De droge stof productie van de groenbemester speelt ook mee.

**Tabel 3-13.** HWC bij toepassing van de grondontsmettingsmaatregelen, gemeten in maart 2019. Een ster (\*) staat voor een significant effect. LSD=62.1.

Maatregel	µg C/g droge grond	Significantie
Braak	523	
Gras-klaver	578	
Tagetes	572	
Groenbemestermengsel	628	*
ASD	678	*
Chitine	653	*
Monam	548	
Compost	631	*
Haarmeel	599	*
Combi-AHC	751	*



**Figuur 3-26.** De gemiddelde HWC, gemeten in maart 2020, en standaardfout bij toepassing van compost en de combinatie-AHC, vergeleken met de referentie. Verschillende letters staan voor significante verschillen.

### 3.5.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

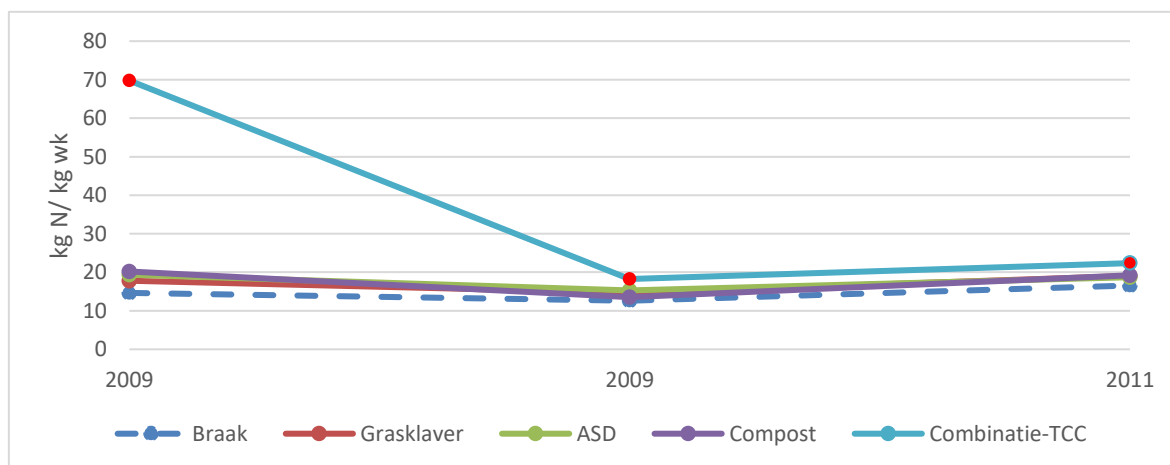
In de proef op dalgrond is niet gemeten aan biodiversiteit in de tagetes.

#### Resultaat en discussie 2007-2014:

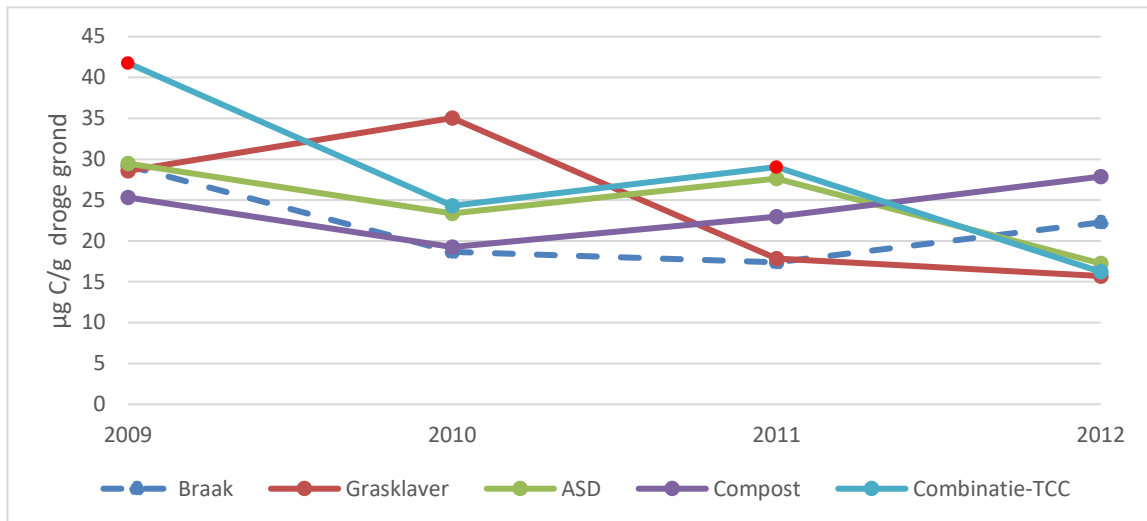
In de proef op zand is er alleen onderzoek gedaan naar het microbiële bodemleven. PMN is een indicator voor de totale microbiële biomassa waarbij hogere waarden wijzen op meer bodemleven en hogere bodemvruchtbaarheid (Van den Elsen et al., 2019). Metingen tonen significant hogere PMN en bacterie- en schimmelbiomassa voor de combinatie-TCC, maar niet voor grasklaver, ASD en compost (Figuur 3-27,

Samenvatting resultaten		
Compost	○	Meer bodem micro-organismen
Chitine	E	Effect verwacht, maar neutraal
Anaerobe grondontsmetting(ASD)	○	Geen eenduidig effect gemeten
Monam	○	Minder nematoden
Cultivit		
Biofumigatie	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Grasklaver	○	Geen eenduidig effect gemeten
Zand - Tagetes	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters
Combinatie - TCC	○	Meer bodem micro-organismen
Haarmeel	E	Effect verwacht, maar neutraal
Groenbemestermengsel	E	Gewasdiversiteit
Combinatie - AHC	○	Meer bodem micro-organismen
Dalgrond - Tagetes	E	Extrapolatie o.b.v. effect groenbemesters

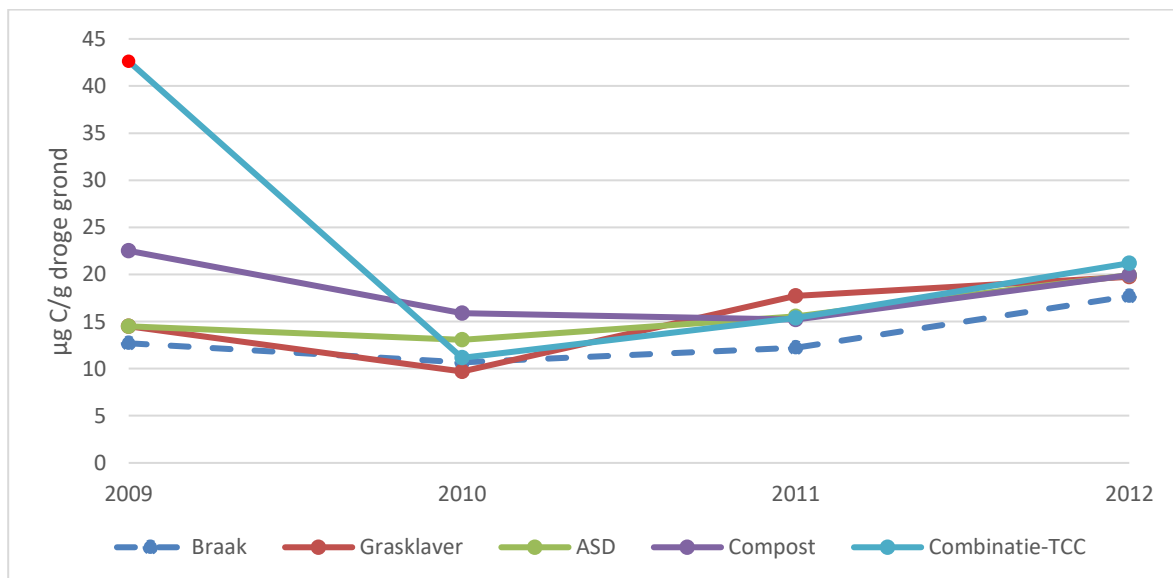
Figuur 3-27, maar niet voor grasklaver, ASD en compost (Figuur 3-27,



**Figuur 3-27.** Het verloop van de PMN in 2009-2011 in vier behandelingen. Een rode stip staat voor een significant verschil met de braak. De PMN is gemeten in november behalve in 2011 wanneer die in maart gemeten is.



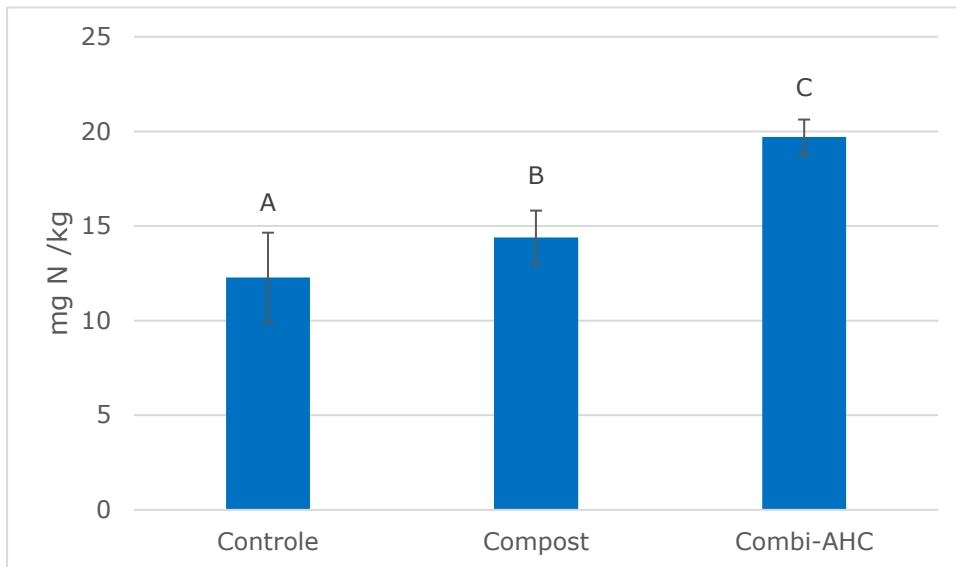
**Figuur 3-28.** Het verloop van de bacteriebiomassa in 2009-2012 in vier behandelingen. Een rode stip staat voor een significant verschil met de braak. De bacteriebiomassa is gemeten in november behalve in 2011 wanneer die in maart gemeten is.



**Figuur 3-29.** Het verloop van de schimmelbiomassa in 2009-2012 in vier behandelingen. Een rode stip staat voor een significant verschil met de braak. De schimmelbiomassa is gemeten in november behalve in 2011 wanneer die in maart gemeten is.

**Figuur 3-28 en Figuur 3-29).** Dit effect zou kunnen komen door de chitine of de tagetes. In de grafieken is ook te zien dat de effecten op deze bodemleven-parameters snel uitdoven. Onderzoek naar de samenstelling van het bodemleven toont deze verandert door deze maatregelen maar dat de totale diversiteit aan soorten onveranderd blijft. Specifieke soortengroepen die bekend zijn voor ziekteonderdrukking kwamen vaker voor na het toepassen van de bodemmaatregelen, maar dit effect was erg klein vergeleken met het effect van teeltsysteem (gangbaar/biologisch) (Lupitani et al., 2017; Lupitani et al., 2019).

**Resultaat en discussie 2017-2020:** De PMN was in 2020 hoger voor zowel compost als de combinatie-AHC (Figuur 3-30). De bacterie- en schimmelbiomassa was niet significant beïnvloed door deze behandelingen. Er is ook gekeken naar de nematodengemeenschap. Kijkend naar alle maatregelen, dan hadden de ontsmettingsmaatregelen: ASD, Monam en de combinatie-AHC in veel opzichten het sterkste effect op de nematodengemeenschap. Voor Monam waren de nematodenaantallen veel lager dan bij de andere behandelingen, in lijn met de verwachting. Voor de andere maatregelen is het echter niet mogelijk om op basis hiervan een conclusie te trekken over welke van deze maatregelen gunstiger zijn voor het bodemleven (Brinkman et al., 2022).



**Figuur 3-30.** De gemiddelde PMN, gemeten in maart 2020, en standaardfout bij toepassing van compost en de combinatie-AHC en compost, vergeleken met de referentie. Verschillende letters staan voor significante verschillen.

### 3.5.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten				
	Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Mechanisatie en arbeid	Toepasbaarheid
Compost	Eenvoudig	Hoge kosten, niet effectief voor grondontsmetting	Loonwerk	Beperkt, niet gebruiken voor aaltjesbestrijding maar wel effect op andere bodemfuncties
Chitine (20 ton/ha)		Mogelijk te hoge kosten, wel effectief (in hoge dosering) voor grondontsmetting		Lage toepasbaarheid i.v.m. beschikbaarheid en hoge dosering
Anaerobe grondontsmetting (ASD)	Hoge kosten, wel effectief voor grondontsmetting	Goed toepasbaar maar relatief hoge kosten		
Monam	Uitbestedbaar	Hoge kosten, wel effectief voor grondontsmetting	Niet beschikbaar	Slecht toepasbaar i.v.m. regelgeving
Cultivit		Hoge kosten, niet effectief voor grondontsmetting		Niet toepasbaar
Biofumigatie		Lage kosten, niet effectief voor grondontsmetting	Eenvoudig	Lage toepasbaarheid i.v.m. aaltjesvermeerdering
Grasklaver		Lage kosten, geen bestrijding bodempathogenen		Goed, maar niet voor aaltjesbestrijding
Tagetes	Zaaien een uitdaging, wel uitbestedbaar	Hogere kosten dan overige groenbemesters, wel effectief voor grondontsmetting	T.o.v. andere groenbemesters relatief veel arbeid	Alleen toepasbaar bij besmetting met <i>P. penetrans</i>
Combi - TCC	Tagetes zaaien een uitdaging	Zeer hoge kosten, zeer effectief voor grondontsmetting	T.o.v. andere groenbemesters relatief veel arbeid voor tagetes	Onderzoeksubject; lage toepasbaarheid i.v.m. beschikbaarheid compost en chitine en grote hoeveelheid chitine en hoge kosten
Groenbemestermengsel	Eenvoudig	Lage kosten, geen bestrijding bodempathogenen	Eenvoudig	Goed toepasbaar, maar niet voor aaltjesbestrijding
Haarmeel		Hoge(re) kosten, geen directe bestrijding bodempathogenen		Evt. lage toepasbaarheid i.v.m. beschikbaarheid
Combi - AHC		Zeer hoge kosten, zeer effectief voor grondontsmetting	Deels loonwerk	Onderzoeksubject; lage toepasbaarheid i.v.m. beschikbaarheid haarmeel en de hoge kosten

#### Behoeftte aan kennis en kunde, mechanisatie

De kennisbehoefte van de boer om deze maatregelen toe te passen is laag en er is geen nieuwe mechanisatie nodig om deze toe te kunnen passen. Voor Monam, ASD en cultivit wordt het werk uitbesteed. Het toepassen van reststromen (haarmeel/chitine/compost) en telen van groenbemesters is eenvoudig in uitvoering. Het telen van tagetes vergt aandacht, met name de onkruidbestrijding. Dit heeft te maken met de trage opkomst en begingroei. Het zaaien van tagetes is lastig i.v.m. de vorm van het zaad, dit werk wordt daarom meestal uitbesteed. Verder is het inpassen van tagetes in een bouwplan een uitdaging. Voor een effectieve bestrijding moet de tagetes namelijk vóór augustus gezaaid worden. Voor de teelt van groenbemesters of tagetes is het aan te raden om de aaltjessituatie op het perceel in kaart te brengen en daarop de soortenkeuze baseren.

#### Bedrijfsresultaat en arbeid

De kosten van chitine zijn zeer hoog in het jaar van begroten, mede omdat een zeer grote hoeveelheid (20 ton/ha) wordt toegepast in de proef (

**Tabel 3-14).** Door variabele vraag op de markt verschillen de kosten van chitine heel erg tussen jaren; in een ander jaar was de chitine gratis te verkrijgen. Deze hoeveelheid chitine is niet toepasbaar in de praktijk in verband met beschikbaarheid en de grote hoeveelheid stikstof wat aangevoerd wordt. Het is niet bekend of ook kleinere hoeveelheden chitine (bijvoorbeeld in de vorm van zaadcoating of chitine in de plantrij) voor grondontsmetting interessant is. Daarom is de toepasbaarheid laag met deze uitvoering. Voor haarmeel geldt dat de beschikbaarheid laag waardoor zijn de kosten hoog. Beide reststromen zijn nog geen bekende bodemverbeteraars. Als dit verandert zouden zowel de beschikbaarheid als de kosten kunnen veranderen. De kosten voor een chemische grondontsmetting met Monam zijn op dit moment (2021) veel hoger geworden dan in de tabel, omdat nu na toediening de grond afgedekt moet worden met folie. Dit maakt de toepasbaarheid van deze behandeling erg laag. Beide combi's brengen erg hoge kosten met zich mee omdat deze behandelingen aangelegd zijn om extremen te creëren.

De tagetes op dalgrond levert een gemiddeld positief bedrijfsresultaat van €121 per ha door het positieve effect op aardappelopbrengsten door de bestrijding van P. penetrans. Bij het vervangen van zomergerst met tagetes in het bouwplan werd €208 per ha bespaard op teeltkosten maar werd een net negatief effect op opbrengsten behaald (-€87 per ha) in verband met het wegvallen van de inkomsten van de zomergerst (Bijker et al., 2022).

**Tabel 3-14.** Overzicht van de kosten van de grondontsmettingsmaatregelen op zand, inclusief arbeid en mechanisatie, in 2015 begroot. Kosten zijn de maatregel t.o.v. zwarte braak en zijn berekend na de teelt van zomergerst. Kostenberekeningen van de maatregelen haarmeel, groenbemestermengsel en combi-AHC zijn niet beschikbaar. Voor tagetes op dalgrond wordt een saldo (opbrengsten-kosten) van de maatregel gegeven.

Kosten van de maatregelen	
Maatregel	Gangbaar (€/ha)
Zandgrond	
Grasklaver	200
Tagetes	561
Biofumigatie	462
Compost	2,014 *
Chitine	53,841 **
Cultivit	2,454
Monam	741
ASD	7,001
Combi - TCC	56,412
Saldo van de maatregel	
Dalgrond	
Tagetes	121

\* Compost aangeënt met biostimulatoren met een prijs van 33 €/ton excl. toediening

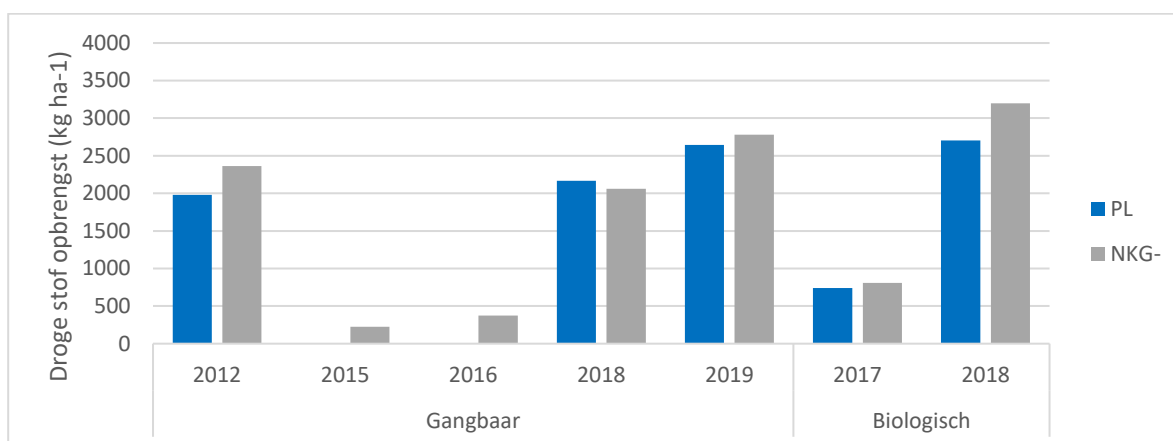
\*\* De kosten van chitine verschillen sterk per jaar, dit was een jaar met hoge kosten.

### Toepasbaarheid

De toepasbaarheid van de maatregelen hangt in grote mate af van de aaltjes en bodemziektes op het perceel en het bouwplan. Dit bepaalt ook of deze maatregelen goed te combineren zijn. Uit de twee combi-maatregelen (Combi-TCC en Combi-AHC) blijkt dat deze vaak het grootste effect hebben. De maatregelen met hoge kosten zijn alleen toepasbaar in bouwplannen met een hoogsalderend gewas die van de maatregel kan profiteren. In de meeste bouwplannen in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt zijn ze daarom niet toepasbaar. Wat ook het toepasbare areaal bepaalt is de wet- en regelgeving en beschikbaarheid van de dienst of product. Hoe dit zich gaat ontwikkelen is niet altijd bekend.

## 3.6 Telen van groenbemesters

Het effect van groenbemesters op verschillende aspecten van de bodemkwaliteit is slechts gemeten in de proef op klei en in een proef op zandgrond (BGZ), zowel op een gangbaar als biologisch perceel. In BASIS is in 2011 een groenbemesterobject split-plot aangelegd, waardoor er combinaties van groenbemesters met verschillende vormen van grondbewerking en organische bemesting zijn ontstaan. In dit hoofdstuk worden de resultaten van de proef op klei met ploegen of NKG als hoofdgrondbewerking opgenomen. In hoofdstuk 3.5 zijn de resultaten van BGZ opgenomen. De droge stof productie van de groenbemesters per jaar zijn te zien in **Figuur 3-31**. De groenbemesters zijn niet bemest. Een overzicht van de objecten met omschrijving en plattegrond, een overzicht van de gewasopvolging, met bijbehorende groenbemester zijn opgenomen in **Bijlage 1**.



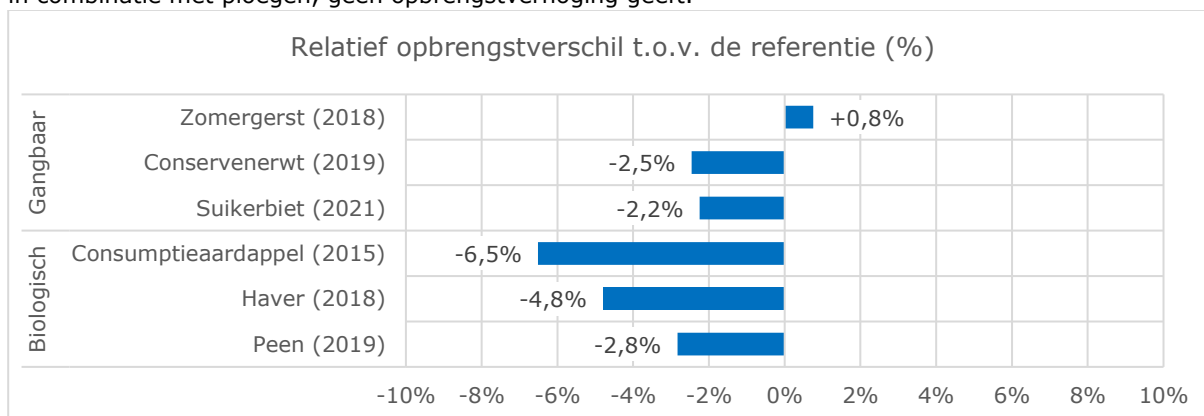
**Figuur 3-31.** Ontwikkeling van de groenbemesters per object op het gangbare en biologische perceel. In 2015 en 2016 zijn de groenbemesters pas in het voorjaar bemonsterd, mogelijk was de biomassa voor de winter hoger gezien de vorstgevoelige soorten in het mengsel.

### 3.6.1 Productiviteit

#### Marktbaar opbrengst en kwaliteit

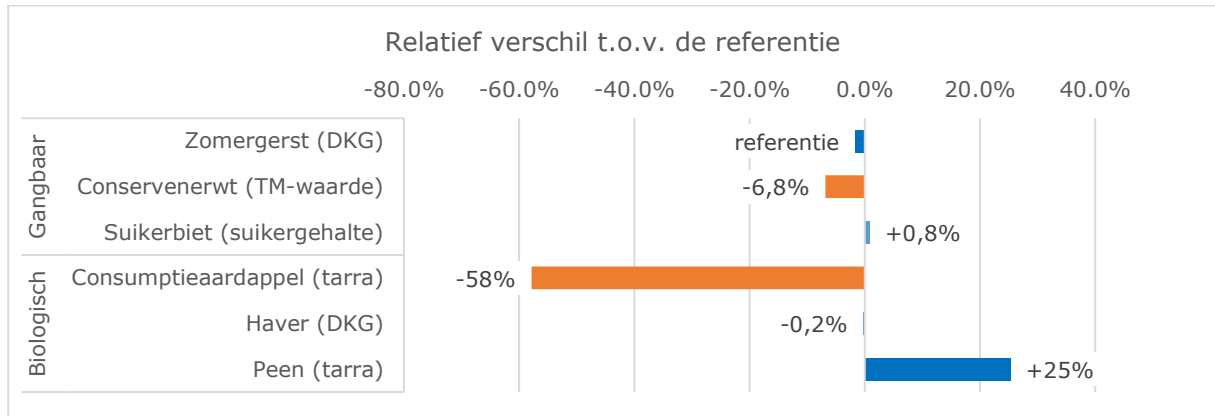
**Resultaat:** In de analyse worden drie gangbare en drie biologische gewasteelten opgenomen (zie Bijlage 1). Dit zijn te weinig metingen om harde algemene conclusies uit te kunnen trekken voor het effect van groenbemesters op opbrengsten. Figuur 3-32 laat het verschil in opbrengsten tussen wel en geen groenbemester per gewas zien. Een groenbemester in combinatie met ploegen leidde tot een enigszins hogere opbrengst bij de zomergerst. Voor alle overige gewassen heeft de teelt van een groenbemester in combinatie met ploegen geleid tot een lagere opbrengst. Echter, geen van deze verschillen was significant. Deze eerste resultaten geven de indruk dat de teelt van een groenbemester, in combinatie met ploegen, geen opbrengstverhoging geeft.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen opbrengstverhoging of eenduidig effect op kwaliteit



**Figuur 3-32.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) in het groenbemesterobject ten opzichte van het referentieobject (geen groenbemester), in oranje worden statistisch significante effecten aangeduid.

Van het gangbare systeem zijn kwaliteitseigenschappen bekend van de zes gewassen. De resultaten worden gepresenteerd in **Figuur 3-33**. De resultaten laten een wisselend beeld zien, deze resultaten wekken de indruk dat een groenbemester in combinatie met ploegen leidt tot een betere productkwaliteit. Bij de erwten werd een lagere TM-waarde gemeten: 141 ten opzichte van 151. Een optimale TM-waarde ligt in deze proef grofweg tussen de 110 en 140, dat er een lagere TM-waarde is gemeten in het groenbemesterobject is dus positief. Dit zou kunnen betekenen dat het perceel met de groenbemester een tragere groei heeft gehad. Bij de consumptieaardappel leidde de teelt van groenbemesters tot minder kilo's tarra, ook als percentage van de bruto-opbrengst was de tarra na de teelt van een groenbemester lager dan na de referentie, dit verschil is statistisch significant. Bij de peen werd een hoger aandeel tarra gevonden na de teelt van een groenbemester. Het verschil in tarra was echter niet statistisch significant. Een verklaring voor de gevonden verschillen ontbreekt vooralsnog.



**Figuur 3-33.** Relatief verschil in de kwaliteitsaspecten van de objecten met groenbemester ten opzichte van de referentie, in oranje worden statistisch significante effecten aangeduid (het kwaliteitsaspect van haver is niet getoetst op significantie).

**Discussie:** Kort samengevat heeft de teelt van een groenbemester, in combinatie met ploegen, niet tot aantoonbaar hogere gewasopbrengsten geleid onder deze omstandigheden. Ook in de literatuur zijn er voorbeelden bekend waarin de teelt van groenbemesters wisselende effecten hadden op de opbrengst van het hoofdgewas.

Grootenhuis en te Velde (1975) concluderen aan de hand van een groot aantal veldproeven op zavelgrond dat grasgroenbemesters gemiddeld genomen een positief effect hebben op de opbrengst van suikerbieten, maar niet op de suikeropbrengst. Van Geel et al. (2007) legden in Lelystad (zavel) en Kollumerwaard (lichte zavel) een groenbemesterproef aan met bladrammenas en Engels raaigras (laatstgenoemde is alleen in Lelystad ingezaaid), de groenbemesters werden niet bemest. Na de teelt van groenbemesters waren de bietenplanten groter, en vertoonden deze bieten minder vochtgebrek (van Geel et al., 2007). Uiteindelijk was de bietenopbrengst na groenbemester niet hoger dan wanneer er geen groenbemester was geteeld. Dit komt overeen met dat er in BASIS geen hogere opbrengst werd gevonden (zowel in de suiker- als suikerbietopbrengst).

Wat betreft de zomergerst vonden van Geel et al. (2007) verschillen in de gewasstand, het gewas stond iets beter na de teelt van een groenbemester en gaf een significante meeropbrengst op beide locaties. Het positieve effect werd toegeschreven aan een verhoogde stikstoftoevoer door de nalevering van de ondergewerkte bladrammenas en aan een betere vochtvoorziening. Ook bij BASIS had de teelt van een groenbemester een licht positief (maar niet significant) effect op de opbrengst van zomergerst, mogelijk is het verschil beperkt doordat er niet direct voorafgaand aan de teelt een groenbemester is geteeld.

Een mogelijke verklaring waarom de teelt van een groenbemester niet heeft geleid tot een hogere opbrengst van haver wordt gevonden in het type groenbemester. In Wageningen (zandgrond) werd een tweejarig experiment uitgevoerd waarbij het effect van groenbemester(mengsels) op het volggewas onderzocht is (groenbemesters werden niet bemest). Barel et al. (2017) vonden dat haver enkel profiteerde van vlinderbloemigen als voorvrucht. Bij BASIS is er voorafgaand aan de teelt van haver



gele mosterd geteeld, wat mogelijk kan verklaren waarom de haver opbrengst niet hoger was na een groenbemester. Bovendien concludeerden zij dat de productiviteit van de volgteelt te sturen is: biomassa en het stikstofgehalte bleken een belangrijke factor voor de gewasopbrengsten van de volgteelt. Dit zal vooral voor stikstofbehoefteige volgteelten het geval zijn.

Ook bij peen is het beperkte effect van de groenbemesterteelt op de opbrengst mogelijk toe te schrijven aan het type groenbemester. Het mengsel voorafgaand aan de teelt bestond onder andere uit wikke, klaver en facelia. Buishand en Snoek (1982) geven aan dat facelia vaak een negatief effect heeft op de opkomst van peen, en dat vlinderbloemigen (m.n. klaver) een teveel aan stikstof kunnen veroorzaken. Met snijrogge en raigras zouden wel positieve resultaten behaald kunnen worden. Bovendien is het voor de peen essentieel dat de groenbemesters goed verteerd zijn.

In de periode 2015-2020 zijn groenbemesterproeven uitgevoerd in Lelystad (zware zavel), Kollumerwaard (lichte zavel) en Vredepeel (zandgrond), met verschillende typen groenbemesters (Haagsma & Dekkers, in press.). In Lelystad leidde elk groenbemesterobject tot een hogere opbrengst van zomertarwe, het effect van de groenbemester op de opbrengst lijkt gerelateerd te zijn aan de droge stof opbrengst van de groenbemester. Voor pompoen werd geen positief effect gevonden op de opbrengst.

Van het effect van groenbemesters op de opbrengst van conservenerwt en consumptieaardappel zijn geen voorbeelden uit de literatuur bekend onder Nederlandse omstandigheden. Het is daarom lastig deze bevindingen in perspectief te plaatsen.

Het effect van een groenbemester op het hoofdgewas is veelvuldig, een groenbemester kan onder andere van invloed zijn op de beschikbaarheid van nutriënten, het onderdrukken van ziekten en plagen, en de bodemstructuur. Het uiteindelijke effect van een groenbemester op het hoofdgewas hangt sterk af van de combinatie van de groenbemester, het hoofdgewas, het teeltmanagement en de teeltomstandigheden (Dekkers & Haagsma, 2021).

### 3.6.2 Waterregulatie

#### **Bodemfysische indicatoren**

**Resultaat:** Bij BASIS zijn er geen metingen verricht aan de bodemfysische indicatoren, enkel de bulkdichtheid is gemeten in 2021 (najaar). De verwachting is dat er met de teelt van een groenbemester een lagere bulkdichtheid wordt gemeten, omdat het soortelijk gewicht van gewasresten lager is dan voor de bodemdeeltjes. Anderzijds zorgen groenbemesters voor een lossere grond met meer poriën, waardoor een lagere bulkdichtheid gemeten kan worden. Uit **Tabel 3-15** wordt zichtbaar dat het verschil beperkt, en bovendien niet significant is.

**Tabel 3-15.** Bulkdichtheid ( $\text{kg m}^{-3}$ ) gemeten in 2021 in de bodemlaag 0-15 en 15-30 cm. Een ster (\*) geeft een significant verschil met de referentie weer.

	Gangbaar		Biologisch	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Referentie	1258	1260	1250	1246
Groenbemester	1259	1261	1246	1248

**Discussie:** Bij enkele andere studies is het effect van groenbemesters op de bodemstructuur en waterregulatie wel uitgebreider onderzocht. In de groenbemesterproef in Lelystad en Kollumerwaard van Van Geel et al. (2007) is er gekeken naar het effect van groenbemesters op de bodemdichtheid, indringingsweerstand, infiltratiesnelheid en het lucht- en het vochtgehalte in de bodem. De bladrammenas en Engels raigras bereikten een bewortelingsdiepte van respectievelijk 110 en 70-90 cm. Uit de metingen kon niet worden opgemaakt dat de eenmalige teelt van deze goed geslaagde groenbemester heeft geleid tot een verbeterde bodemstructuur. Mogelijk kwam dit door het droge proefjaar, waardoor het effect op de problemen die deze bodem kenmerken (waterdoorlatendheid en zuurstoftekort) niet tot uiting zijn gekomen (van Geel et al., 2007). Een andere reden kan zijn dat er meerdere teelten nodig zijn om een meetbaar effect vast te stellen.

In Vredepeel werd een proef aangelegd met onder andere haver en rogge als groenbemester om het effect te onderzoeken op de bodembioïologie, bodem organische stof en het watervasthoudend vermogen. Martínez-García et al. (2018) concludeerden dat de teelt van groenbemesters leidde tot een verhoogde activiteit van het bodemleven, een andere samenstelling van bodemorganismen en kwaliteit van bodem organische stof. Echter, het telen van groenbemester(mengsels) had geen effect op de hydrofobiciteit van de bodem (Martínez-García et al., 2018).

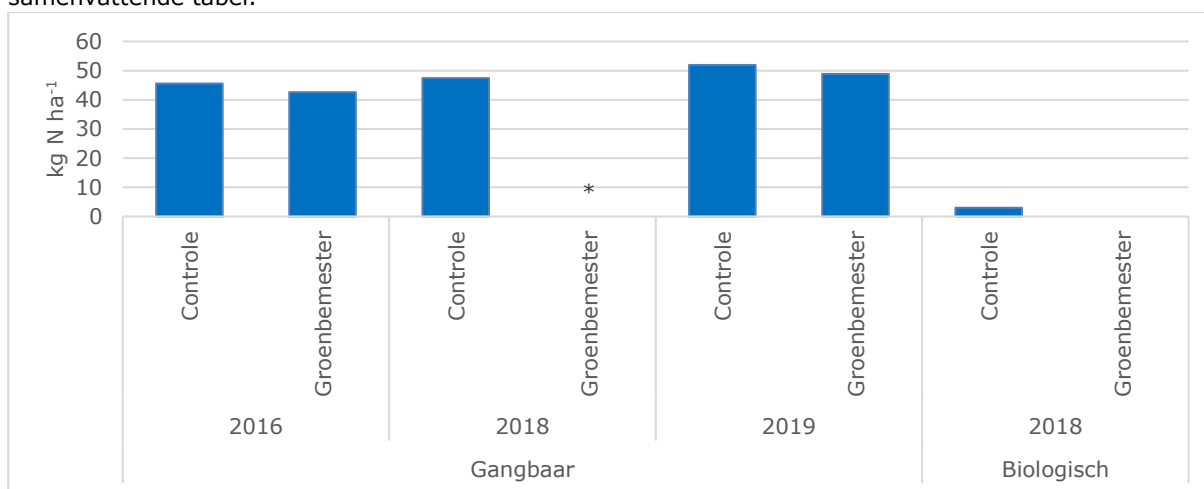
### 3.6.3 Waterzuivering

#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

**Resultaat en discussie:** Er zijn N-min metingen verricht in de laag 0-60 cm in het najaar van 2016, 2018 en 2019 in gangbaar, en in 2018 in het biologische perceel. In 2016 is de N-min meting verricht twee maanden na het inzaaien van een groenbemestermengsel. In 2018 is de N-min meting verricht na het onderwerken van het groenbemestermengsel welke krap twee maanden heeft gestaan. In 2018 bestond het mengsel voor een groot deel uit vlinderbloemigen, waardoor mogelijk extra stikstof is gefixeerd. In 2019 is de N-min meting verricht in augustus, na het oogsten van de conservenerwt en kort na het zaaien van de groenbemester. Het effect van een groenbemester op de minerale stikstof in het najaar is tweeledig. Enerzijds nemen groenbemesters minerale stikstof op uit de bodem, waardoor er minder minerale stikstof achterblijft. Anderzijds breekt het ondergewerkte organisch materiaal af waardoor minerale stikstof vrijkomt, dit proces vindt voornamelijk plaats in het voorjaar en de zomer wanneer de bodemtemperatuur weer toeneemt. Op de N-min gemeten in het najaar is voornamelijk het eerste proces van invloed, de verwachting is dat de N-min najaar lager is wanneer er groenbemesters worden geteeld dan wanneer dit niet het geval was. Verwacht wordt dat dit effect groter is bij de conservenerwt en aardappel, omdat deze gewassen relatief veel stikstof in de bodem achterlaten.

Samenvatting resultaten		
Klei	L	Minder N-min najaar en N-uitspoeling

Het effect van het telen van een groenbemester op de minerale stikstof in het najaar is weergegeven in Figuur 3-34. Voor beide systemen, en voor elk jaar, is de minerale stikstof gemeten in het najaar nadat er een groenbemester is geteeld. In 2018 werd er voor beide systemen zelfs nauwelijks minerale stikstof gemeten. Na de teelt van een vlinderbloemige groenbemester is er dus geen hoger gehalte minerale stikstof gemeten in de bodem in het najaar. Enkel bij het gangbare systeem in 2018 was het verschil statistisch significant, bij de overige jaren was dit niet het geval. Dat er in 2019 geen (statistisch) verschil optrad, is mogelijk te verklaren doordat de meting kort na het zaaien van de groenbemester is uitgevoerd. Vanuit de wetenschappelijke literatuur is wel bekend dat groenbemesters vaak zorgen voor minder stikstofuitspoeling (zie 3.6.4), daarom wordt een groene kleur gegeven in de samenvattende tabel.



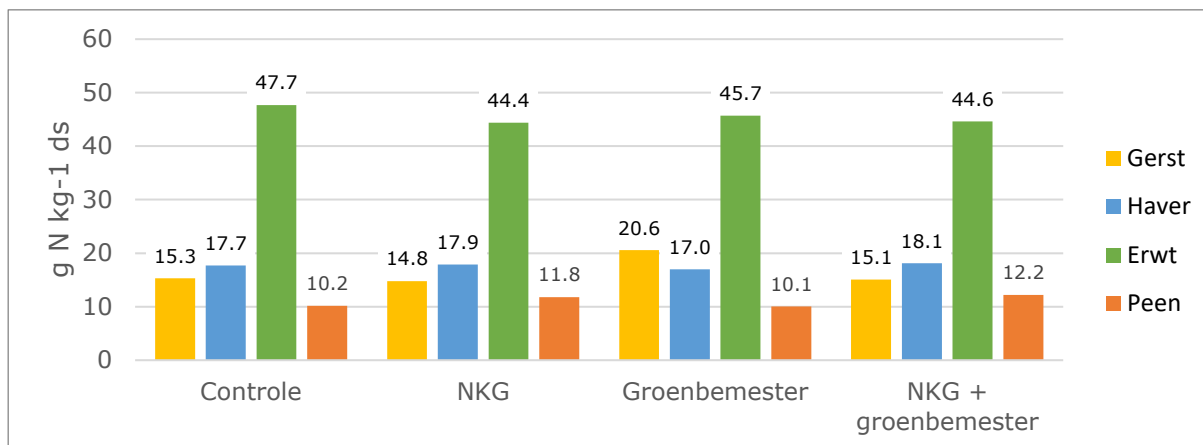
**Figuur 3-34.** De gemeten N-min in het najaar (0-60 cm) voor de verschillende objecten, een ster (\*) geeft een significant verschil met de referentie weer.

### 3.6.4 Recycling van nutriënten

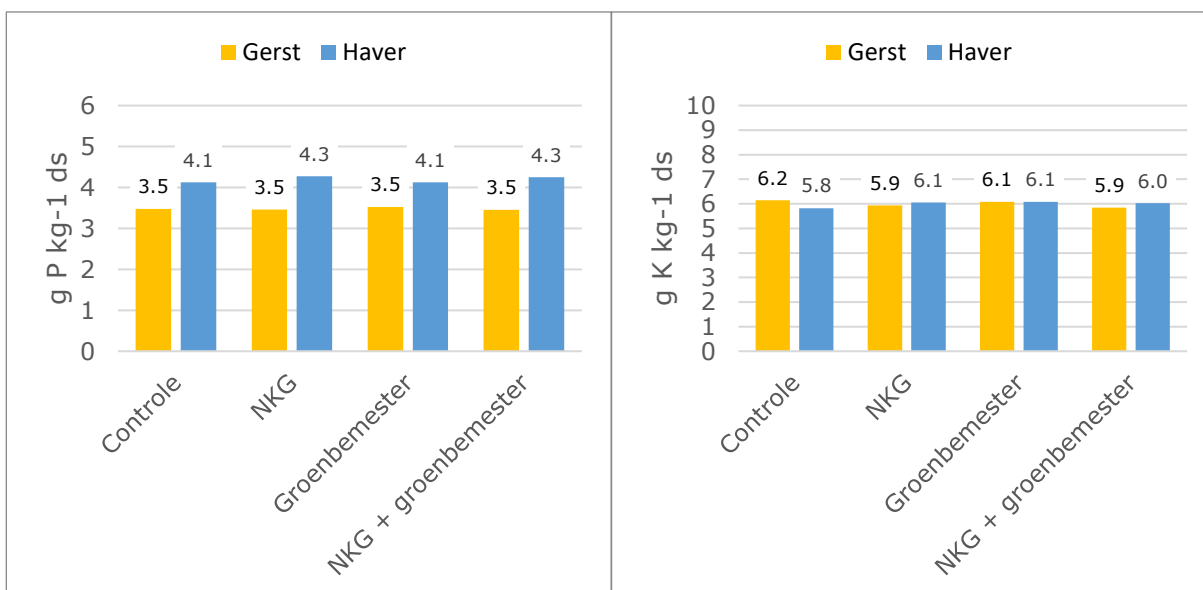
#### NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten

**Resultaat:** De nutriëntopname van de gewassen is beperkt gemeten, in 2018 is de NPK opname gemeten en in 2019 enkel de stikstofopname. Wat betreft stikstof is er na groenbemesters enkel bij de gerst een hoger stikstofgehalte gemeten, voor de andere gewassen was het stikstofgehalte lager (**Figuur 3-35**). Dit geldt ook wanneer uitgedrukt in totale stikstofopname door het gewas per hectare. Wat betreft de fosfor was er voor zowel de gerst als de haver geen verschil in het gewasgehalte (**Figuur 3-36**). Uitgedrukt in kg P per hectare was de opname bij een groenbemester hoger voor gerst maar niet voor haver. Wat betreft kalium leidde de teelt van een groenbemester tot een iets lagere opname bij gerst en een iets hogere opname bij haver (**Figuur 3-36**). Uitgedrukt in kg K per hectare was er dan weer nauwelijks verschil tussen de objecten.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen eenduidig effect



**Figuur 3-35.** Nutriënteninhoud (N) van verschillende gewassen van gerst (gangbaar) en haver (bio).



**Figuur 3-36.** Nutriënteninhoud, P (links) en K (rechts) van gerst (gangbaar) en haver (bio).

De verschillen tussen de objecten zijn voor vrijwel alle gewassen echter beperkt ( $6-35 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $1-2 \text{ kg P}_{205} \text{ ha}^{-1}$  en  $0 \text{ kg K ha}^{-1}$ ), en niet eenduidig. Het is daarom aannemelijk dat de teelt van een groenbemester niet heeft geleid tot een veranderde nutriëntenbalans in deze proef (BASIS).

**Discussie:** In deze proef (BASIS) is de nutriëntopname van de groenbemesters en de bodemvoorraden aan stikstof en fosfaat niet elk jaar bepaald, en daarom het effect van groenbemesters op de recycling van nutriënten moeilijk te bepalen. In de literatuur zijn wisselende resultaten gevonden van het effect van groenbemesters op de efficiëntie van het stikstof en fosfaat gebruik.

In een groenbemesterproef in Lelystad werd het effect van groenbemesters op de fosfaatbenutting onderzocht (van Wijk, n.d.). Uit de resultaten bleek dat de groenbemesters 10-38 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> opnamen. Het volggewas (peen) nam iets meer fosfaat op na de groenbemesters, maar gaf geen productieverhoging. Als verklaring voor het beperkte effect op de fosfaatopname en de gewasopbrengst wordt genoemd dat de fosfaattoestand mogelijk geen beperkende factor was of dat het fosfaat in de biomassa nog niet is afgebroken en daardoor niet beschikbaar is gekomen voor de volgteelt (van Wijk, n.d.). Dekkers et al. (in press) vonden een opname van tot wel 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

De stikstofopname van groenbemesters loopt uiteen tussen de 5 en 163 kg N ha<sup>-1</sup> (Timmer et al., 2021; Vos en van der Putten, 2004). In hoeverre deze stikstof wordt overgedragen naar de volgteelt is afhankelijk van het type groenbemester en het moment van onderwerken. Bij bladrijke groenbemesters, welke snel verteren, die worden ondergewerkt in het najaar kan de stikstof in de winterperiode vrijkomen en mogelijk uitspoelen naar diepere bodemlagen. Wanneer dit wordt toegepast in een graanstoppel zal dit beperkt zijn. Van groenbemesters die de winter overblijven of een hogere C/N verhouding hebben, zal de opgenomen stikstof pas na de winter vrijkomen waardoor het risico op uitspoeling naar een diepere bodemlaag beperkt is. Van Geel en Verstegen (2008) vonden op een zuidelijke zandgrond een lagere N-min in het najaar na een groenbemesterteelt, de N reductie in de laag 0-90 cm was 53 en 35 kg N ha<sup>-1</sup> respectievelijk voor winterrogge en -gerst bij een zaaidatum in september, bij een zaaidatum in oktober was deze reductie lager. Ook Porre et al. (2020a) vonden verschillen tussen groenbemesters, de stikstofopname bij wikke was gemiddeld lager dan bij andere groenbemesters en de gemeten uitspoeling bij wikke was dan ook hoger, en vergelijkbaar met de referentie. Mogelijk komt dat door de lagere C/N ratio in vergelijking tot de andere groenbemesters. Ook Dekkers et al. (in press) vonden verschillen tussen groenbemesters. In de meeste gevallen werd er bij de teelt van een groenbemester een lagere N-min gemeten in het najaar, voor facelia en voederwikke was dit in enkele jaren niet het geval. Ook Schröder et al. (1992), van Dijk et al. (1995) en Fan et al. (2020) keken naar groenbemesters en uitspoeling, en vonden een lagere uitspoeling bij de teelt van groenbemesters/vanggewassen. Bij studies naar het effect van groenbemesters op de stikstofstoestand en -benutting ligt de focus met name op de teelt van mais op de (Zuidelijke) zandgronden, vanwege de huidige nitraatconcentraties in het grondwater.

Ook in het voorjaar kunnen er effecten optreden van groenbemesters op de nutriënttoestand. In de proef van Barel et al. (2017) werd een effect gevonden van de groenbemesters op de stikstofstoestand. Hoewel het bodem organische stof gehalte niet veranderde door de teelt van groenbemesters, nam het gehalte potentieel mineraliseerbare stikstof toe (van Barel et al., 2017). Dit leidde vervolgens tot een grotere beschikbaarheid aan stikstof voor het volggewas, waar de haver van profiteerde. De besparing op de N gift kan oplopen tot 60 kg N ha<sup>-1</sup> bij een goed ontwikkelde groenbemester (HBB, n.d.). Afhankelijk van het type groenbemester kan het ook voorkomen dat er in het voorjaar minder stikstof beschikbaar is. In het voorjaar volgend op een hoofdteelt winterpeen met winterrogge als groenbemester, bleek dat er 10 kg minder stikstof beschikbaar was voor het volggewas, wat opliep tot 77 kg ha<sup>-1</sup> eind mei (van Balen & Haagsma, 2010). Mogelijk kwam dit door de stikstofonttrekking van het ondergewerkte stro.

Over het algemeen kan worden gesteld dat groenbemesters een rol spelen in de recycling van nutriënten, door deze na de hoofdteelt op te nemen en via mineralisatie in het voorjaar beschikbaar te maken voor het volggewas. Hoe de recycling van nutriënten precies verloopt is afhankelijk van de bodemvoorraad aan nutriënten, het type groenbemester, het zaaitijdstip van de groenbemester en het moment van onderwerken.

### 3.6.5 Koolstofvastlegging

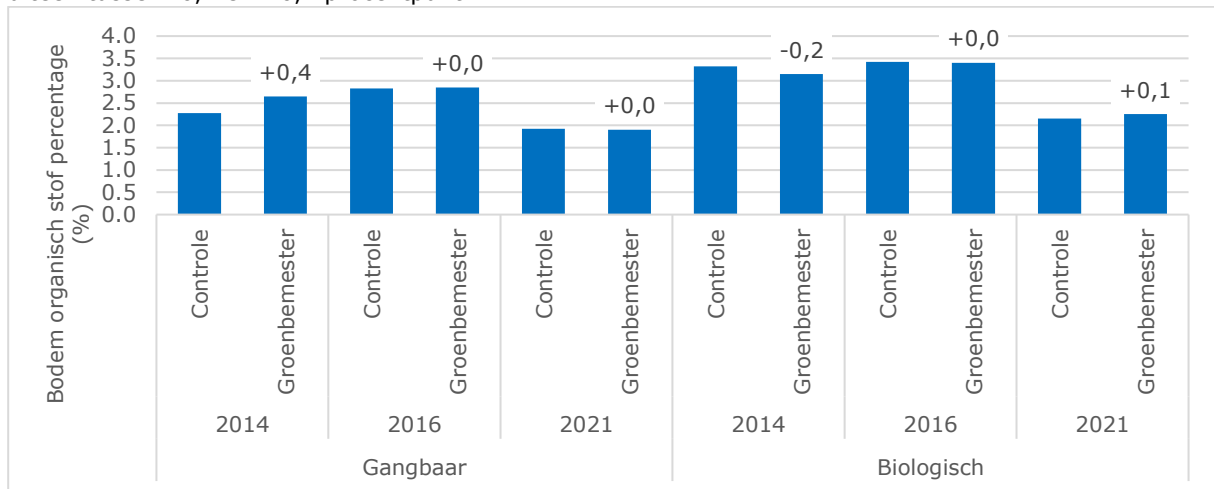
#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

Resultaat: Van deze proef zijn enkel resultaten bekend van metingen aan bodem organische koolstof van 2021. Bodem organische stof (OS) is gemeten in 2014, 2016 en 2021 en geeft, onder andere, een indicatie van de koolstofvastlegging. De verwachting is dat de organische stof bij ploegen door de gehele bouwvoor

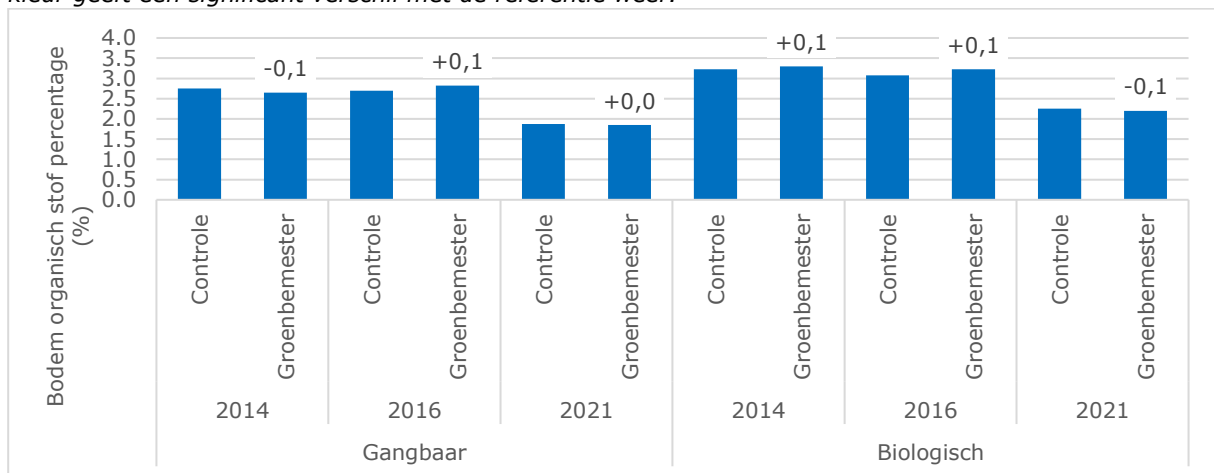
Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen meetbaar effect

wordt verdeeld, en dat er door de teelt van groenbemesters een hoger bodem organisch stofgehalte wordt gemeten.

De resultaten van de bodemlaag 0-15 cm worden gepresenteerd in Figuur 3-37. Het verschil in het organisch stofgehalte tussen het wel of niet telen van een groenbemester loopt uiteen van -0,2 tot +0,4 procentpunt. De resultaten van de bodemlaag 15-30 cm worden gepresenteerd in Figuur 3-38. In deze laag loopt het verschil in het organisch stofgehalte tussen het wel of niet telen van een groenbemester uiteen tussen -0,1 en +0,1 procentpunt.



**Figuur 3-37.** De gemeten bodem organische stof (0-15 cm) voor de verschillende objecten, een oranje kleur geeft een significant verschil met de referentie weer.



**Figuur 3-38.** De gemeten bodem organische stof (15-30 cm) voor de verschillende objecten, een oranje kleur geeft een significant verschil met de referentie weer.

In het gangbare systeem werd er in het groenbemesterobject in 2014 een hoger bodem organisch stofgehalte gemeten in de laag 0-15 cm, maar een lager gehalte in de laag 15-30 cm. Het is dan al twee jaar geleden dat er voor het laatst een groenbemester is geteeld (2012). In 2016 wordt er in beide lagen een hoger bodem organisch stofgehalte gemeten, al is het verschil in de bovenste laag erg beperkt (0,025 procentpunt). In 2021 was er geen verschil tussen de objecten. In het biologische systeem werd er in 2014 in het groenbemester object een lager bodem organisch stofgehalte gemeten in de laag 0-15 cm, en een hoger gehalte in de laag 15-30 cm. Het is dan al vier jaar geleden dat er voor het laatst een geslaagde groenbemester is geteeld (2010). Ook in 2016 werd een hoger bodem organisch stofgehalte gemeten in de laag 15-30 cm, maar niet in de laag 0-15 cm. In 2021 werd een hoger organisch stofgehalte gemeten in de laag 0-15 cm maar een lager percentage in de laag 15-30 cm.

In zowel het gangbare als biologische perceel werd bij groenbemesters in de laag 0-15 cm een iets lager bodem organisch koolstofgehalte gemeten (0,10 en 0,05 procentpunt respectievelijk) en een lagere bodemvoorraad aan koolstof (2 en 1 ton C ha<sup>-1</sup> respectievelijk). In de laag 15-30 cm werden er voor zowel het gangbare als biologische perceel geen verschillen gevonden in de bodemvoorraad koolstof

tussen het wel of niet telen van een groenbemester. Voor zowel het organisch stofgehalte (2014, 2016, 2021) als het koolstofgehalte (2021) vallen de gemeten verschillen tussen de veelal aangenomen meetfout van 0,5 procentpunt. Er lijkt dus geen meetbaar effect te zijn van de groenbemesterteelten op het bodem organisch (kool)stofgehalte.

**Discussie:** Het verschil in het OS percentage tussen het wel of niet telen van een groenbemester loopt uiteen van -0,2 tot +0,4 procentpunt. Geen van deze verschillen zijn significant. Op een zavelgrond is er een aanvoer van ruim 4000 kg effectieve organische stof (EOS) benodigd om het bodem organisch stofgehalte met 0,1 procentpunt te verhogen. Een geslaagde teelt van winterrogge en gele mosterd gaat gepaard met de aanvoer van respectievelijk ongeveer 850 en 875 kg EOS ha<sup>-1</sup> (Haagsma et al., 2019). Het is daarom onwaarschijnlijk dat het beperkt aantal groenbemester teelten in deze proef heeft geleid tot een hoger organisch stofgehalte.

Uit de meta-analyse van Jian et al. (2020) blijkt dat in een gematigd klimaat de bodem organische koolstofvoorraad met 2200 kg ha<sup>-1</sup> verhoogd kan worden (meestal binnen 5 jaar) door de teelt van groenbemesters. Bos et al. (2016) rekenden modelmatig de koolstofvastlegging van groenbemesters door voor de Nederlandse zandgronden. Ten opzichte van organische bemestingsstrategieën (zoals rundveedrijfmest en compost) geven zij aan dat de teelt van groenbemesters relatief weinig extra C vastlegt, tussen de 20 en 50 kg C ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Op een zandgrond hebben Porre et al. (2020b) metingen verricht aan de bodem organische koolstof bij de teelt van zeven verschillende groenbemester(mengsel)s. Na vier jaar werd een significant, maar klein, verschil gevonden in de bodem organische koolstof. Tegen de verwachtingen in leidde groenbemesters met een grotere hoeveelheid biomassa niet tot meer bodem organische koolstof dan de groenbemesters met minder biomassa. Bij deze proef op klei werd na 10 jaar een lagere voorraad gevonden bij de teelt van een groenbemester dan zonder, omdat er geen nulmeting is verricht zijn deze resultaten moeilijk met elkaar te vergelijken.

### 3.6.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat:** Aan het bodemleven is in deze proef beperkt gemeten. Dekkers et al. (in press) hebben in Lelystad gemeten aan de aanwezigheid van regenwormen bij de teelt van verschillende typen groenbemesters. Enkel voor een groenbemestermengsel vonden zij een significant hoger aantal wormen dan bij de referentie.

Samenvatting resultaten		
Klei	L	Geen eenduidig effect

**Discussie:** Porre et al. (2020b) hebben metingen verricht aan de microbiële biomassa bij de teelt van groenbemester(mengsels) op een zandgrond, maar vonden geen verschillen tussen wel of geen groenbemester of tussen voor en na vier jaar groenbemesterteelt. Martínez-García et al. (2018) concludeerden aan de hand van een experiment op een zandgrond dat de teelt van groenbemesters (o.a. haver en rogge) leidde tot een verhoogde activiteit van het bodemleven, een andere samenstelling van bodemorganismen en kwaliteit van bodem organische stof. Van het effect van verschillende groenbemesters op bodem ziekten en plagen is relatief veel bekend. Hoewel er in de internationale literatuur veel te vinden is over het effect van verschillende groenbemesters op de algehele bodembiodiversiteit (e.g. Michel, n.d.; Longo et al., 2017; Yang et al., 2016; Thapa et al., 2021), is er onder de Nederlandse omstandigheden verder weinig over bekend (Dekkers & Haagsma, 2021).

### 3.6.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten			
Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Machines en werktuigen	Toepasbaarheid
Vergt aandacht en is bouwplan-afhankelijk, voor de praktische uitvoerbaarheid is veel kennis voorhanden	De kosten zijn beperkt, de maatregel vergt meer arbeid	Mogelijke investering in werktuigen	Goed toepasbaar

#### **Kennis en kunde**

De teelt van een geslaagde groenbemester vergt de nodige kennis en aandacht. Zo moet er rekening gehouden worden met het zaaitijdstip, de aaltjessituatie in de bodem, bodemplagen, de gebruikte bodemherbiciden, het tijdstip van bodembewerkingen, het volggewas en de vorstgevoeligheid van de groenbemester. Een hoge vorstgevoeligheid kan gunstig zijn om de groenbemester gemakkelijk onder te werken en om de kans op hergroei te verminderen. Veel van deze kennis is gebundeld en beschikbaar via het Handboek Groenbemesters.

#### **Bedrijfsresultaat en arbeid**

De teeltkosten voor een groenbemester(mengsel) komen neer op ~€100-300 per hectare, afhankelijk van de samenstelling van het zaaizaad. De arbeid zit in het zaaien en het klepelen of maaien van de groenbemester. Het goed onderwerken van een (grote) groenbemester kan extra werkgangen betekenen. Deze kosten zullen moeten worden terugverdiend met een hogere gewasopbrengst en/of een besparing op de bemesting. Er wordt wel eens aangenomen dat een opbrengstverhoging van 2% compenseert voor de kosten van een groenbemesterteelt (Haagsma & Klaasse Bos, 2019).

#### **Machines en werktuigen**

Groenbemesters kunnen op verschillende manieren worden bewerkt en ingewerkt. Bij ploegen wordt op klei de groenbemester meestal in het najaar ondergewerkt, op zand meestal in het voorjaar. Voor de combinatie met NKG, zie hoofdstuk 3.1.7. Voorafgaand aan het onderwerken kan een voorbereiding nodig zijn (bijvoorbeeld voor onkruidreductie, het in gang zetten van de vertering, het voorkomen van hergroei of kiemkrachtig zaad), dit is mogelijk door (hoog) maaien, klepelen, rollen, bewerken met een schijveneg. Dit kan betekenen dat er een extra werktuig aangeschaft moet worden.

#### **Toepasbaar areaal**

De beperkende factoren voor het telen van groenbemesters zijn met name de late oogsttijdstippen van een aantal gewassen (verschillend per regio). Ook een tijdige najaarsbewerking op kleigrond werkt beperkend voor het groeiseizoen van de groenbemesters. Bovendien wordt er in sommige gevallen niet gekozen voor een groenbemesterteelt vanwege de besmetting met plant-parasitaire aaltjes en bijvoorbeeld aardappelopslag. Het totale areaal waarop de maatregel van toepassing is, wordt geschat op 20% van het totaal areaal landbouwgrond oftewel 354.404 ha (Koopmans et al. 2020).

## 3.7 Gereduceerde grondbewerking en compost

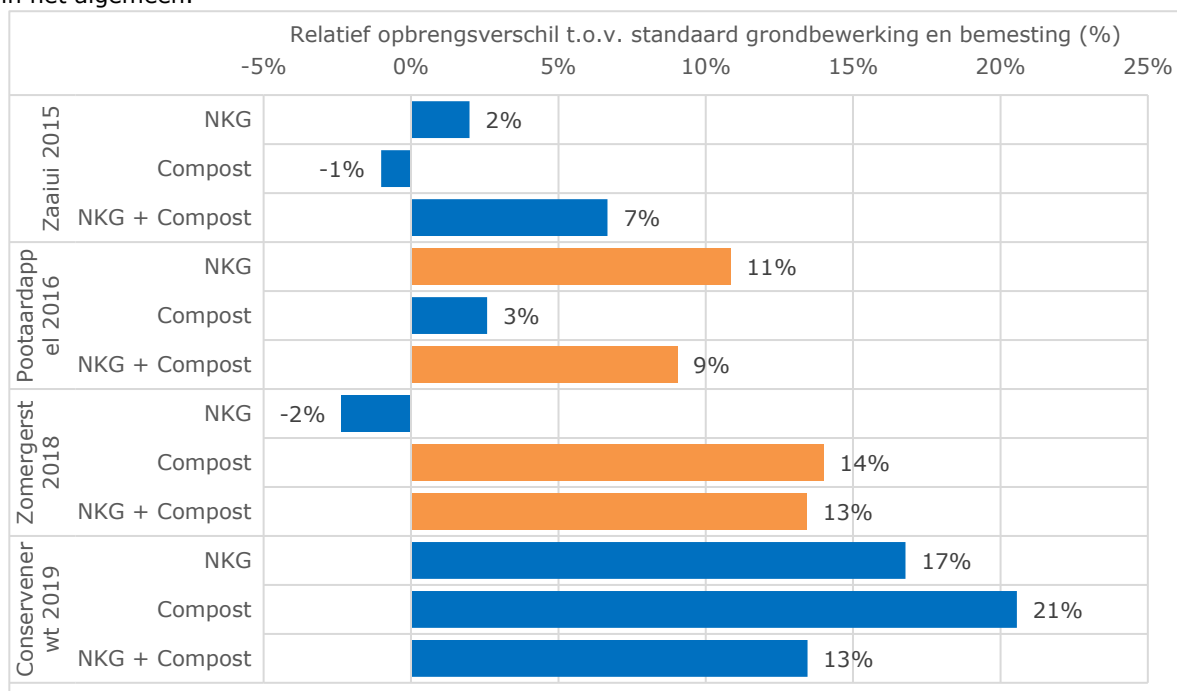
De combinatie van NKG en compost wordt toegepast in de proef op klei (BASIS) en in de proef op zand (BKZ) en de proef op dalgrond (BKV). In BASIS worden twee vormen van NKG toegepast, hier kijken we alleen naar NKG zonder woelen (minimaal) in combinatie met de aanvoer van 20 ton compost per hectare. In de proef op zand wordt in deze analyse gekeken naar de maatregel in beide organische stof behandelingen (LAAG en STANDAARD) in het gangbare systeem met 15 ton compost aanvoer per hectare. Op dalgrond wordt gekeken naar NKG in combinatie met 15 ton compost per hectare. In de samenvattende tabellen voor de bodemfuncties wordt aangegeven of er aanvullende effecten (meer dan additieve effecten) zijn van het combineren van de twee maatregelen. Er zijn weinig metingen gedaan in deze onderzoeksobjecten waardoor we nog weinig conclusies kunnen trekken uit de resultaten.

### 3.7.1 Productiviteit

#### Marktbare opbrengst en kwaliteit

**Resultaat en discussie:** Op klei is in vier jaar opbrengst gemeten in de combinatiebehandeling van NKG en compost, elk jaar in een ander gewas. Dit zijn te weinig metingen om harde conclusies te kunnen trekken. In de zaaiui geeft de combinatie een niet-significant opbrengstverhoging van 7% (**Figuur 3-39**). In de poot aardappel heeft NKG (+11%) en de combinatie (+9%) allebei een significant positief effect op de opbrengst. In de zomergerst geeft compost en de combinatie significante opbrengstverbeteringen (ca. +13%). In de conservenerwt zijn er positieve effecten door alle drie maatregelen (+13% tot +17%) maar deze zijn niet significant. Verschillen in opbrengsten kunnen ook komen door verschillende momenten van toedienen. Deze eerste resultaten geven de indruk dat de effecten van de combinatie gewasafhankelijk zijn en dat één van de maatregelen voor het grootste deel het effect bepaalt. Er zijn geen tekenen van een interactie (versterkt of verminderd effect) door de combinatie, terwijl een positieve interactie of optelbare effecten een mogelijke hypothese is voor een verbeterde bodemkwaliteit in het algemeen.

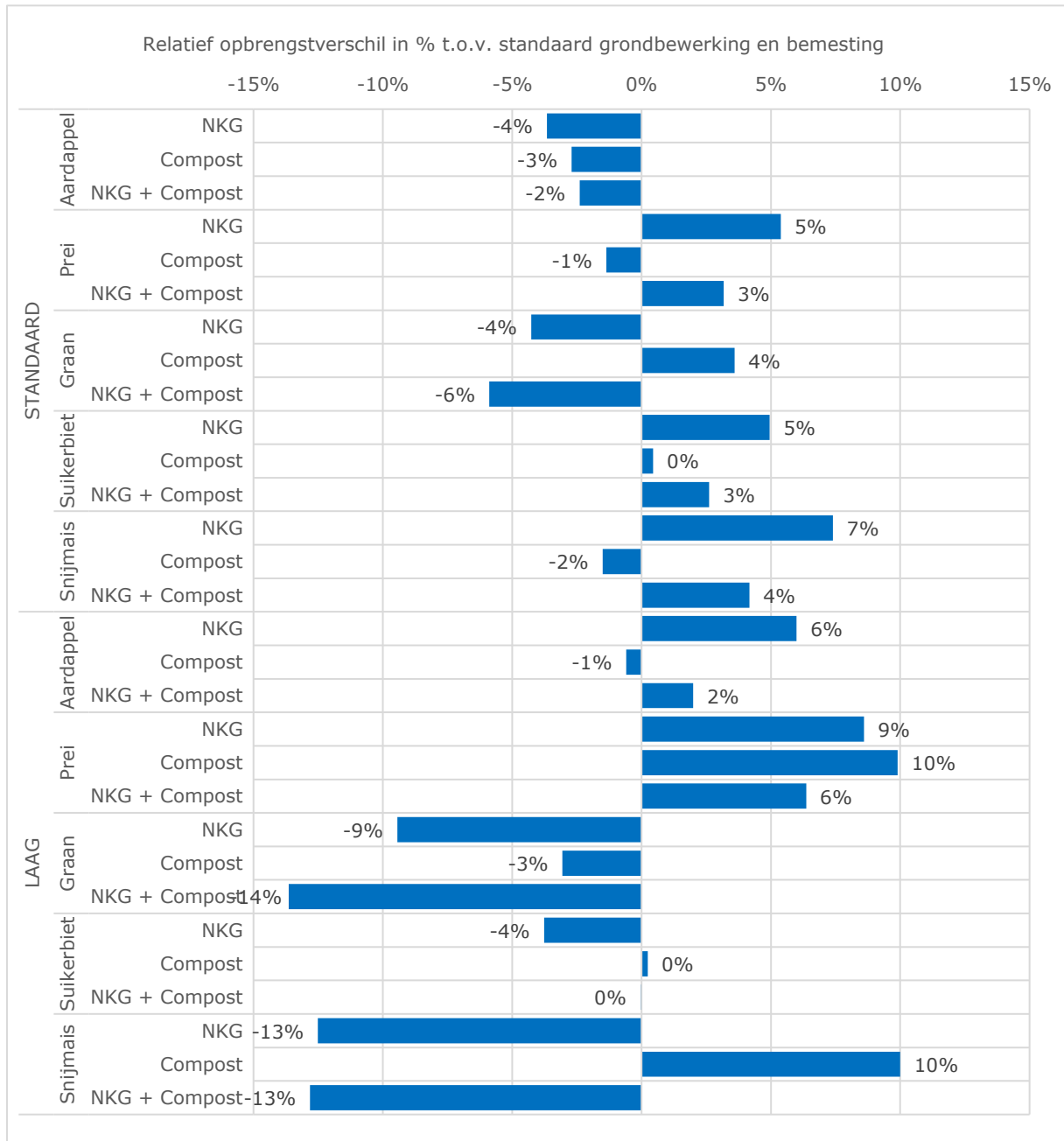
Samenvatting resultaten		
Klei	○	Mogelijk verhoogde opbrengsten afkomstig van één van de maatregelen
Zand	○	Geen eenduidig effect
Dalgrond	●	Geen significante effecten



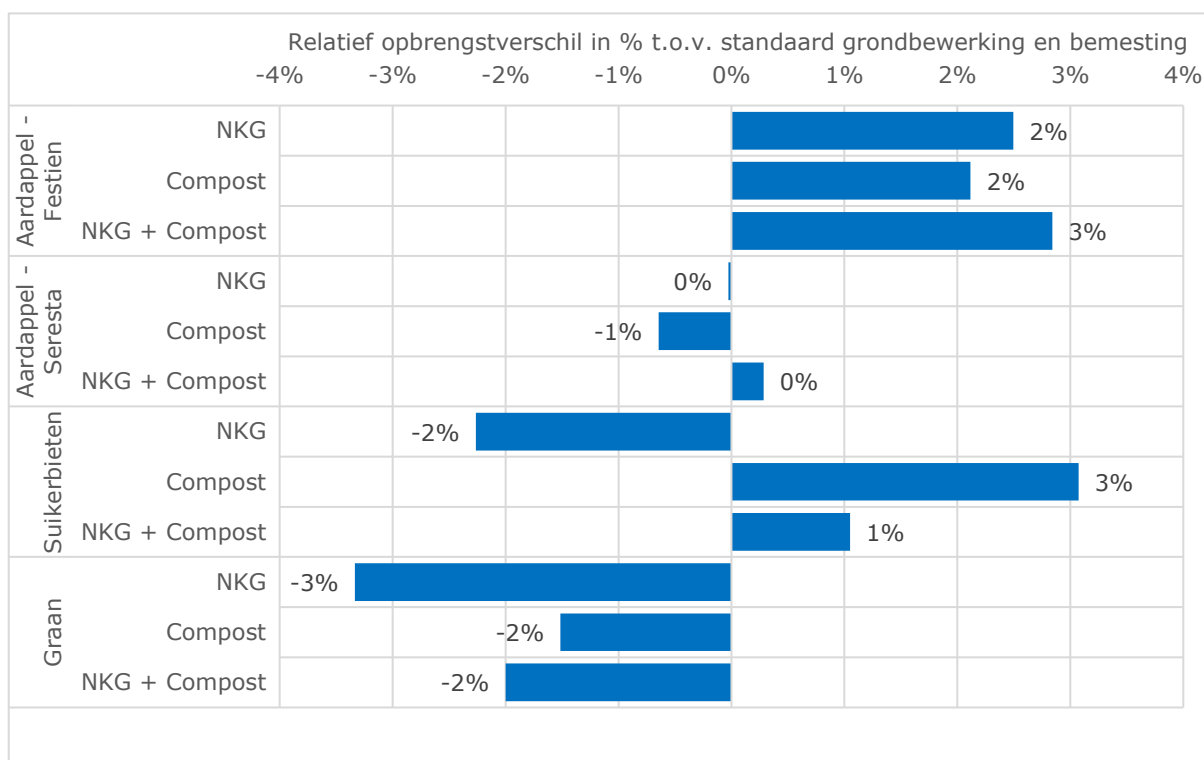
**Figuur 3-39.** Klei (2015-2019): Relatief opbrengstverschil in marktbaar opbrengsten ten opzichte van ploegen en standaard bemesting. NKG is hier behandeling minimaal (zonder woelen). Oranje staven staan voor een statistisch significant verschil met de referentie.



In de proef op zand zijn onvoldoende metingen uitgevoerd om een statistische toets uit te kunnen voeren. Het verschil tussen de combinatie en de losse maatregelen was voor alle gewassen klein (**Figuur 3-40**). Alleen voor graan had de combinatie-maatregel een sterker verschil met de standaard dan beide maatregelen apart. Wat opvalt in de resultaten is dat de effecten van de losse én gecombineerde maatregel op opbrengsten in systeem LAAG groter zijn dan in systeem STANDAARD. Dit zou mogelijk kunnen komen door het verhoogde organische materiaal in de wortelzone door NKG en compost samen. In hoofdstuk 3.2.1 is ook aangetoond dat het effect van compost groter is in systeem LAAG dan in systeem STANDAARD.



**Figuur 3-40.** Zand: Relatief opbrengstverschil in marktbaar opbrengsten ten opzichte van ploegen en standaard bemesting. Aardappel: 2016-2017, mais: 2015-2016, suikerbiet: 2014-2015, graan: 2014, 2019, prei: 2013, 2018 en 2019. Geen statistische toets is uitgevoerd i.v.m. de kleine hoeveelheid data.



**Figuur 3-41.** Dalgrond (2013-2020): Relatief opbrengstverschil in marktbaar opbrengsten ten opzichte van spitten en standaard bemesting. Verschillen t.o.v. **Figuur 3-5** en **Figuur 3-1** zijn te verklaren door verschillen in tijdsperiode waarnaar is gekeken. Er waren geen significante effecten.

Op dalgrond zijn er geen statistisch significante effecten gemeten van de drie behandelingen op opbrengsten (**Figuur 3-41**). De combinatie-behandeling heeft ook voor geen van de gewassen een groter effect dan de maatregelen apart. Een opvallend resultaat zijn de uiteenlopende effecten bij de twee aardappellassen. Festien heeft een positief effect door de maatregelen terwijl Seresta een neutraal tot licht negatief effect laat zien. De samenvattende tabel wordt voor zand- en dalgrond lichtgroen ingevuld op basis van de resultaten van de analyse van de losse maatregelen (3.1.1 en 3.2.1) (zie ook Bijker et al., 2022).

### 3.7.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

**Resultaat:** In geen van de proeven is gemeten aan bodemfysische indicatoren in de combinatie-behandeling. Omdat een positief effect op waterregulatie door NKG is aangetoond op klei maar niet op zand- of dalgrond, wordt hier een lichtgroene en een gele kleur gekozen, respectievelijk.

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Positief effect door NKG
Zand - en dalgrond	E	Geen effect door NKG

**Discussie:** Door toepassing van zowel NKG als compost wordt een verbeterde bodemstructuur en vochthuishouding verwacht. In de literatuur is een studie gevonden over het effect van compost en NKG op aggregaatstabiliteit op een leemgrond (Oblaum et al., 2019). Daar zijn geen interacties tussen compost en bodembewerking gevonden en een consistent verbeterend effect op aggregaatstabiliteit werd alleen gevonden voor de behandeling NKG.

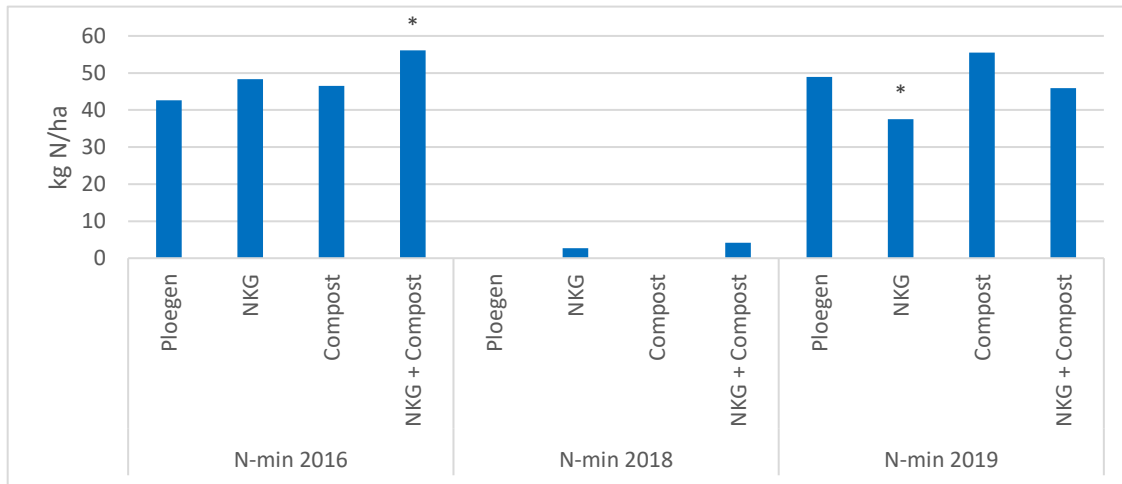
### 3.7.3 Waterzuivering

#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

**Resultaat:** In de proef op dalgrond is niet gemeten aan N-min of nitraatuitspoeling in de combinatie van NKG en compost.

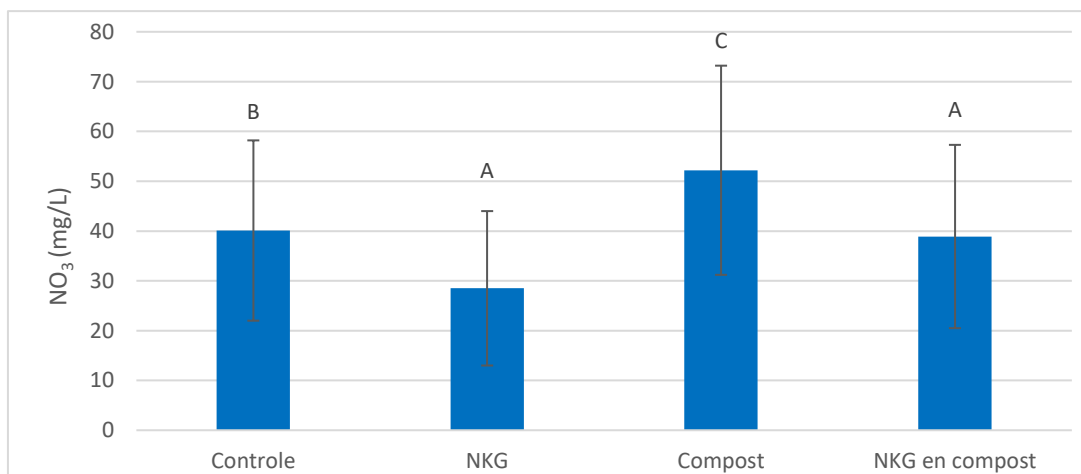
Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen eenduidig effect
Zand- en dalgrond	●	Geen effect op N-min najaar of nitraatuitspoeling

Op klei is in drie jaar gemeten aan de N-min in de combinatie behandeling. De resultaten zijn niet eenduidig en vragen om aanvullende metingen om iets te kunnen concluderen voor dit onderwerp (**Figuur 3-42**).

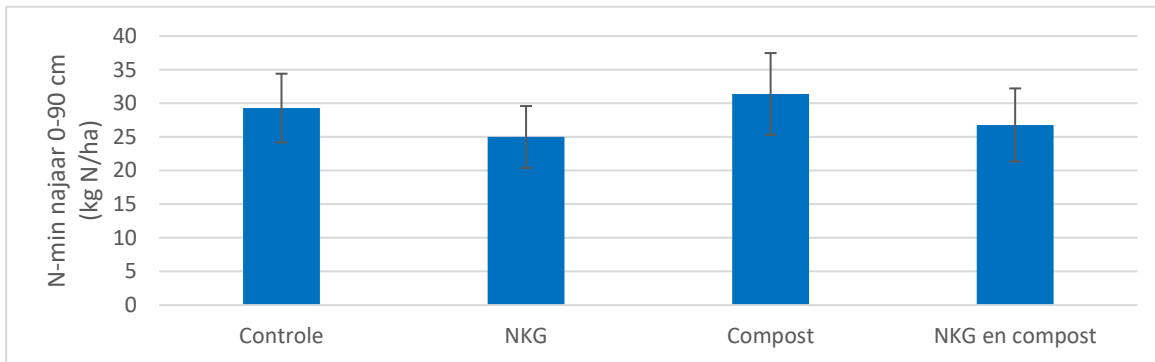


**Figuur 3-42.** In de proef op klei; minerale stikstof in de bodemlaag 0-60 cm na de oogst in de jaren 2016-2019. Een ster (\*) staat voor een significant verschil met de referentie (ploegen zonder compost).

Op zand is geen significant effect van de combinatie van de maatregelen gevonden op N-min (alle lagen) of de nitraatuitspoeling ten opzichte van de referentie (**Figuur 3-43** en **Figuur 3-44**). Er is wél voor uitspoeling een significant verschil tussen de combinatiemaatregel en de losse maatregelen (**Figuur 3-43**).



**Figuur 3-43.** In de proef op zand; nitraat in het bovenste grondwater, jaren 2012-2020. Verschillende letters duiden een statistisch significant verschil.



**Figuur 3-44.** In de proef op zand; systeem STANDAARD, minerale stikstof in het najaar in de bodemlaag 0-90 cm, jaren 2012-2020. Geen verschillen waren statistisch significant.

**Discussie:** Een hypothese voor het combineren van NKG en compost is dat NKG zorgt voor een tragere mineralisatie van stikstof uit de compost door een vertraagde afbraak. Dit zou kunnen resulteren in een lagere N-min bij de combinatie van NKG en compost dan bij alleen compost en dus mogelijk een positief aanvullend effect van de combinatie van de twee. Dit wordt niet gezien in de metingen op klei maar wel op zand. Deze hypothese wordt ook ondersteund door een driejarig Belgisch experiment waaruit geconcludeerd wordt dat de combinatie van compost en NKG niet de noodzaak geeft tot een aangepaste bemesting om stikstofverliezen te vermijden (Willekens et al., 2014a).

### 3.7.4 Recycling van nutriënten

#### **NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten**

**Resultaat:** Om nutriëntenbalansen te kunnen analyseren zijn metingen aan aangevoerde en afgevoerde nutriënten uit meerdere jaren gewenst waarbij ook statistisch significante effecten van de maatregelen zijn gevonden op opbrengsten. Alleen op dalgrond is voldoende daaraan gemeten maar zijn geen effecten op opbrengsten gevonden waardoor geen effecten op recycling van nutriënten te verwachten zijn.

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Extrapolatie o.b.v. effect compost en NKG
Zand	E	Extrapolatie o.b.v. effect compost
Dalgrond	●	Geen effect

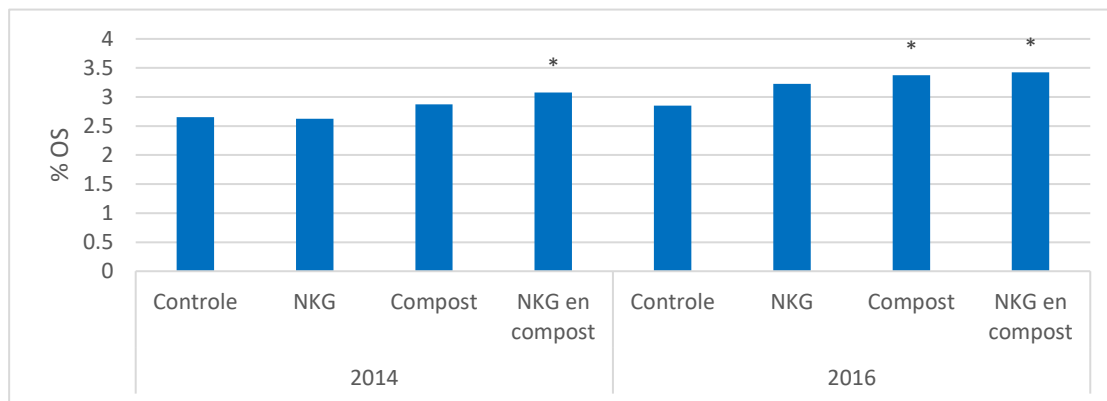
**Discussie:** Omdat NKG eventueel zorgt voor een tragere afbraak van de compost en omdat een hoger stikstofvoorraad in de bodem gevonden wordt op klei kan gesteld worden dat als deze maatregelen gecombineerd worden dit effect op het bodemstikstofoverschot gaat vergroten bij het combineren van de maatregelen. Op zand zorgt compost als losse maatregel voor hogere overschotten en een lagere nutriëntenefficiëntie waardoor dit ook verwacht wordt bij de combinatie met NKG.

### 3.7.5 Koolstofvastlegging

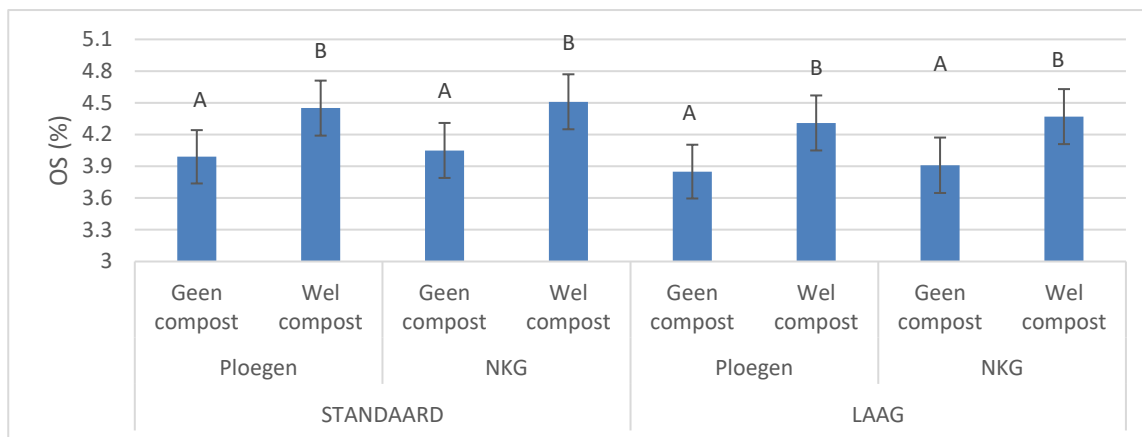
#### **Koolstofopslag en broeikasgasemissies**

**Resultaat:** Op klei is het organische stofgehalte in twee jaren gemeten in drie bodemlagen. Verschillen tussen de behandelingen en de referentie worden alleen gevonden in de laag 0-15 cm (**Figuur 3-46**). In beide jaren is de OS significant hoger in de combinatie-behandeling dan in de referentie, in 2016 is de OS in de compostbehandeling ook significant hoger dan de referentie. De combinatie lijkt evenveel of een hoger OS-gehalte te geven.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Verhoogde OS in bovenste laag en o.b.v. bevinding voor compost in 3.2.5
Zand- en dalgrond		



**Figuur 3-46.** Klei: %OS in de laag 0-15 cm geanalyseerd met de gloeiverlies methode. Een ster(\*) staat voor een significant verschil met de referentie (ploegen).



**Figuur 3-45.** Zand: %OS in de laag 0-25/30 cm (2019-2021) op perceel 18 en 27, geanalyseerd met de gloeiverlies methode. Verschillende letters staan voor significante verschillen.

In de proef op zand is gevonden dat compost, ook in combinatie met NKG, zorgt voor significant hogere organische stof in de bovengrond, een toename van ca. 0,45% organische stof (**Figuur 3-45**). In de proef op dalgrond is niet gemeten aan de koolstof of organische stof in de combinatie behandeling van de twee maatregelen. Omdat de organische stof hoger is in de combinatiebehandeling op klei en zand, en omdat koolstofvastlegging is aangetoond is voor compost voor beide grondsoorten in hoofdstuk 3.2.5, wordt de tabel lichtgroen ingevuld.

**Discussie:** Deze bevindingen komen overeen met de hypothese dat het organische stof wat aangevoerd wordt (in dit geval de compost) met NKG over een kleinere diepte verspreid wordt, met een hogere concentratie in de bovenste laag als resultaat. Een ander aspect relevant voor koolstofvastlegging is dat het organische stof van de compost ook langzamer zou kunnen afbreken bij NKG dan bij ploegen waardoor de opslag van organische stof in de bodem hoger wordt. Onderzoek van Willekens et al. (2014b) toont verhoogde koolstof in de 0-10 cm laag door zowel NKG als compost. De maatregelen hadden ook in deze laag een interactie met HWC, wat de beschreven hypothese ondersteunt.

### 3.7.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat:** In geen van de drie proeven is gemeten aan biodiversiteit in de combinatie-behandeling maar bij individuele toepassing is voor beide maatregelen aangetoond dat ze een licht positief of positief effect hebben op de biodiversiteit.

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Positief effect door beide maatregelen
Zand- en dalgrond		

**Discussie:** De combinatie van de maatregelen heeft mogelijk een ander effect op biodiversiteit dan de maatregelen apart door de veranderde verdeling van de compost door de bouwvoor bij NKG. Aangezien de compost voeding biedt voor het bodemleven en hogere aantallen en soortendiversiteit gevonden wordt in NKG (hoofdstuk **Error! Reference source not found.**), hebben deze maatregelen mogelijk

aanvullende positieve effecten op biodiversiteit wanneer ze gecombineerd worden. In de studie van Willekens et al. (2014b) werden de grootste verschillen in bodemleven gevonden in de laag 0-10 met 44% meer microbiële biomassa bij NKG en 27% hoger bij een hoge aanvoer van compost. Er was echter geen extra effect door de combinatie van de maatregelen.

### 3.7.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten				
	Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Mechanisatie	Toepasbaarheid
Klei	Bouwplanafhankelijk, ervaring opdoen met tijdstip van grondbewerking	Extrapolatie -gelijke of hogere opbrengsten, lichte kostenbesparing	Beperkte investeringen voor NKG	Beperkt door beschikbaarheid van compost
Zand- en dalgrond	Bouwplanafhankelijk, ervaring en kennis opdoen in onkruidbeheersing	Licht positief effect op bedrijfsresultaat		

#### Kennis en kunde

De toepasbaarheid van de combinatie van NKG en compost wordt met name beperkt door de toepasbaarheid van NKG (hoofdstuk 3.1.7) en de beschikbaarheid van compost (hoofdstuk 3.2.7). Er is geen aanvullende behoefte aan kennis nodig bij toepassing van beide maatregelen samen. Bij compost van fijne kwaliteit zal de compost niet storen bij zaai en opkomst van fijnzadige gewassen.

#### Bedrijfsresultaat en arbeid

Het economische bedrijfsresultaat van de combinatie van de maatregelen NKG en compost kunnen vergeleken worden met de resultaten van de afzonderlijke maatregelen in hoofdstukken 3.1.7 en 3.2.7. Voor beide grondsoorten compenseert de besparing op de kosten van NKG niet de kosten van de compost. Op zandgrond leidt de combinatie tot een positief opbrengstverschil, vergelijkbaar met die voor compost als losse maatregel. In het systeem met een lage organische stof aanvoer resulteert NKG in lagere opbrengsten, vooral in de winterpeen, waardoor de opbrengstverbetering voor de combinatie van NKG en compost kleiner is. Het bedrijfsresultaat voor de combinatie betreft €228 per ha, gebaseerd op €130 per ha voor NKG en €149 per ha voor compost (**Tabel 3-16**).

**Tabel 3-16.** Overzicht van het economische bedrijfsresultaat van de combinatie van niet kerende grondbewerking en compost op zand- en dalgrond (Wolf et al., 2019; Bijker et al., 2022).

Grondsoort	Referentie	Maatregel	Verskil kosten € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Verskil opbrengsten € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Totaal verschil € ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>
Zand	Systeem STANDAARD	STANDAARD, NKG + compost	-€45	€273	€228
Zand	Systeem LAAG	LAAG, NKG + compost	-€30	€490	€398
Dalgrond	Spitten met standaard bemesting	NKG + compost	-€33	€48	€15

Op dalgrond heeft de combinatie van NKG en compostaanvoer een redelijk neutraal kosten-batenverschil van €15 per ha. Dit is gebaseerd op een positief verschil voor NKG van €51 per ha en voor compost €-43 per ha. Het opbrengstverschil was €48 per ha met bijhorende kosten van €33 per ha. De kostenbesparing door NKG compenseert de redelijk hoge kosten per ton compost (**Tabel 3-16**)(Bijker et al., 2022).

## 3.8 Gereduceerde grondbewerking en teelt van groenbemesters

In dit hoofdstuk wordt enkel gekeken naar wel of geen groenbemester bij ploegen en minimale grondbewerking (NKG-) in de proef op klei (**Bijlage** Error! Reference source not found.). Enkel de objecten waarbij de groenbemester in het najaar wordt ondergewerkt zijn meegenomen in deze analyse (voor zowel ploegen als NKG).

### 3.8.1 Productiviteit

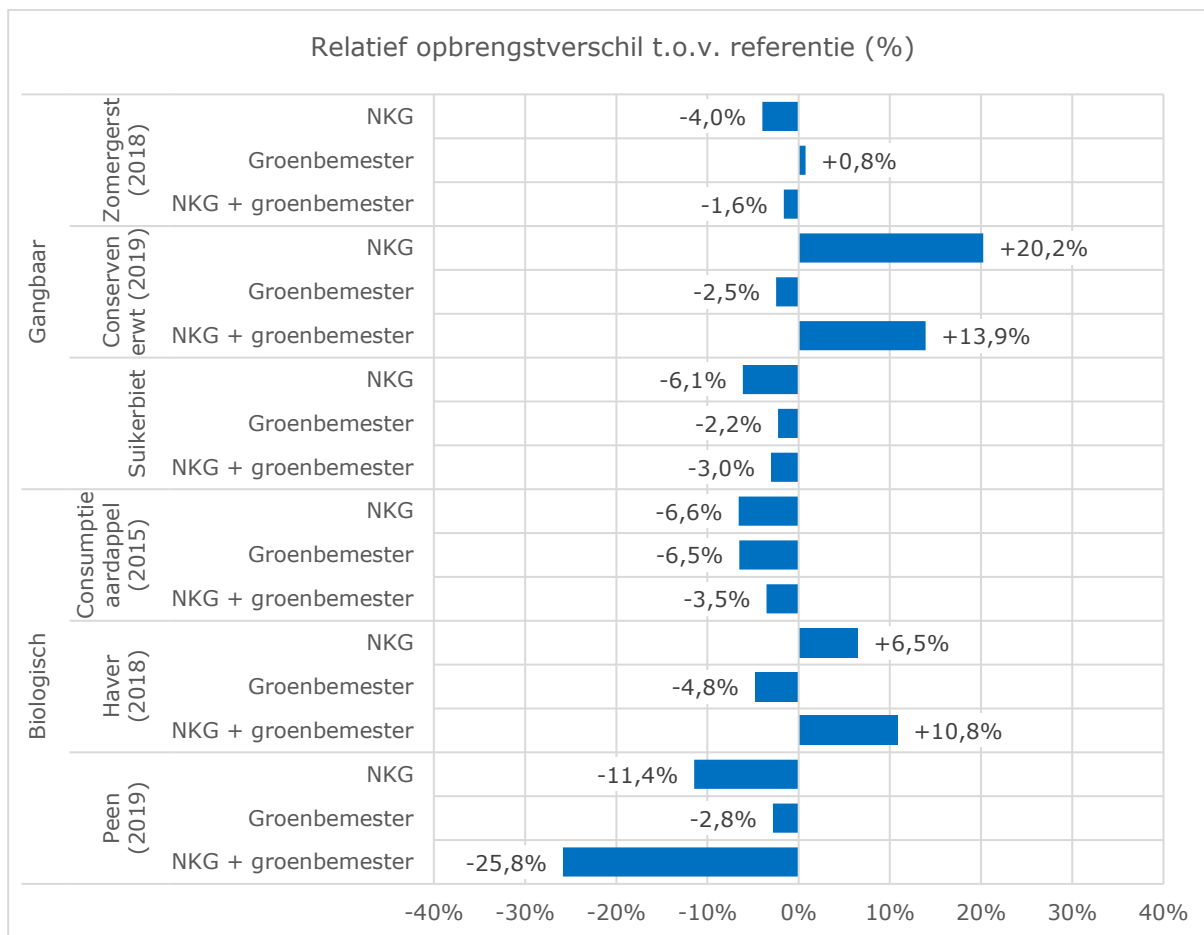
#### Marktbaar opbrengst en kwaliteit

**Resultaat:** Figuur 3-47 laat het verschil zien in opbrengsten tussen ploegen en NKG, wel of geen groenbemester en de combinatie van NKG met de teelt van een groenbemester. Voor de meeste gewassen geldt dat de afzonderlijke effecten van maatregelen groter is dan van een combinatie van deze twee maatregelen. Dit is het geval voor zomergerst, conservenerwt, suikerbiet en consumptie aardappel. Enkel voor haver en peen was het effect van de combinatie van de maatregelen sterker dan voor de maatregelen apart. In het geval van peen was dit negatief, in het geval van haver was dit positief.

Samenvatting resultaten		
Klei (gangbaar)	○	Geen aanvullend effect op opbrengst
Klei (biologisch)	○	Geen aanvullend effect op opbrengst, iets betere kwaliteit

Bij zomergerst is het negatieve effect van de combinatie aan maatregelen op de opbrengst waarschijnlijk toe te schrijven aan de grondbewerking, ook bij suikerbiet lijkt dit het geval. Bij de conservenerwt lijkt het positieve effect van de combinatie aan maatregelen voort te komen uit de NKG. Bij de consumptieaardappel presteert de combinatie minder slecht dan de afzonderlijke maatregelen, al is het verschil klein. Bij haver lijkt het positieve effect van de combinatie aan maatregelen voort te komen uit de NKG.

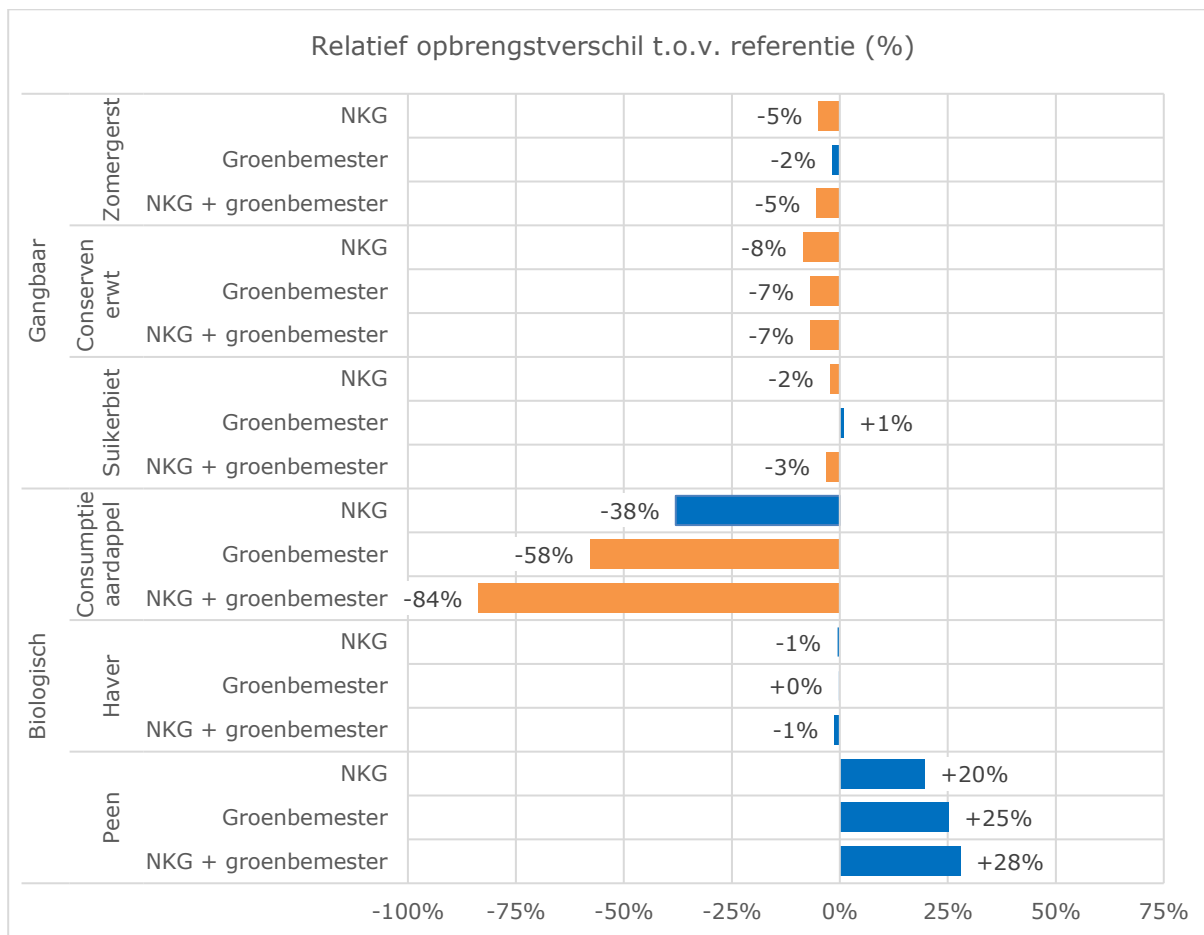
Al met al lijkt de combinatie aan maatregelen enkel gunstig voor de opbrengst van conservenerwt en haver, echter alleen de opbrengst bij haver is statistisch significant. Deze eerste resultaten geven dus de indruk dat de teelt van een groenbemester in combinatie met NKG geen verschil in de opbrengsten geeft.



**Figuur 3-47.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) ten opzichte van de referentie, in oranje worden statistisch significante effecten aangeduid. Absolute cijfers in dit figuur verschillen met die in **Figuur 3-1**, dit komt doordat in **Figuur 3-1** resultaten worden gepresenteerd van drie gangbare en twee biologische percelen, terwijl in dit figuur resultaten worden gepresenteerd van de sub-veldjes van één gangbaar en één biologisch perceel.

In **Error! Reference source not found.** worden de kwaliteitsaspecten van gewassen weergegeven. Het grootste verschil wordt gevonden bij de consumptieaardappel, daar werd significant minder tarra (zowel als  $\text{kg ha}^{-1}$  als percentage van de bruto-opbrengst) gevonden wanneer NKG werd gecombineerd met een groenbemester. Bij de teelt van peen kan de combinatie van NKG en groenbemesterresten een mogelijk nadelig effect hebben op de tarra, vanwege vertakkingen en kromme peen. Peen heeft namelijk een fijne en goed doorwortelbare bodemstructuur nodig. Bij de peen werd dan ook meer tarra gevonden bij de combinatie van maatregelen dan de twee maatregelen afzonderlijk, de verschillen waren echter niet significant. Bij de zomergerst werd een significant lager DKG gemeten (50 g voor de combinatie ten opzichte van 53 g bij de referentie), wat waarschijnlijk toe te schrijven is aan de NKG. Een ideaal duizendkorrelgewicht ligt tussen de 45 en 55 gram, de gemeten waarden zijn daarom beide voldoende. Ook bij de erwten was het verschil tussen de combinatie van maatregelen en de referentie klein, maar wel significant. Een optimale TM-waarde ligt grofweg tussen de 110 en 140, de TM-waarde gemeten bij het combinatieobject (141) is dus gunstiger dan bij de referentie (151). Bij de suikerbiet werd een lager suikergehalte (en totale suikeropbrengst) gevonden bij de combinatie van maatregelen, waarschijnlijk werd het effect van de NKG versterkt door de groenbemester. Het suikergehalte van beide objecten was voldoende ( $\geq 17\%$ ), het verschil tussen de twee objecten was ruim  $1250 \text{ kg suiker ha}^{-1}$ . Deze eerste resultaten geven de indruk dat de teelt van een groenbemester in combinatie met NKG geen nadelig effect heeft op de productkwaliteit.





**Figuur 3-48.** Gangbaar en biologisch: relatieve verschillen in kwaliteitskenmerken per gewas, ten opzichte van de referentie, significante verschillen zijn in oranje aangegeven. Het kwaliteitskenmerk voor de consumptieaardappel en peen is tarra, de TM-waarde voor de conservenerwt, het suikergehalte voor de suikerbiet, en het duizendkorrelgewicht voor de zomergerst en de haver (laatstgenoemde is niet getoetst op significantie).

**Discussie:** Gewasresten van de groenbemesters kunnen problemen geven wanneer deze overmatig aanwezig en niet goed ondergewerkt zijn. Dit kan met name bij de teelt van peen een uitdaging zijn<sup>2</sup>. Daarbij komt dat er uit ervaring met NKG in peen is gebleken dat er meer grove kluiten te vinden zijn in de ruggen dan bij geploegde grond, waardoor er minder planten opkwamen. Daarom is er in deze proef voor gekozen ondiep te ploegen voor de peen, en na een groenbemester een grotere zaaihoeveelheid toe te passen. Deze wijzigingen hebben echter niet geleid tot hogere opbrengsten. De peenopbrengst bij een groenbemester bij ondiep ploegen was lager dan bij standaard ploegen (data niet weergegeven), de hoogste opbrengst werd behaald bij standaard ploegen zonder groenbemester, de opbrengsten tussen de objecten waren echter niet significant. Ook in 2009, 2010 en 2013 werd er peen geteeld in combinatie met groenbemesters (witte klaver of wikke) en NKG. Bij een groenbemester i.c.m. NKG werd een lagere opbrengst behaald dan bij een groenbemester i.c.m. ploegen. Dit werd toegeschreven aan minder goed bezakte ruggen bij NKG en daardoor minder aansluiting met het vocht in de ondergrond, waardoor er een grotere kans ontstond op het droog liggen van de zaadjes (van Balen & Haagsma, 2015).

Ook bij de teelt van aardappel ontstaan uitdagingen bij de rugopbouw wanneer groenbemesters en NKG worden gecombineerd. De groenbemesterresten in de rug hoeven geen problemen te geven, mits de pootaardappel goed bedekt is. De vertering van groenbemesterresten in de rug zal snel verlopen wanneer de rug een luchtige structuur heeft, waardoor mogelijk de aardappelryg instabiel wordt en volume verliest (van Balen et al. 2019). In deze proef was dit risico waarschijnlijk beperkt, omdat er voorafgaand aan de teelt een gele mosterd is gezaaid welke erg vorstgevoelig is. De vertering is dan al ruim voor de rugopbouw op gang gekomen, mede doordat de rugopbouw in de biologische teelt zo lang

<sup>2</sup> In de nieuwsbrief (2015) is in figuur 4 en 5 zijn meer gewasresten te zien in de rug bij NKG dan in geploegde grond.

mogelijk wordt uitgesteld vanwege onkruid. De teelt van consumptieaardappel (2015) in combinatie met NKG en groenbemesters heeft geleid tot een iets lagere opbrengst. De opbrengst bij de combinatie was overigens beter dan bij de groenbemester i.c.m. ploegen. Deze verschillen waren echter niet significant. Dit past in het bredere beeld van de proef, waarbij de combinatie van maatregelen niet leidde tot een sterk verschil in opbrengsten ten opzichte van een groenbemester met ploegen (van Balen et al., 2019).

Ook bij bieten kan de opkomst lager zijn bij een groenbemester in combinatie met niet kerende grondbewerking (Wiepkema, 2021; SL, 2021; Pringas en Märlander, 2004). Bij bieten geven gewasresten van de groenbemesters in de bovenste bodemlaag echter minder risico, omdat het gewas een lager plantaantal tot op zekere hoogte kan compenseren (Tönjes, 2021). Resultaten op de uiteindelijke opbrengst uit de literatuur zijn beperkt.

Bij granen zoals haver er gerst wordt in Nederland vaak een positief effect gevonden van NKG op de opbrengst (Willenkes et al., 2014). In deze proef was dat alleen voor haver het geval. Over het effect van NKG in combinatie met een groenbemester op de opbrengst van granen is uit de literatuur weinig bekend.

### 3.8.2 Waterregulatie

#### Bodemfysische indicatoren

**Resultaat:** Aan de fysische bodemindicatoren is beperkt gemeten, enkel de bulkdichtheid van 2021 is bekend. De verwachting is dat bij de combinatie van maatregelen de bulkdichtheid lager is dan bij de referentie, door meer plantaardig materiaal en poriën. Uit Tabel 3-17 blijkt dat dit het geval is voor zowel het gangbare als biologische systeem. Het effect van de combinatie van maatregelen lijkt groter dan van de maatregelen afzonderlijk, het effect van de groenbemester is echter niet additief. De bulkdichtheid bij NKG met groenbemester verschilde niet significant van NKG zonder groenbemester. Hieruit is op te maken dat de lagere bulkdichtheid in de laag 0-15 cm toe te schrijven is aan de grondbewerking. In de laag 15-30 cm werd er bij de combinatie van maatregelen een hogere bulkdichtheid gemeten, met name in het biologische systeem.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen significant extra effect door de combinatie

**Tabel 3-17.** Bulkdichtheid ( $kg\ m^{-3}$ ) gemeten in 2021 in de bodemlaag 0-15 en 15-30 cm. Een ster (\*) geeft een significant verschil met de referentie (ploegen, geen groenbemester) weer.

Grondbewerking	Object	Gangbaar		Biologisch	
		0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Ploegen	Geen groenbemester (referentie)	1258	1260	1250	1246
	Groenbemester	1259	1261	1246	1248
NKG	Geen groenbemester	1246*	1260	1232*	1255*
	Groenbemester	1243*	1261	1230*	1258*

### 3.8.3 Waterzuivering

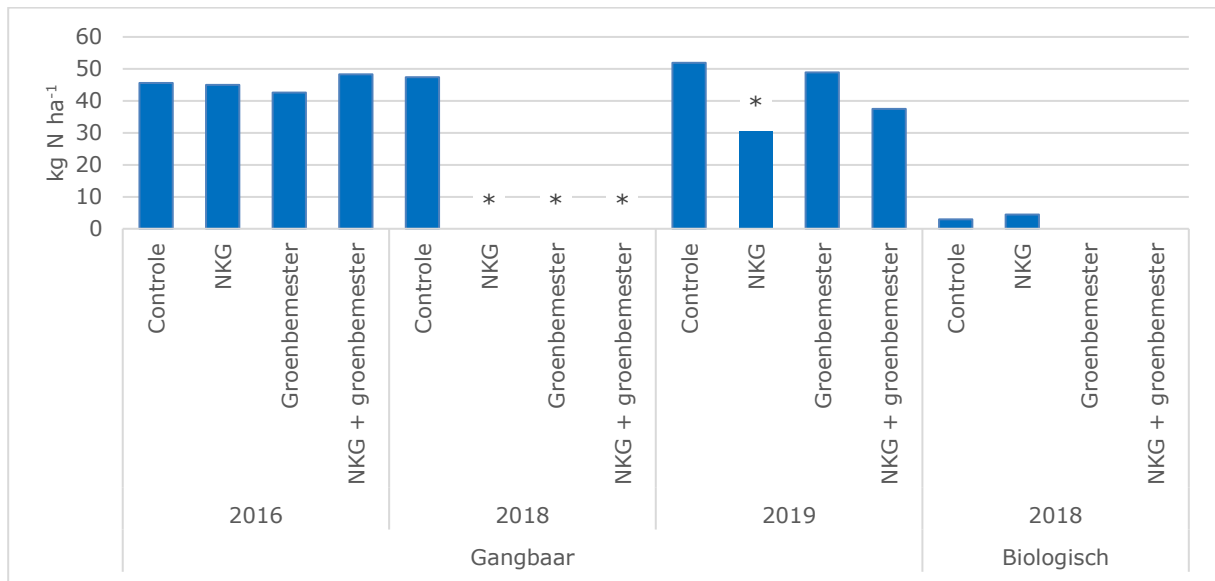
#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

**Resultaat en discussie:** De minerale stikstof gemeten in het najaar bij NKG en een groenbemester, en een combinatie daarvan wordt gepresenteerd in **Figuur 3-49**. Het combineren van de teelt van een groenbemester met NKG lijkt een wisselend effect te hebben op de N-min gemeten in

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Extrapolatie op basis van effecten individuele maatregelen

het najaar. In 2016 werd bij de combinatie van maatregelen een hogere N-min gemeten dan bij de afzonderlijke maatregelen en de referentie, al zijn de verschillen klein en bovendien niet significant. Mogelijk kwam het beperkte effect door de geringe hoeveelheid biomassa. In 2018 werd er bij elke maatregel (en de combinatie) een statistisch lagere N-min gemeten dan bij de referentie. De groenbemester was toen goed ontwikkeld (zie Bijlage 2). In alle voorgaande jaren werd er bij NKG op klei geen lagere N-min gemeten (zie pagina 22), waarom er in 2018 en 2019 een significant lagere N-min wordt gemeten is onduidelijk en past niet binnen de tendens die werd gevonden door Hoek et al.

(2019). Gemiddeld genomen werd er een lagere N-min gemeten bij de combinatie van NKG en een groenbemester, dit verschil was echter maar in één van de vier gevallen statistisch significant. Omdat zowel voor NKG als groenbesters als losse maatregelen is aangetoond dat deze leiden tot minder stikstofverliezen, wordt de samenvattende tabel lichtgroen ingekleurd.



**Figuur 3-49.** N-min najaar (0-60 cm) gemeten in gangbaar en biologisch, significante verschillen met de referentie worden aangegeven met een ster (\*).

### 3.8.4 Recycling van nutriënten

#### NPK aanvoer, -efficiëntie en -overschotten

**Resultaat:** In **Bijlage** Error! Reference source not found. wordt de nutriëntopname van de gewassen na een groenbemesterteelt weergegeven voor 2018 (gerst en haver) en 2019 (erwt en peen). Wat betreft stikstof wordt

er na een groenbemesterteelt in combinatie met NKG een hogere concentratie gemeten in haver en peen (de biologische teelten), bij gerst en erwt was het omgekeerde het geval (de gangbare teelten). Ook uitgedrukt in kg N ha<sup>-1</sup> werd er bij de gerst en de erwt een lagere hoeveelheid N opgenomen. Bij de gerst kwam dit mogelijk door de NKG, de N-opname bij een groenbemester i.c.m. ploegen was hoger dan bij NKG. Mogelijk kwam de stikstofmineralisatie uit de groenbemester in combinatie met NKG later op gang dan met ploegen, maar dit is niet met zekerheid te zeggen. Bij de biologische teelt werd er bij de haver een hogere hoeveelheid N opgenomen, maar niet bij de peen. De haver nam bij NKG wel meer stikstof op, ook in combinatie met een groenbemester. Bij de peen werd een hogere N opname gevonden, maar een lagere N opname bij de combinatie aan maatregelen dan bij de referentie, vermoedelijk wordt de opbrengst bepaald door andere aspecten dan de beschikbaarheid van N. Samengevat leidde de combinatie van de twee maatregelen in drie van de vier gewassen tot een lagere N opname en efficiëntie maar dit effect was erg gering.

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen eenduidig effect

Wat betreft fosfaat gaf de combinatie van maatregelen een lagere opname bij gerst en een hoger gehalte bij de haver. De verschillen lijken vooral voort te komen uit NKG, het verschil in P opname tussen NKG en de referentie is groter dan tussen groenbemester en de referentie.

Bij kalium wordt hetzelfde zichtbaar als bij fosfor, de combinatie van maatregelen leidde tot een lager opname bij gerst en een hoger opname bij haver. Ook bij kalium lijkt dit voornamelijk voort te komen uit NKG.

Samengevat is er geen eenduidig effect van de combinatie van maatregelen op de NPK opname door de gewassen. Wel werd duidelijk dat de fosfor en kalium opname voor een groter deel wordt bepaald door de grondbewerking dan door de groenbemester. Bij stikstof is het omgekeerde het geval, de opname werd voor een groter dele bepaald door de groenbemester dan door de grondbewerking.

**Discussie:** In theorie zou deze combinatie aan maatregelen leiden tot gewasresten die, in tegenstelling tot bij ploegen, in de bovenlaag van de grond blijven. Door minder intensieve grondbewerking zouden deze resten minder snel afbreken, waardoor ook de stikstofmineralisatie later op gang komt en zo ook de stikstof in de bovenlaag blijft (Hoek et al., 2019), en minder makkelijk uitspoelt. Gezien de minerale stikstof is gemeten in de hele laag van 0 tot 60 cm, is het lastig een uitspraak te doen over (het risico op) verliezen naar het grondwater.

### 3.8.5 Koolstofvastlegging

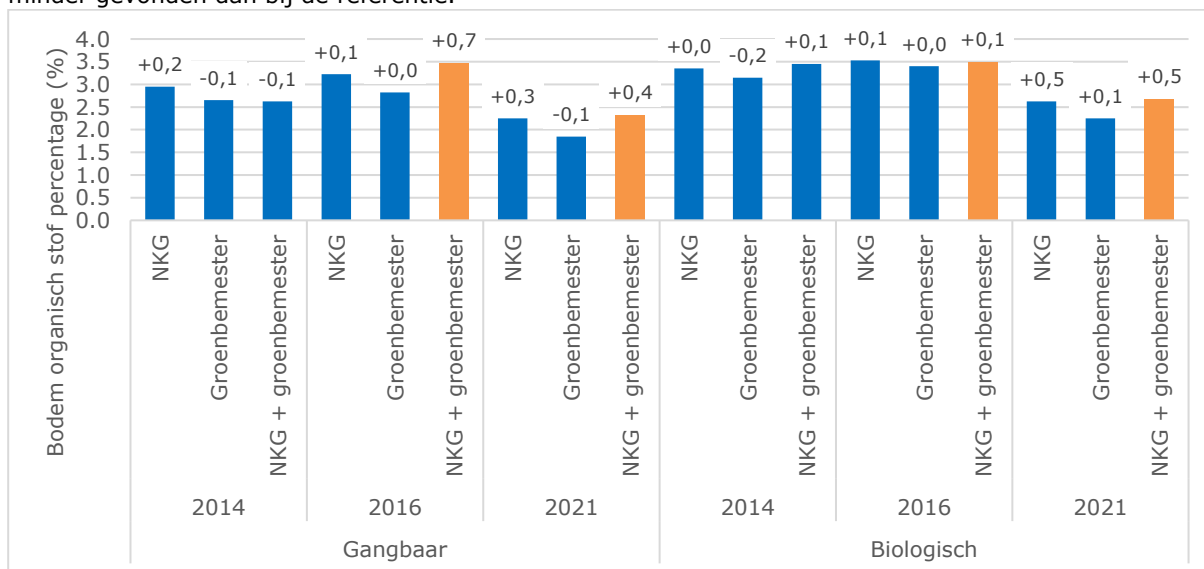
#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

**Resultaat:** Van de proef op klei zijn enkel resultaten bekend van metingen aan het organisch stofgehalte. Deze is gemeten in 2014, 2016 en 2021 en geeft een indicatie van de koolstofvastlegging. De verwachting is dat de combinatie van de groenbemesterteelt met NKG de organische stof in de bovenste laag blijft. De grootste verschillen met de referentie worden dus verwacht in de laag 0-15 cm.

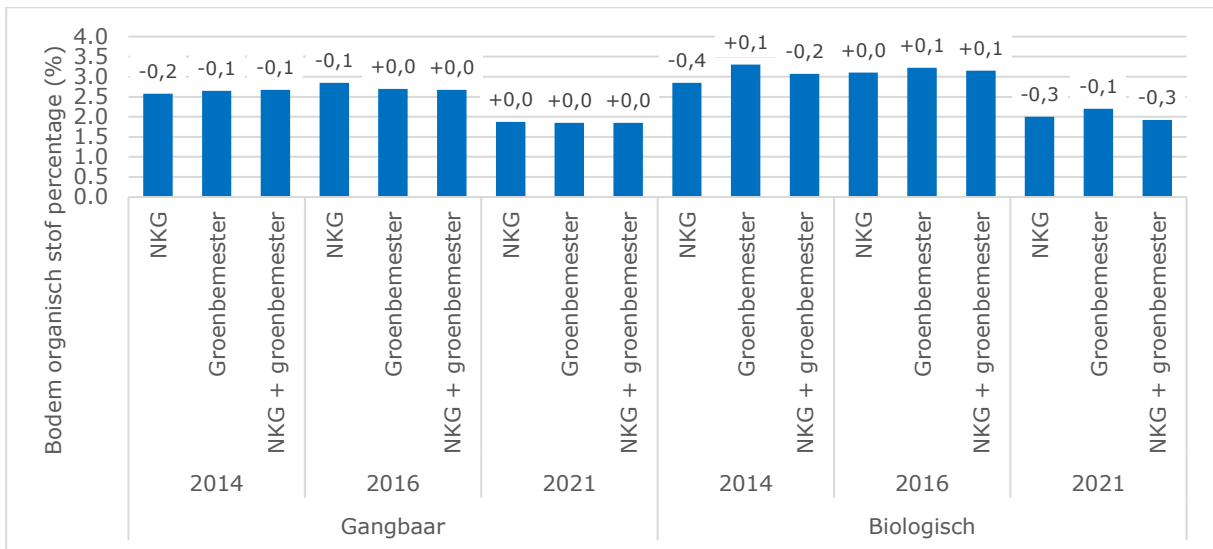
Samenvatting resultaten		
Klei	○	Indicatie van alleen toename in bovenlaag door combinatie

De organisch stof gehalten van de objecten in de laag 0-15 cm worden gepresenteerd in **Figuur 3-50**. Voor het gangbare perceel is het organisch stofgehalte bij de combinatie van maatregelen in 2016 en 2021 hoger dan bij de referentie. Voor het biologische perceel is dat elk jaar het geval. Bij zowel gangbaar als biologisch lijkt het verschil tussen de combinatie aan maatregelen en de referentie specifiek te komen door de combinatie aan maatregelen. Ook voor het koolstofgehalte en bodemvoorraad geldt dat deze hoger is bij de combinatie aan maatregelen dan bij de referentie, dit is 2 en 4 ton C ha<sup>-1</sup> respectievelijk voor het gangbare en biologische perceel.

De verwachting is dat met de combinatie aan maatregelen het organisch stofgehalte in de laag 15-30 cm gelijk zal blijven of licht zal dalen. De resultaten worden weergegeven in Figuur 3-51. Uit de resultaten blijkt dat het organisch stofgehalte inderdaad ongeveer gelijk of lager is dan bij de referentie. Alle gevonden verschillen vallen binnen de aangenomen meetfout, en zijn niet significant. Uitgedrukt in koolstof zijn de verschillen wel aanzienlijk, in het gangbare perceel wordt één ton C ha<sup>-1</sup> meer gevonden bij de combinatie aan maatregelen dan bij de referentie, in het biologische perceel werd 4 ton C ha<sup>-1</sup> minder gevonden dan bij de referentie.



**Figuur 3-50.** Bodem organisch stofgehalte (%) in de laag 0-15 cm van de objecten, de labels geven het verschil weer ten opzichte van de referentie (ploegen zonder groenbemester). Een significant verschil met de referentie wordt in oranje weergegeven.



**Figuur 3-51.** Bodem organisch stofgehalte (%) in de laag 15-30 cm van de objecten, de labels geven het verschil weer ten opzichte van de referentie (ploegen zonder groenbemester). Een significant verschil met de referentie wordt in oranje weergegeven.

**Discussie:** Deze resultaten geven de indruk dat het combineren van een groenbemesterteelt met NKG samenhangt met een hoger organisch stofgehalte in de laag 0-15 cm. Specifiek over de combinatie van deze maatregelen is in de literatuur niet veel bekend. Bloem et al. (2017) keken naar HWC, die een vroege indicator is voor koolstofvastlegging. Zij vonden bij de combinatie aan maatregelen een tweemaal zo'n hoge HWC in de bovenste bodemlaag (12 cm) als bij de referentie.

### 3.8.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

**Resultaat en discussie:** NKG op deze kleigrond gaat gepaard met een hogere soortenrijkdom, grotere hoeveelheid regenwormen, en een hogere bacterie- en schimmelbiomassa (zie hoofdstuk 3.1.6). In combinatie met een hogere en consistentere aanvoer van organisch materiaal via de onder- en bovengrondse biomassa, is de verwachting dat het bodemleven zal profiteren van de combinatie van maatregelen. Het effect van de combinatie van maatregelen op het bodemleven en bodemprocessen is beschreven door Bloem et al. (2017). Na vijf jaar was het aantal schimmels en bacteriën verdubbeld, bovendien veranderde de combinatie van maatregelen de samenstelling van de bacteriegemeenschap. Dit kwam voornamelijk door een minder intensieve grondbewerking, want zonder groenbemester werden vergelijkbare waarden bereikt. De combinatie aan maatregelen lijkt dus geen meerwaarde te hebben voor het bodemleven dan enkel NKG. Dit is echter het resultaat van één proef op klei na vijf jaar, en onvoldoende om verregaande conclusies uit te trekken.

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Groenbemester lijkt geen aanvullend effect te hebben

### 3.8.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten			
Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Machines en werktuigen	Toepasbaarheid
Vergt aandacht en is bouwplan-afhankelijk, voor de praktische uitvoerbaarheid is veel kennis voorhanden	De kosten zijn beperkt, de maatregel vergt meer arbeid. Met fijnzadige gewassen minder gunstig.	Beperkte investeringen voor NKG	Redelijk toepasbaar

#### **Kennis en kunde**

De combinatie tussen een groenbemester en NKG vergt extra aandacht. Bij NKG kunnen niet vorstgevoelige groenbemesters tot in het voorjaar staan. Het is wel noodzakelijk om de groenbemesters tijdig in te werken (2-3 weken voor inzaai), om hinder aan het volggewas te voorkomen. In een systeem zonder ploegen passen granen en grassen alleen voor late gewassen die gepoot of geplant worden. Voorafgaand aan fijnzadige gewassen wordt aangeraden om vorstgevoelige groenbemesters te telen, of deze in het najaar te bewerken.

#### **Bedrijfsresultaat en arbeid**

Door het combineren van groenbemesters met NKG zullen de machine en materiaalkosten niet hoger zijn dan bij de twee afzonderlijke maatregelen. In een systeem zonder ploegen, kan het goed onderwerken van een (grote) groenbemester wel meerdere werkgangen nodig hebben, wat extra arbeid vergt.

#### **Mechanisatie en werktuigen**

Mits er een voorbewerking is uitgevoerd kunnen de gewasresten worden ondergewerkt met een cultivator, schijveneg of een rotorkoepel. Het is van belang dat de bodem voldoende draagkracht heeft wanneer deze bewerking wordt uitgevoerd. Een andere optie is met de (biomulch) frees. Voor het overstappen naar NKG mét een groenbemesterteelt kunnen aanpassingen in het machinepark noodzakelijk zijn, door bijvoorbeeld de aanschaf van een klepelmaaier, cultivator en een zaaimachine met schijfkouters.

### 3.9 Gereduceerde grondbewerking en maaimeststoffen

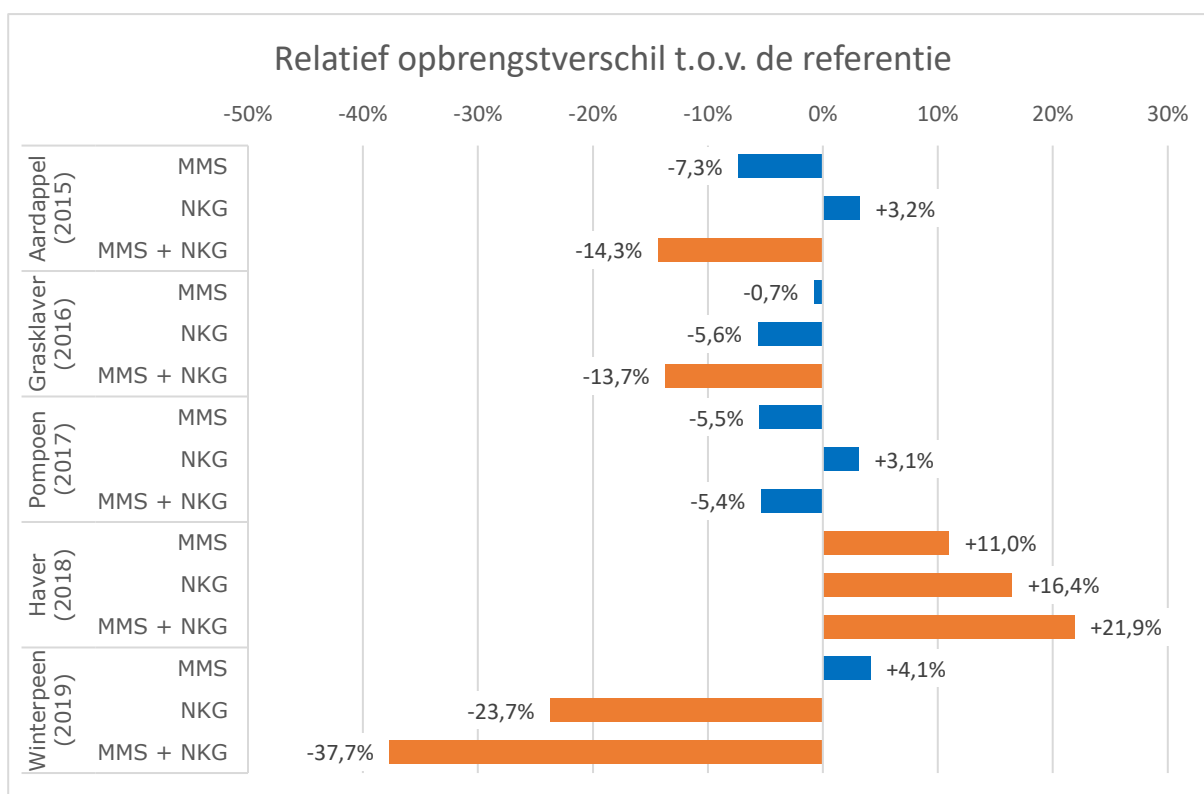
Bij NKG is een snellere waterinfiltratie, minder waterstress en een hogere bacterie- en schimmelbiomassa waargenomen. Dit zou kunnen betekenen dat de stikstofmineralisatie van maaimeststoffen sneller op gang komt en beter aansluit bij de gewasbehoefte. Mogelijk past de toepassing van maaimeststoffen beter in een systeem met NKG dan met standaard ploegen. Dit kan worden onderzocht aan de hand van data van de proef BASIS, waar zowel NKG en maaimeststoffen afzonderlijk als in combinatie zijn aangelegd. In dit hoofdstuk wordt de dubbele maaimeststofgift buiten beschouwing gelaten.

#### 3.9.1 Productiviteit

##### Productiehoeveelheid – en kwaliteit

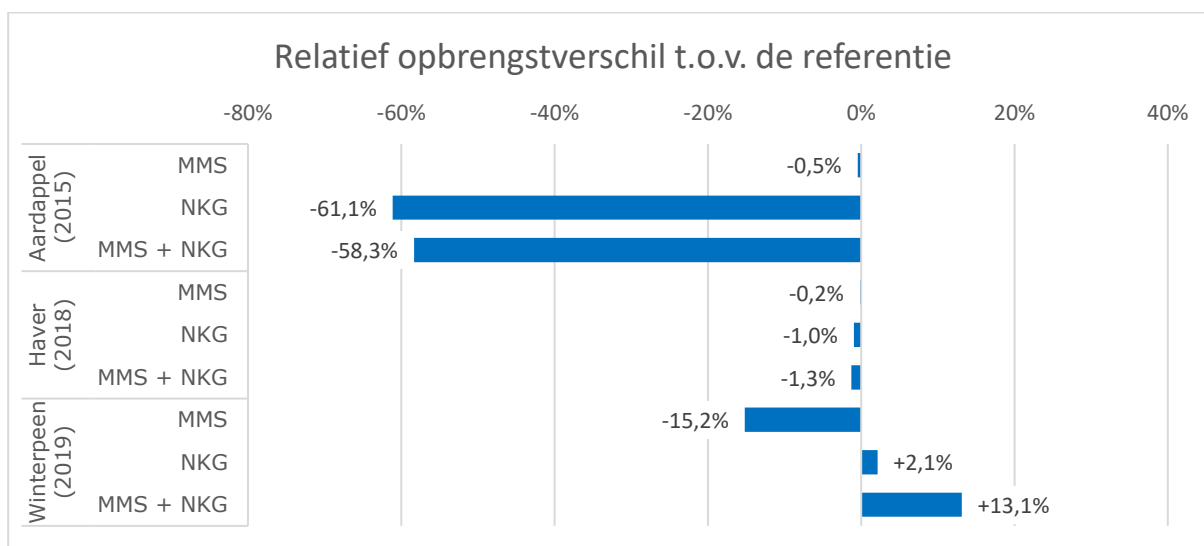
**Resultaat en discussie:** Een combinatie tussen maaimeststoffen en NKG heeft een negatief effect op de opbrengst van aardappels, grasklaver en winterpeen, enkel voor haver was het effect positief (zie **Figuur 3-52**). In het geval van de aardappel en grasklaver hadden de afzonderlijke maatregelen geen effect op de opbrengst, juist de combinatie van de maatregelen leidde tot significant lagere opbrengsten. Enkel het toedienen van maaimeststoffen had geen effect op de opbrengst van de winterpeen, in combinatie met NKG leidde dit tot een aanzienlijk significant lagere opbrengst. Voor een groot deel is dit waarschijnlijk toe te schrijven aan de NKG, dit effect werd echter wel versterkt door het toedienen van maaimeststoffen. Mogelijk ontstond deze opbrengstreductie doordat stikstof door de combinatie van maatregelen trager vrij kwam voor het gewas (Nelissen et al., 2017).

Samenvatting resultaten		
Klei	○	Geen eenduidig effect op de opbrengsten



**Figuur 3-52.** Relatief opbrengstverschil (marktbaar) van maaimeststoffen (MMS) en NKG en een combinatie daarvan ten opzichte van het referentie-object, in oranje worden statistisch significante effecten aangeduid.

De combinatie van maatregelen geeft een lagere tarra bij de aardappel, dit is te verklaren omdat de gehele opbrengst lager was (zie **Figuur 3-53**). Bij de winterpeen is opvallend dat er zelfs met een lagere opbrengst een hogere tarra werd vastgesteld. De gevonden verschillen zijn echter niet significant, er kan dus worden aangenomen dat de combinatie van maaimeststoffen en NKG geen effect heeft op de tarra bij aardappel en peen en op het DKG bij de haver.



**Figuur 3-53.** Relatieve verschillen ten opzichte van de referentie, significante verschillen in oranje aangegeven. Het kwaliteitskenmerken voor de consumptieaardappel en peen is tarra en van haver het duizendkorrelgewicht (DKG).

### 3.9.2 Waterregulatie

#### Bodempfysische indicatoren

**Resultaat en discussie:** Bij het (bijna) jaarlijks toedienen van maaimeststoffen in combinatie met NKG is de verwachting dat de organische stof bovenin de bodem blijft, waardoor de bulkdichtheid lager zal zijn dan bij het toedienen van maaimeststoffen in combinatie met ploegen. Uit **Tabel 3-18** wordt zichtbaar dat de combinatie van maaimeststoffen met NKG heeft geleid tot een lagere bulkdichtheid in de bovenste bodemlaag (0-15 cm). Dit is geen direct effect van het toedienen van de maaimeststoffen in 2021, omdat de maaimeststoffen zijn aangevoerd in het voorjaar en bulkdichtheid is bepaald in september, een verschil in grondbewerking heeft dan nog niet plaatsgevonden. In de laag 15-30 cm werd geen significant verschil in de bulkdichtheid gevonden. Omdat er slechts in één jaar gemeten is, kunnen hier geen harde conclusies aan verbonden worden. Op basis van de resultaten van toepassing van alleen NKG verwachten we ook een vergelijkbaar positief effect op deze functie voor deze combinatie van maatregelen.

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Extrapolatie van resultaten van NKG

**Tabel 3-18.** Bulkdichtheid ( $kg\ m^{-3}$ ) gemeten in 2021 in de bodemlaag 0-15 en 15-30 cm, een significant verschil met de referentie is weergegeven met een ster (\*).

	0-15 cm	15-30 cm
Referentie	1246	1248
MMS	1246	1244
MMS + NKG	1230*	1255

### 3.9.3 Waterzuivering

#### N-min najaar en nitraatuitspoeling

**Resultaat en discussie:** De N-min gemeten in het najaar (0-60 cm) is alleen van 2018 bekend, de verschillen tussen de objecten waren niet significant. Bovendien werden er in 2018 lage minerale stikstof concentraties gemeten, welke niet representatief zijn (zie paragraaf 3.3.3).

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Geen effect bij aanpassing bemesting

### 3.9.4 Recycling van nutriënten

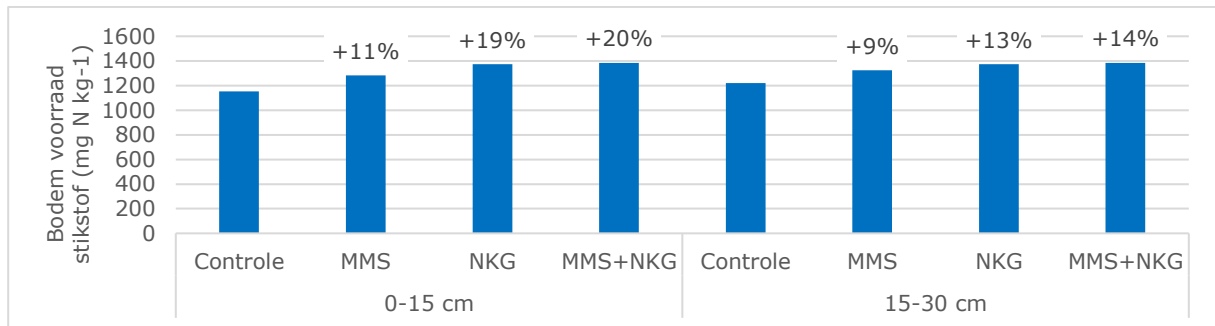
#### Bodemstikstofvoorraad en nutriëntopname



**Resultaat:** In **Figuur 3-54** wordt zichtbaar dat er bij het toedienen van maaimeststoffen in combinatie met NKG meer stikstof werd gemeten dan bij de referentie. In paragraaf 3.1.3. wordt gesteld dat de totale hoeveelheid stikstof in de bodem hoger was bij NKG dan bij de referentie, in paragraaf 3.3.4 werd gevonden dat de totale hoeveelheid N in de bodem hoger was bij de toepassing van maaimeststoffen dan bij de referentie. Het

**Samenvatting resultaten**

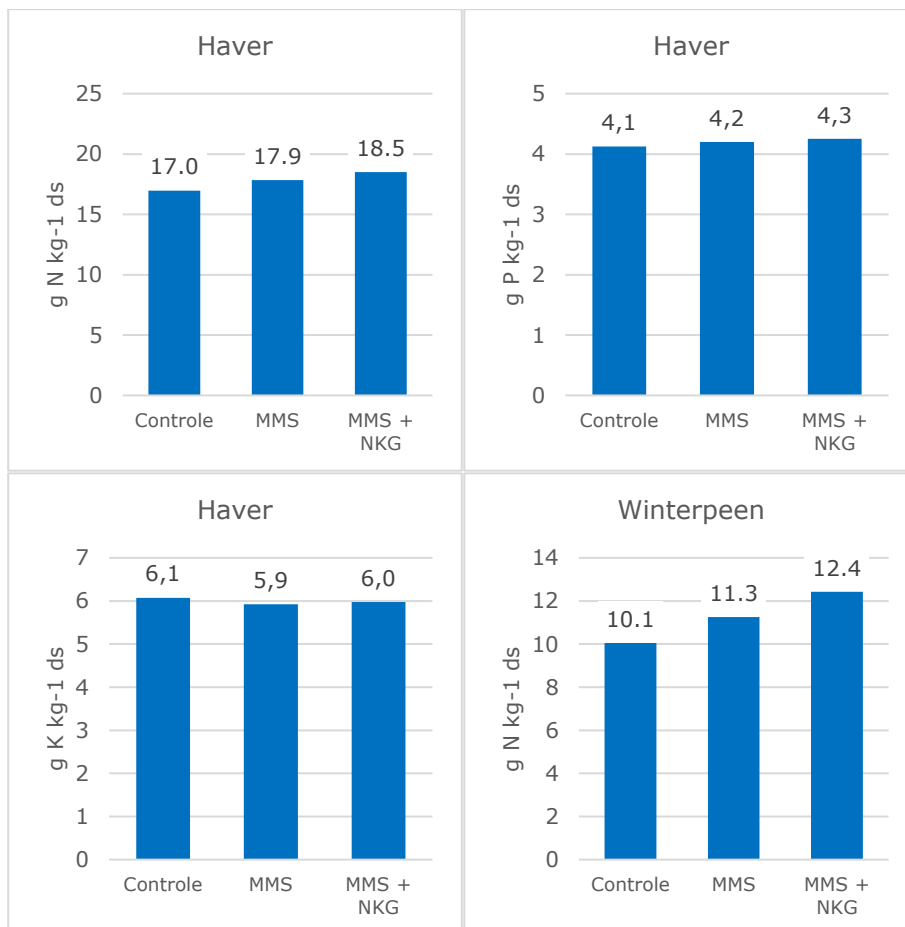
Klei	○	Mogelijk hogere bodem stikstofvoorraad en opname
------	---	--



**Figuur 3-54.** De stikstofbodemvoorraad van de objecten in de laag 0-15 cm en 15-30 cm, de labels geven het procentuele verschil met de referentie weer. Deze verschillen zijn niet statistisch getoetst.

ligt daarom in de lijn der verwachting dat er bij de combinatie van maatregelen meer stikstof werd gemeten dan bij de referentie.

In **Figuur 3-55** wordt zichtbaar dat de stikstofconcentratie in het geogste product bij zowel de haver als de peen hoger was bij de combinatie van maatregelen dan de referentie. Wat betreft de totale N opname was deze bij de haver hoger bij de combinatie van maatregelen in vergelijking met de referentie, bij peen was dit niet het geval.



**Figuur 3-55.** De NPK inhoud van haver (2018) en N inhoud van winterpeen (2019). Deze verschillen zijn niet statistisch getoetst.

**Discussie:** Nelissen et al. (2017) analyseerden verschillende proeven en vonden geen verschil in N-min en NWC tussen het toepassen van de maaimeststof voor het ploegen of het ondiep inwerken na ploegen.

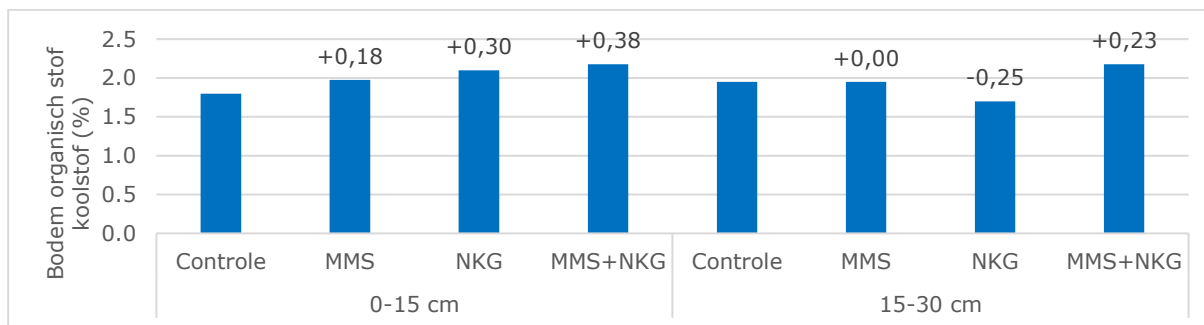
In één lange termijn proef werd een vergelijking gemaakt tussen ploegen en NKG, daaruit kwam naar voren dat de NWC (incubatieproef) en N-min (veldmeting) hoger waren bij ploegen dan bij NKG. Dit betekent dat de stikstof uit maaimeststoffen trager vrijkomt in een NKG- dan in een ploegsysteem. Dit verklaart mogelijk waarom er in BASIS een hogere bodemvoorraad van stikstof werd gemeten bij de combinatie van maatregelen dan bij het toepassen van de maaimeststoffen i.c.m. ploegen. Opvallend is dat bij een lagere NWC toch een hogere N-inhoud werd gevonden dan bij de referentie. In de proef van Nelissen et al. (2017) werd enkel de N-inhoud van kool bepaald, en geeft hetzelfde beeld. Komend jaar wordt het stikstofverloop na toepassing van maaimeststoffen in BASIS modelmatig benaderd, naar verwachting geeft dat meer inzicht in de beschikbaarheid en opname door de gewassen.

### 3.9.5 Koolstofvastlegging

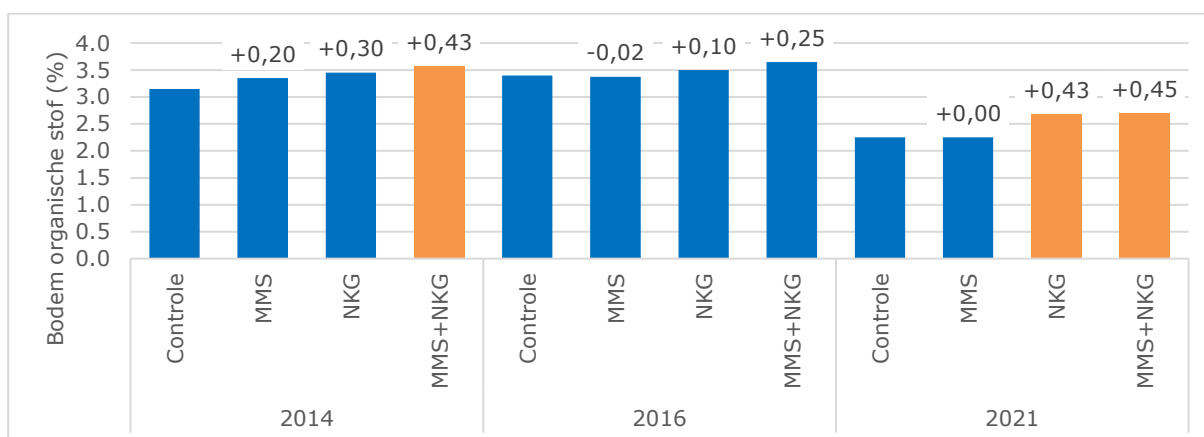
#### Koolstofopslag en broeikasgasemissies

**Resultaat en discussie:** Er zijn hogere koolstofpercentages gemeten in de combinatiemaatregel dan bij de referentie. Er zijn echter geen verschillen tussen de drie maatregelen en er is geen statistische analyse uitgevoerd (**Figuur 3-56**). In 2021 werd er bij de combinatie van maatregelen een hoger bodem organisch stof percentage gemeten in de laag 0-15 cm (zie **Figuur 3-57**). Het gevonden bodem organisch stof percentage bij de combinatie was vergelijkbaar met NKG zonder maaimeststoffen, en bij de toepassing van maaimeststoffen bij ploegen werd geen hoger bodem organisch stof percentage gevonden. Het is daarom aannemelijk dat het verschil in bodem organisch stof gehalte tussen de referentie en de combinatie van maatregelen toe te schrijven is aan NKG. Dit effect van NKG werd in 2018 ook vastgesteld maar in 2019 niet, zie paragraaf 3.1.5. In de ondergrond werd geen verschil gevonden tussen de objecten (zie **Figuur 3-58**).

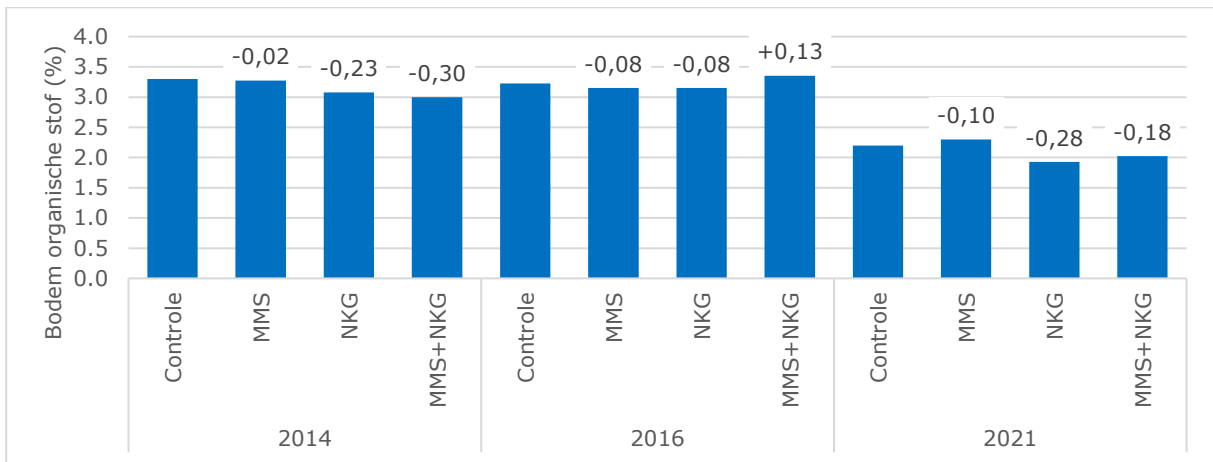
Samenvatting resultaten		
Klei	○	Indicatie van toename in organische stof



**Figuur 3-56.** Gemeten koolstofpercentages in de bodem, de labels geven het absolute verschil met de referentie weer. Deze verschillen zijn niet statistisch getoetst.



**Figuur 3-57.** Gemeten bodem organische stof in de laag 0-15 cm, de labels geven het absolute verschil met de referentie weer. In oranje worden statistisch significante effecten t.o.v. de referentie aangeduid.



**Figuur 3-58.** Gemeten bodem organische stof in de laag 15-30 cm, de labels geven het absolute verschil met de referentie weer. In oranje worden statistisch significante effecten t.o.v. de referentie aangeduid.

### 3.9.6 Habitat voor biodiversiteit

#### Hoeveelheden en diversiteit van vogels, insecten en bodemleven

Resultaat en discussie: Aan de bodem biodiversiteit is niet gemeten. Ook in de literatuur is er weinig bekend over het effect van maaimeststoffen i.c.m. NKG op het bodemleven.

Samenvatting resultaten		
Klei	E	Verwachting o.b.v. oppervlakkige OS

### 3.9.7 Toepasbaarheid

Samenvatting resultaten			
Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Mechanisatie	Toepasbaarheid
Bouwplanafhankelijk, ervaring opdoen met NKG	Naar verwachting negatief	Beperkte investeringen voor NKG	Slecht toepasbaar i.v.m. kosten

In deze proef werd de hoofdgrondbewerking uitgevoerd in het najaar, en het toepassen van de maaimeststof en het oppervlakkig inwerken daarvan in het voorjaar. Er is daarom geen verschil in toepasbaarheid bij het toepassen van maaimeststoffen in een ploeg of NKG systeem. De toepasbaarheid van de combinatie van deze maatregelen wordt vooral beperkt door het verwachte effect op het bedrijfsresultaat bij toepassing van maaimeststoffen.

# 4 Conclusies per maatregel

In hoofdstuk **Error! Reference source not found.** worden uit de beschikbare resultaten per maatregel de belangrijkste conclusies voor duurzaam bodembeheer getrokken. Hier schenken we ook enige aandacht aan de vertaling van de resultaten van de proeven naar andere teeltsystemen, locaties en grondsoorten. De bodemaatregelen zijn in deze proeven ingepast in grotendeels bestaande bedrijfssystemen.

Er wordt aangenomen dat de systeemprouven representatief zijn voor een bepaalde grondsoort en regio en dat het extrapoleren van resultaten op die manier mogelijk is. Dat brengt echter ook onzekerheden met zich mee, omdat bedrijven verschillen qua uitgangssituatie, vruchtwisseling en grondsoort, waardoor ook de effecten van maatregelen kunnen verschillen. Dit proberen we mee te nemen in de conclusies. De hier geformuleerde conclusies dienen als input voor het stappenplan en het formuleren van boodschappen aan de praktijk. Voor de bodemfuncties waarvoor geen conclusies getrokken kunnen worden, worden deze als kennislacune beschreven en opgenomen in hoofdstuk □.

Tabel 4-1 geeft een overzicht van de samenvattende tabellen uit de resultaat-sectie met een aanduiding voor de sterkte van onderbouwing. In deze tabel staan de prestaties van de maatregelen op de bodemfuncties en praktische toepasbaarheid naast elkaar. De tabel komt ook overeen met de kwalitatief beschreven conclusies uit het onderzoek die hier op een rij staan:

## 4.1 Gereduceerde grondbewerking

- Productiviteit
  - Op alle grondsoorten blijft de bouwplanopbrengst gelijk bij de toepassing van NKG. Effecten op opbrengsten zijn gewas- en jaarsafhankelijk. Deze algemene conclusie is, naar verwachting, ook van toepassing op andere locaties.
  - De productkwaliteit blijkt onveranderd te zijn met NKG ten opzichte van de standaard grondbewerking. Uitzonderingen zijn een hoger eiwitgehalte in zomergerst op dalgrond en een kortere peen op zand waar dus extra aandacht nodig is voor het losmaken van de ondergrond. Of deze effecten ook van toepassing zijn op andere locaties is onzeker.
  - Met fijnzadige en/of onkruidgevoelige gewassen en teeltsystemen (bv. op zandgrond of bij biologische teelt) geeft NKG uitdagingen die resulteren in lagere opbrengsten. Er liggen echter nog kansen voor optimalisering met verbeterde zaaitechniek, mechanische onkruidbestrijding, management van gewasresten en een op NKG-aangepaste vruchtwisseling.
- Waterregulatie
  - Op klei verbetert NKG de bodemstructuur en draagkracht met als gevolg ook een verbeterde waterinfiltratie bij hevige neerslag en vochthuishouding bij droogte. Op zand- en dalgrond werden geen effecten gevonden, maar werden ook te weinig metingen gedaan om dit definitief te kunnen concluderen.
- Waterzuivering
  - NKG zorgt voor verminderde nutriëntenverliezen en een verbeterde waterkwaliteit. Op klei komt dit samen met een opbouw van organisch gebonden stikstof in de grond.

**Tabel 4-1.** Overzicht van de effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties, en de toepasbaarheid van de maatregelen in de akkerbouwmatige teelten in gangbare systemen, kijkend naar verschillende toepasbaarheidsaspecten. Deze is samengesteld uit de samenvattende tabellen per hoofdstuk in hoofdstuk 3. Voor de onderbouwing, zie de conclusies per maatregel, samenvattende tabellen en de onderbouwing in hoofdstuk 3. Voor een uitleg van de kleurcodering, zie paragraaf 2.3.2

Maatregelen	Grondsoort	Bodemfuncties						Toepasbaarheidsaspecten			
		Productiviteit	Waterregulatie	Waterzuivering	Recycling van nutriënten	Koolstof-vastlegging	Habitat voor biodiversiteit	Kennis en kunde	Bedrijfsresultaat	Machines en werktuigen	Toepasbaarheid
<b>Gereduceerde groundbewerking</b>											
NKG	Kleigrond	•	○	○	•	○	•				
NKG	Zand- en dalgrond	•	○	•	•	○	○				
<b>Organische stof aanvoer</b>											
Organische bemesting (STANDAARD)	Zandgrond	•	○	•	•	○	L				
Groencompost	Kleigrond	•	○	○	E	•	○				
Groencompost	Zand- en dalgrond	•	○	•	•	•	L				
Maaimeststoffen	Klei	○	E	○	○	○	E				
<b>Bemesting</b>											
Steenmeel	Dalgrond	•	E	E	•	E	E				
Ca/Mg-methode		•	○	E	•	E	E				
<b>Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen</b>											
Chitine (20 ton)	Zandgrond	•	E	E	E	○	E				
Anaerobe grondontsmetting		•	E	E	E	○	○				
Monam		•	E	E	E	○	○				
Cultivit		•	E	E	E	E					
Biofumigatie		•	E	E	E	E	E				
Grasklaver		•	E	E	E	○	○				
Tagetes (hoofdteelt)		Zand- en dalgrond	•	E	E	E	○	E			
Combinatie - tagetes, chitine en compost	Zandgrond	•	E	E	E	○	○				
Haarmeel		•	E	E	E	○	E				
Groenbemestermengsel		•	E	E	E	○	E				
Combinatie – ASD, compost en haarmeel		•	E	E	E	○	○				
<b>Groenbemesters</b>											
Groenbemester telen	Kleigrond	○	○	L	○	○	L				
<b>Combinaties van maatregelen</b>											
NKG en groencompost	Kleigrond	○	E	○	E	○	E				
NKG en groencompost	Zand- en dalgrond	○	E	•	○	○	L				
NKG en groenbemester	Klei	○	○	E	○	○	E				
NKG en maaimeststof		○	E	E	○	○	E				

- Recycling van nutriënten
  - Er zijn geen effecten van NKG op de recycling van nutriënten als de opbrengsten gelijk blijven.
- Koolstofvastlegging
  - Een effect op koolstofvastlegging door NKG is lastig om aan te tonen en wordt verwacht af te hangen van de intensiteit van de bouwplannen en exacte type van grondbewerking. Er lijkt met name een herverdeling van organische stof te zijn, met meer organische stof in de bovenste lagen. Op klei lijkt NKG naar een hogere organische stof te kunnen leiden in de bovengrond, van een toename over het hele profiel lijkt echter geen sprake. Op zand- en dalgrond is geen effect aangetoond. Hier wordt nog verdiepend onderzoek naar gedaan. De voorlopige conclusie is dat NKG hooguit resulteert in een kleine toename in koolstofvastlegging.
- Habitat voor biodiversiteit
  - Biodiversiteit is niet structureel gemonitord in de proeven maar uit de metingen die gedaan zijn op klei is de eerste indicatie dat meerdere soortgroepen positief beïnvloed worden door NKG.
- Toepasbaarheid
  - NKG leidt tot lagere kosten voor grondbewerking en soms hogere kosten voor onkruidbestrijding. Om NKG toe te kunnen passen zijn beperkte aanpassingen aan de machinepark nodig maar de kosten zijn niet hoger dan in een systeem met ploegen. Om te slagen met NKG is het belangrijk om eerst kennis en ervaring op te doen.
  - NKG wordt met voordeel toegepast in combinatie met (vorstgevoelige) groenbemesters goed afgestemd op de vruchtwisseling. Er moet wel opgelet worden dat de groenbemester tijdig en volledig ingewerkt wordt, anders kan het voor problemen zorgen bij het zaaien van het volggewas.
  - Het economische bedrijfsresultaat van NKG kan licht positief of licht negatief uitpakken, afhankelijk van bouwplan en grondsoort. Dit maakt deze maatregel toepasbaar voor de praktijk. Bij een toename in onkruiddruk in combinatie met de teelt van onkruidgevoelige en fijnzadige gewassen, hier alleen waargenomen op zandgrond, pakt het bedrijfsresultaat negatief uit in biologische systemen omdat extra handwerk nodig is.
- Samengevat; NKG kan bijdragen aan meerdere bodemfuncties die nuttig zijn voor zowel boer als maatschappij en is goed toepasbaar bij veel bedrijven.

## 4.2 Organische stofaanvoer: Organische mest en compost

- Productiviteit
  - Organische stof aanvoer via mest leidt tot verhoogde opbrengsten en een verbeterd bedrijfsresultaat op zandgronden waar de historische aanvoer van organische stof laag is.
  - Groencompost op zand verhoogt de opbrengsten en productkwaliteit als de (historische) aanvoer van organische stof laag is. In dit geval kan ook het economische bedrijfsresultaat beter uitpakken.
  - Groencompost leidt tot kleine opbrengstverbeteringen in de meeste gewassen, maar dit effect is alleen voor sommige gewassen statistisch betrouwbaar.
  - Organische stofaanvoer via mest of groencompost lijkt geen effect te hebben op de productkwaliteit.
- Waterregulatie
  - In hoeverre groencompost of organische stof bijdraagt aan verbeterde waterregulatie ten behoeve van klimaatadaptatie is nog onbekend. Beperkte metingen en visuele waarnemingen tonen geen verschillen.
- Waterzuivering en Recycling van nutriënten
  - Het onderzoek toont dat het aanvoeren van groencompost kan leiden tot hogere overschotten en verliezen van stikstof. Het is van belang om rekening te houden met de mineralisatie uit de compost in de bemesting en om zo veel mogelijk te zorgen voor continue opname van stikstof door bijvoorbeeld vanggewassen te telen.
- Koolstofvastlegging

- Bij toepassing van groencompost stijgt de koolstofvastlegging. Hiermee is groencompost een effectieve maatregel voor koolstofvastlegging.
- Habitat voor biodiversiteit
  - Op basis van beperkte metingen en literatuur lijkt groencompost lijkt het microbiële bodemleven te stimuleren.
- Toepasbaarheid
  - De opbrengstverhogingen door de toepassing van groencompost leiden tot een licht negatief bedrijfsresultaat in verband met de hoge kosten voor de groencompost en geringe effecten op de opbrengst.
  - Compost kan bij voorkeur ingezet worden als de organische stof aanvoer via bemesting en gewasresten laag is.
  - In verband met de beperkte beschikbaarheid en hoge kosten van groencompost is het toepasbare areaal klein. Waar de hoge kosten aan liggen, en of een verhoogde productie van compost mogelijk is, kan niet beantwoord worden uit dit onderzoek.
  - De toepassing van organische mest is economisch erg voordeling door behoud van gewasopbrengsten en gratis mest. Deze maatregel wordt echter al veel toegepast.
- Samengevat; groencompost kan bijdragen aan meerdere bodemfuncties maar de toepasbaarheid wordt beperkt door de beschikbaarheid en hoge kosten van de compost.

### 4.3 Organische stofaanvoer: Maaimeststoffen

- Productiviteit
  - De toepassing van maaimeststoffen kan leiden tot hogere opbrengsten, afhankelijk van gewasoort. Dit kan het effect zijn van meer beschikbare stikstof.
- Waterregulatie
  - Er zijn enkele indicaties voor positieve effecten op de bodemstructuur en waterhuishouding door de toepassing van maaimeststoffen.
- Waterzuivering en recycling van nutriënten
  - Het toepassen van maaimeststoffen kan leiden tot hogere bodemstikstofvoorraden, zeker als in totaal meer stikstof wordt aangevoerd. In hoeverre dit een risico geeft op uitspoeling is niet vastgesteld.
  - Uit literatuur is bekend dat de NWC van maaimeststoffen lager is dan bij rundveedrijfmest welke is toegepast in de referentie.
  - De stikstofopname van gewassen kan hoger zijn bij toepassing van maaimeststoffen.
- Koolstofvastlegging
  - Het toepassen van maaimeststoffen in deze hoeveelheden lijkt niet te leiden tot een meetbaar hoger gehalte aan bodem organische stof of koolstofvastlegging.
- Habitat voor biodiversiteit
  - De verwachting is dat het oppervlakkige organische stof het bodemleven stimuleert, dit is echter nog niet onderbouwd.
- Toepasbaarheid
  - De praktische uitvoering levert doorgaans geen problemen op. Het inkuilen, inkopen of telen van de grasklaver brengt echter wel kosten met zich mee, waardoor het bedrijfsresultaat naar verwachting negatief is.
- Samengevat: Al zijn er een aantal positieve tendensen, zijn maaimeststoffen nog niet aangetoond om bij te dragen aan bodemfuncties. Ook dragen ze naar hoge waarschijnlijkheid niet bij aan het verbeteren van het bedrijfseconomische resultaat.

### 4.4 Bemesting: Ca/Mg methode en steenmeel

- Productiviteit
  - Steenmeel heeft geen significant effect op gewasopbrengsten of productkwaliteit na vijf jaar van toepassing.

- De Ca/Mg methode leidt tot significant hogere aardappelopbrengsten maar heeft geen effect op de opbrengst van zomergerst en suikerbiet. De kwaliteit van de zetmeelaardappel en zomergerst gaat omlaag en de kwaliteit van de suikerbieten gaat omhoog.
- Recycling van nutriënten
  - Zowel steenmeel als de Ca/Mg methode resulteren in grote overschotten van meerdere mineralen maar niet voor stikstof of fosfor. Dit is gecombineerd met een onveranderde organische stofaanvoer. Of de overschotten nadelige effecten zouden kunnen hebben op langere termijn is nog onbekend.
  - Vanuit het kringloopdenken en het kostenaspect is het niet gewenst om externe inputs aan te voeren die niet of nauwelijks in de teelt gebruikt worden.
- Waterregulatie, Waterzuivering, Koolstofvastlegging en Habitat voor biodiversiteit
  - Effecten van steenmeel en de Ca/Mg methode op *Waterregulatie*, *Koolstofvastlegging* en *Habitat voor biodiversiteit* zijn onbekend. Het effect wordt verwacht verwaarloosbaar te zijn.
- Toepasbaarheid
  - Omdat steenmeel geen effect heeft op opbrengsten en hoge kosten heeft, is deze maatregel slecht toepasbaar.
  - De Ca/Mg methode is slecht toepasbaar door het negatieve economische bedrijfsresultaat. De kosten zijn namelijk hoger dan de extra inkomsten van de opbrengstverhoging.
- Samengevat; De toepassing van steenmeel en de Ca/Mg methode worden allebei niet kansrijk voor toepassing in de praktijk en dragen naar verwachting niet bij aan veel bodemfuncties.

## 4.5 Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen

- Productiviteit
  - Chitine, anaerobe grondontsmetting (ASD), de combi-TCC en combi-ACC verbeteren gewasopbrengsten door hun onderdrukkende effect op bodempathogenen en deels door verhoogde bodemvruchtbaarheid/bemesting. De effecten van de combi's zijn het grootst.
  - Natte grondontsmetting met het middel Monam leidt tot verbeterde opbrengsten door de bestrijding van aaltjes en bodemschimmels.
  - Groencompost en haarmeel verbeteren ook de gewasopbrengsten maar dit is met name een effect van verbeterde bodemvruchtbaarheid en bemesting.
  - Maatregel cultivit, biofumigatie, groenbemestermengsel en grasklaver hebben geen significant effect op de opbrengst.
  - Biofumigatie, groenbemestermengsels en grasklaver hebben een negatief effect op onderdrukking van bodempathogenen.
  - Het telen van tagetes kan de opbrengsten verbeteren door bestrijding van *P. penetrans*. Dit kan op bouwplanniveau economisch gunstig uitpakken, ook in een akkerbouwrotatie met gewassen die gevoelig zijn voor *P. penetrans*.
- Waterregulatie, Waterzuivering en Recycling van nutriënten
  - De effecten van de bodem- en grondontsmettingsmaatregelen op *Waterregulatie*- en *zuivering* en nutriëntenhuishouding zijn onbekend maar worden verwacht klein te zijn omdat de maatregelen niet elk jaar toegepast worden. Bij de toepassing van 20 ton chitine kan wel gezegd worden dat dit negatief is voor de functie *Recycling van nutriënten* en nitraatuitspoeling.
- Koolstofvastlegging
  - Koolstofvastlegging is niet gemeten voor deze maatregelen, alleen de HWC (welke goed correleert met de bodemorganische stof). Zoals verwacht tonen de maatregelen waarbij veel organische stof aangevoerd worden een verhoogde HWC. Hiermee kunnen deze maatregelen bijdragen aan zowel productie en bestrijding van bodempathogenen, als een bijdrage leveren aan koolstofvastlegging.
- Habitat voor biodiversiteit



- De invloed van de maatregelen op het microbiële bodemleven is bij enkele maatregelen onderzocht. De maatregelen lijken een negatief effect te hebben (Monam), geen effect (grasklaver, ASD) of een positief effect te hebben (groencompost, combi-TCC) afhankelijk van de kwaliteit en kwantiteit van organische stof dat aangevoerd wordt. De gemeenschap van het bodemleven verandert, maar op basis hiervan kan geen oordeel geveld worden over verbetering van de biodiversiteit.
- Toepasbaarheid
  - In verband met de effectiviteit in ziektebestrijding, kosten en toepasbaarheid van de maatregelen zijn alleen chitine, anaerobe grondontsmetting (ASD) en tagetes kansrijke maatregelen. Alleen waar hoog-salderende gewassen geteeld worden en het perceel besmet is met een ziekte of plaag, kunnen deze maatregelen ook economisch gunstig uitpakken, met uitzondering van tagetes die ook in standaard akkerbouwplannen economisch goed kan uitpakken. Chitine zou echter alleen toepasbaar zijn in kleinere hoeveelheden dan in deze proef gedaan werd. Of een lagere aanvoer ook interessant is tegen bodempathogenen is niet bekend.
  - De beschikbaarheid van chitine en haarmeel is onzeker, waardoor de kosten sterk variëren.
  - Cultivit, Monam en biofumigatie zijn slecht toepasbare maatregelen i.v.m. beschikbaarheid, hoge kosten en effectiviteit, respectievelijk.
  - Groencompost, haarmeel en het groenbemestermengsel lijken niet bij te dragen aan directe ziekte- en plaagonderdrukking en -bestrijding maar kunnen andere diensten bieden (zie maatregelen *Groenbemesters* en *Organische stof aanvoer*).
- Samengevat; enkele kansrijke bodem- en grondontsmettingsmaatregelen, met beperkte toepasbaarheid, zijn geïdentificeerd en kunnen ook positief bijdragen aan een aantal bodemfuncties.

## 4.6 Telen van groenbemesters

- Productiviteit
  - De teelt van een groenbemester heeft, in combinatie met ploegen, niet geleid tot significant verschillende opbrengsten maar geven wel een indicatie van dat de teelt van een groenbemester leidt tot een betere productkwaliteit.
- Waterregulatie, waterzuivering en recycling van nutriënten
  - Metingen laten een lagere N-min zien na de teelt van een groenbemester maar het effect op de nutriëntopname van het volggewas is niet eenduidig. De data zijn echter ontoereikend om harde conclusies te trekken met betrekking tot de recycling en benutting van nutriënten.
- Koolstofvastlegging
  - Bij de teelt van een groenbemester werden geen hogere gehalten aan bodem organische koolstof of koolstofvoorraden gevonden. Gezien de verhouding tussen de koolstofaanvoer via een groenbemesterteelt en de hoeveelheid koolstof in de bodem, mag er op korte termijn ook geen meetbaar effect worden verwacht.
- Habitat voor biodiversiteit
  - Uit de literatuur is bekend dat groenbemesters kunnen bijdragen aan het aantal wormen, verhoogde activiteit van het bodemleven en een andere samenstelling van het bodemleven.
- Toepasbaarheid
  - De teelt van groenbemesters wordt reeds toegepast in de praktijk, er is daarom voldoende ervaring uit de praktijk beschikbaar.
  - Het telen van groenbemesters wordt beperkt door de aanwezigheid van plant-parasitaire aaltjes (vooral op zandgronden) en door late oogstmomenten.
  - De keuze van een groenbemestersoort en de manier en het moment van onderwerken vergen wel de nodige aandacht. Op dit vlak is nieuwe kennis nodig.
- Samengevat; aan de teelt van een groenbemester worden vele voordelige effecten op de bodemfuncties toegekend, met de resultaten van deze proef kunnen deze effecten niet allemaal worden bevestigd.

## 4.7 Gereduceerde grondbewerking en compost

- Productiviteit
  - Het combineren van NKG en groencompost leidt niet tot een duidelijk aanvullend effect op de opbrengsten dan de maatregelen afzonderlijk.
- Waterzuivering
  - Op klei is het effect van de combinatie van NKG en groencompost op N-min niet eenduidig. Op zand lijkt de N-min bij de combinatie tussen het niveau van de losse maatregelen te liggen.
- Waterregulatie, Recycling van nutriënten, Koolstofvastlegging en Habitat voor biodiversiteit
  - Of er aanvullende effecten zijn van het combineren van NKG en groencompost op de bodemfuncties *Waterregulatie, Recycling van nutriënten, Koolstofvastlegging* en *Habitat voor biodiversiteit* is nog onduidelijk i.v.m. te weinig metingen.
- Samengevat; de maatregelen NKG en groencompost kunnen goed gecombineerd worden maar leveren voor zover nu bekend geen extra effect op in de prestatie van de bodemfuncties.

## 4.8 Gereduceerde grondbewerking en groenbemester

- Productiviteit
  - Het combineren van NKG met een groenbemester leidde niet tot een ander effect op opbrengsten dan voor de maatregelen afzonderlijk.
- Waterzuivering
  - Gemiddeld genomen werd er een lagere N-min gemeten bij de combinatie van NKG en een groenbemester, dit verschil was echter maar in één van de vier gevallen statistisch significant.
- Recycling van nutriënten
  - Er was geen eenduidig effect van de combinatie van NKG i.c.m. een groenbemester op de NPK opname door de gewassen. Wel werd duidelijk dat de fosfor en kalium opname voor een groter deel wordt bepaald door de grondbewerking dan door de groenbemester. Bij stikstof is het omgekeerde het geval, de opname werd voor een groter dele bepaald door de groenbemester dan door de grondbewerking.
- Koolstofvastlegging
  - De combinatie van NKG met een groenbemester leidde tot een hoger koolstofgehalte in de bovenste bodemlaag.
- Waterregulatie en Habitat voor biodiversiteit
  - Voor deze bodemfuncties is het effect van deze combinatie onbekend.
- Samengevat; de maatregelen NKG en groenbemesters kunnen goed worden gecombineerd maar leveren, voor zover bekend, weinig aanvullende positieve effecten op bodemfuncties wanneer gecombineerd.

## 4.9 Gereduceerde grondbewerking en maaimeststoffen

- Productiviteit
  - De combinatie van maatregelen leidde tot significant lagere opbrengsten bij drie van de vijf gewassen. Of de opbrengstderving te wijden is aan het trager beschikbaar komen van stikstof is lastig te bepalen.
- Waterregulatie
  - De combinatie van maatregelen leidde tot een lagere bulkdichtheid, aan andere bodemfysische parameters is niet gemeten.
- Waterzuivering en recycling van nutriënten
  - De combinatie van maatregelen heeft geleid tot een hogere bodemstikstofvoorraad, mogelijk komt dit doordat de stikstofefficiëntie bij de combinatie van maatregelen lager is dan bij het toepassen van maaimeststoffen in een geploegd systeem. In hoeverre

het risico op uitspoeling daardoor veranderd is met de uitgevoerde metingen niet vast te stellen.

- Koolstofvastlegging
  - Bij de combinatie van maatregelen werd een hoger bodem organisch stof gehalte gevonden, het is aannemelijk dat dit effect toe te schrijven is aan NKG.
- Habitat voor biodiversiteit
  - De verwachting is dat het oppervlakkige organische stof door beide maatregelen het bodemleven stimuleert, dit is echter nog niet onderbouwd.
- Toepasbaarheid
  - De praktische uitvoering van de combinatie van de maatregelen levert geen problemen op. Het inkuilen, inkopen of telen van de grasklaver brengt echter wel kosten met zich mee, waardoor het bedrijfsresultaat naar verwachting negatief is.
- Samengevat; de combinatie van NKG en maaimeststoffen toont zowel positieve als potentieel negatieve tendenties wat betreft bodemfuncties, echter heeft maaimeststoffen als maatregel een lage toepasbaarheid.

# 5 Algemene discussie

## 5.1 Beperkingen van de studie

Uit de proeven leren we wat voor effecten we kunnen verwachten bij het toepassen van voornamelijk losse maatregelen in de context van de landbouwsystemen van de huidige praktijk. De maatregelen zijn getoetst op specifieke grondsoorten en in specifieke bouwplannen die representatief zijn voor de regio's van de proeven. De maatregelen die onderzocht zijn, zijn allemaal inpasbaar in de huidige akkerbouw. Niet alle maatregelen die relevant zijn voor duurzaam bodembeheer zijn echter onderzocht. Voorbeeld van een belangrijke maatregel is bouwplanaanpassing.

In de echte praktijk worden maatregelen in combinatie met elkaar toegepast. In de proeven zijn vooral metingen gedaan naar de effecten van de losse maatregelen. Het combineren van maatregelen lijkt niet tot nadelige effecten te leiden, het gaat vooral om optelbare effecten van de maatregelen. Er liggen echter nog vragen over welke losse maatregelen men het best kan combineren om tot een duurzaam teeltsysteem en bodembeheerstrategie kunnen komen.

Uit de proeven blijkt soms dat dezelfde, of bijna dezelfde maatregel verschillende (grootte van) effecten heeft in de verschillende proeven. Omdat andere boerenbedrijven ook te maken hebben met andere omstandigheden is het te verwachten dat in ieder geval de grootte van de effecten gaat verschillen tussen locaties. Vooral de aspecten bouwplan, grondsoort, beheer en uitvoering van de maatregel en de combinatie van deze kan deze verschillen veroorzaken. Een andere verklaring voor verschillen tussen de proeflocaties is de invloed van variatie in metingen tussen de herhalingen op of het mogelijk is om statistisch significante effecten te vinden. Over het algemeen zien we veel maatregelen zonder statistisch significante effecten op de gebruikte indicatoren, of zien we dat het veel jaren duurt voordat men zeker kan zijn van een daadwerkelijk effect van een maatregel. Dit heeft te maken met de inherente grote variatie in natuurlijke systemen zoals landbouwsystemen door de grote scala aan aspecten die een invloed uitoefenen. Het is dus belangrijk dat praktijk en beleid dit meeneemt in de interpretatie van de resultaten en de verwachtingen van de maatregelen.

Met het raamwerk wat in deze analyse gebruikt werd kregen we inzicht in de effecten van bodemaatregelen op het vermogen van de bodem om bodemdiensten te leveren. Er kan gesteld worden dat een bodem van goede kwaliteit in grotere mate de bodemfuncties kan vervullen. Maar de relatie tussen bodemkwaliteit en bodemfuncties is lastig om te kwantificeren. In deze studie werd daarom gewerkt met een set aan bodemkwaliteitsindicatoren per bodemfunctie die geselecteerd zijn op basis van expertkennis en beschikbaarheid van data. Er zijn voor de meeste bodemfuncties namelijk geen methodes beschikbaar om ze direct te meten omdat het een complexe eigenschap is. Zelfs productiviteit kan beschouwd worden opgebouwd te zijn uit kwantiteit, kwaliteit en ook nog nutritionele waarde van de producten. Een groot deel van de indicatoren zijn gekozen zodat ze overeenkomen met de BLN 2.0 indicatoren voor bodemkwaliteit in de landbouw. Voor een aantal maatregel-bodemfunctie combinaties kon geen conclusie getrokken worden op basis van metingen omdat er te weinig data was. In dat geval zijn conclusies getrokken op basis van expertkennis en literatuur.

Er zijn ook nog uitdagingen aan het werken met de gekozen indicatoren. Ten eerste, voor de meeste bodemfuncties moet gekeken worden naar meerdere indicatoren voor de analyse. Elk indicator kan bijvoorbeeld één aspect van een bodemfunctie representeren. Hoe elk van de indicatoren bijdraagt aan het leveren van de gehele bodemfunctie is niet vastgesteld, mogelijk wegen ze in de realiteit niet even zwaar mee. Er zijn in een aantal gevallen ook geen streefwaardes voor de indicatoren vastgesteld. Het is dus niet bekend bij welke meetwaardes voor de indicator een functie voldoende geleverd wordt voor duurzaam bodembeheer. Dit geldt met name voor de functies *Waterregulatie* en *Habitat voor biodiversiteit*. Per indicator kan wel vergeleken worden met referentiewaarden en mogelijk

streefwaarden voor lange-termijn duurzaamheid, als die beschikbaar zijn. Bij het verdere gebruik van dit raamwerk op deze wijze is een verbeteringspunt om hier meer inzicht in te krijgen.

## 5.2 Kennislacunes vanuit dit rapport

Uit de analyse bleek dat bepaalde bodemfuncties uitvoeriger onderzocht zijn dan andere. Dit is te verklaren doordat het hier gaat om lange termijn proeven die bij de aanleg andere hoofddoelstellingen hadden. Het onderzoek ging met name om de effecten op productiviteit, productkwaliteit, recycling van nutriënten, uitspoeling van nitraat en de bedrijfseconomische aspecten. De functies *Koolstofvastlegging*, *Waterregulatie* en *Habitat voor biodiversiteit* zijn pas recenter opgekomen als belangrijke (maatschappelijke) doelen en tot nu toe minder uitgebreid onderzocht in de lang lopende veldproeven. Toch is het zeer waardevol om de basis van de lang lopende proeven, de grote databases die zijn opgebouwd, te gebruiken om de huidige ecosysteemdiensten m.b.t. klimaat en biodiversiteit verder te gaan onderzoeken. De belangrijkste kennislacunes uit de analyse van dit rapport worden hier op een rij gezet met een beschrijving, verklaring en advies voor vernieuwend onderzoek:

Zowel **gereduceerde grondbewerking** als **groencompost** lijken op de langere termijn effecten te hebben op processen met betrekking tot de stikstofhuishouding die nog niet goed begrepen worden. Om het risico op stikstofuitspoeling te vermijden bij grootschalige toepassing van groencompost of gereduceerde grondbewerking in te zetten als maatregel om het risico te verlagen, is het belangrijk om deze effecten verder in beeld te brengen. Voor stikstofuitspoeling op zand en stikstofhuishouding op klei worden verdiepende analyses gedaan volgend jaar in WP1B.

Om de knelpunten van **NKG** wat betreft onkruidbestrijding en fijnzadige gewassen op te lossen zou verdiepend praktijkonderzoek gedaan moeten worden specifiek gericht op het beantwoorden van deze vragen op de grondsoorten waar deze knelpunten spelen. Dit wordt deels al opgepakt in WP1B. Om de ervaringen die opgedaan worden in dit onderzoek breed beschikbaar te maken wordt communicatie en educatie/ondersteuning richting adviseurs en maatwerk advies gericht aan agrarisch ondernemers aanbevolen.

Voor alle drie grondsoorten zou verdiepend onderzoek gedaan moeten worden naar de effecten van bodemaatregelen op de fysische en biologische bodemkwaliteit ten behoeve van de functies *Waterregulatie* en *Habitat voor biodiversiteit*. Voor dit type onderzoek is soms dure apparatuur en tijd- en kennisintensieve methoden nodig met herhaalde metingen binnen jaren en over jaren heen om weersafhankelijke effecten goed in beeld te brengen. De relevante maatregelen hiervoor zijn die met verwachte effecten op deze functies met een regelmatige toepassing, namelijk; **NKG**, **organische stof aanvoer**, **compost** en **groenbemesters**. Sommige van de huidige proeven zijn mogelijk minder geschikt om dit te onderzoeken, mogelijk is daarvoor een andere proefopzet nodig.

Effecten van **steenmeel** en de **Ca/Mg methode** op *Waterregulatie- en zuivering*, *Habitat voor biodiversiteit* en *Koolstofvastlegging* zijn onbekend. Aangezien geen grote effecten verwacht zijn op deze bodemfuncties en de maatregelen slecht toepasbaar zijn, wordt onderzoek hiernaar niet aanbevolen.

Voor de kansrijke en praktisch toepasbare **bodem- en grondontsmettingsmaatregelen** wordt onderzoek naar de bodemfuncties die nog niet in kaart zijn gebracht aanbevolen. Deze zijn *Waterregulatie- en zuivering*, *Recycling van nutriënten* en *Habitat voor biodiversiteit*. Dit is belangrijk in het geval dat deze maatregelen breder toegepast worden en er sprake is van onbekende nadelige effecten van deze.

Of er aanvullende effecten of interacties zijn van de **combinatie van NKG en groencompost** is grotendeels nog steeds onbekend omdat de prioriteit heeft gelegen bij metingen in de proefvelden met losse maatregelen. Als beide maatregelen breder toegepast gaan worden is het belangrijk om deze effecten in kaart te brengen door meer metingen uit te voeren voor alle functies gezien deze allemaal sterk beïnvloed worden door minstens één van de maatregelen.

De kennislacunes uit de bovenstaande lijst worden ook in **Tabel 5-1** samengevat.

**Tabel 5-1.** Overzichtstabel van de kennislacunes per maatregel(categorie) en bodemfunctie of voor toepasbaarheid met een toelichting van de kennislacune. Grijs staat voor geen kennislacune, geel voor geen/lage prioriteit, lichtgroen voor matige prioriteit en donkergroen hoge prioriteit.

	Productiviteit	Waterregulatie	Waterzuivering	Recycling van nutriënten	Koolstofvastlegging	Habitat voor biodiversiteit	Toepasbaarheid
NKG	Fijnzadige gewassen	Nog beperkt onderzocht, klimaatadaptatie	Kans op minder uitspoeling	Nutriëntenbeschikbaarheid en stikstofhuishouding	Verdiepend onderzoeken	Overige soortgroepen, ook op zandgronden	Onkruidbeheersing, fijnzadige gewassen, groenbemestermanagement
Organische stofaanvoer		Nog beperkt onderzocht, klimaatadaptatie	Verdiepend onderzoeken	Verschillende organische reststromen, lange termijn effecten	Verschillende organische reststromen	Verschillende organische reststromen	Beschikbaarheid OS bronnen
Anaerobe grondontsmetting		Afwentelings-effecten	Afwentelings-effecten	Afwentelings-effecten		Afwentelings-effecten	
Tagetes						Verdiepend onderzoeken	Effect van zaaimoment op bodempathogenen
Chitine			Afwentelings-effecten	Afwentelings-effecten		Afwentelings-effecten	Lager/anders doseren
Haarmeel			Afwentelings-effecten	Afwentelings-effecten		Afwentelings-effecten	Lager/anders doseren
Groenbemester (mengsels)	Algemeen, bij mengsels en combinaties met volggewassen	Effect van structuurverbetering			Nog beperkt onderzocht op de lange termijn	Nog veel onbekend, e.g. effect van de tijdstip en manier van eindigen	Effect van mengsels en zaai- en afbreekmoment op bodempathogenen en gewasteelt
NKG en Compost	Mogelijke synergiën	Mogelijke synergiën	Nutriëntenverliezen	Stikstofhuishouding	Mogelijke synergiën	Verdiepend onderzoeken	Onkruidbeheersing, fijnzadige gewassen
NKG en groenbemester (mengsels) of maaimeststoffen	Mogelijke synergiën	Mogelijke synergiën m.b.t. de structuurverbetering		Interactie tussen maatregelen niet helder	Verdiepend onderzoeken		

## 5.3 Inventarisatie van kennislacunes bij betrokkenen

Na de bovenstaande analyse van de kennislacunes vanuit dit rapport is een inventarisatie gedaan bij partners en onderzoekers die betrokken zijn bij de PPS Beter Bodembeheer naar kennisleemtes met betrekking tot landbouwbodems. Dit is gedaan aan de hand van een enquête aan de partners en onderzoekers en door officiële doelstellingen en visies van belangstellenden te raadplegen en het bundelen van eerder geïdentificeerde kennisleemtes vanuit het onderzoek. De kennisleemtes zijn vervolgens gebundeld in acht onderwerpen met belangrijke kennisleemtes waarvan vijf thema's zijn en drie maatregelen zijn. De maatregelen hebben grote koppelingen met één of meerdere van de thema's maar worden expliciet genoemd omdat er veel belangstelling was voor deze specifieke maatregelen. Het proces van de inventarisatie en de resultaten daarvan worden uitgebreid beschreven in **bijlage 2**. De onderwerpen die uit de inventarisatie kwamen zijn:

### **Thema's:**

1. Kringlooplandbouw
2. Bodembiodiversiteit
3. Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen
4. Omgaan met droogte en wateroverlast
5. Integrale waardering en advies over bodemkwaliteit

### **Maatregelen:**

6. Toepassing van organische reststromen
7. Gereduceerde grondbewerking
8. Groenbemesters

Het meest aangehaalde onderwerp was het aanvoeren van organische reststromen (6) in het kader van kringlooplandbouw (1). De kennisleemte betreft voor kringlooplandbouw hoe je dit technisch en organisatorisch moet aanpakken op verschillende geografische niveaus. Voor het inzetten van meer organische reststromen als meststoffen zijn er vragen over hoe deze zo efficiënt en optimaal mogelijk in te zetten, aangepast op het bedrijf en teelt. Bodembiodiversiteit (2) is geïdentificeerd als een hoofdthema omdat er veel fundamentele kennisvragen zijn over de diensten die het bodemleven biedt en hoe en of we de bodembiodiversiteit functioneel en gericht in kunnen zetten in de akkerbouw. Dit thema hangt nauw samen met bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen (3) aangezien ziekten en plagen deel uitmaken van de gemeenschap van organismen in een onderlinge wisselwerking. Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen is een complex onderwerp en heeft naar verwachting ook te maken ook met de totaliteit van het systeem, inclusief de teelthandelingen, het bouwplan en alle drie aspecten van bodemkwaliteit. Het begrip bodemweerbaarheid wordt ook toegepast in de context van weerbaarheid voor klimaatadaptatie in verband met droogte en wateroverlast (4). Hier gaat het met name om de kansen voor verbeterde waterregulatie wat vooral betrekking heeft tot de fysische bodemaspecten en in iets mindere mate chemische en biologische aspecten van de bodem. Het laatste thema (5) gaat over het goedkoop en efficiënt meten en waarderen van bodemkwaliteit en hoe je dit relateert aan duurzaam bodembeheer. Het waarderen van bodemkwaliteit is de eerste stap richting adviezen over maatregelen, de vraag hier is hoe je alle onderwerpen meeneemt in een integraal advies die goed aankomt bij de praktijk. De maatregelen gereduceerde grondbewerking (7) en groenbemesters (8) sluiten aan bij alle vijf thema's in meer of mindere mate.

## 6 Conclusies

Dit rapport maakt op een integrale manier, via de bodemfuncties en de toepasbaarheidsaspecten, inzichtelijk hoe losse bodemmaatregelen bij kunnen dragen aan beter bodembeheer. Met de integrale aanpak worden ook eventuele afwentelingen in kaart gebracht die kunnen optreden tussen functies of andere aspecten, zoals economische prestatie. Een overzicht van de beoordeling per maatregel wordt gegeven in **Tabel 6-1**.

**Tabel 6-1.** Overzicht van de effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties, en de toepasbaarheid van de maatregelen in de akkerbouwmatige teelten in gangbare systemen, kijkend naar verschillende toepasbaarheidsaspecten. Voor een uitleg van de kleurcodering, zie paragraaf 2.3.2

	Bodemfuncties	Toepasbaarheid
<b>Gereduceerde grondbewerking</b>		
NKG		
<b>Organische stof aanvoer</b>		
Organische bemesting (STANDAARD)		
Groencompost		
Maaimeststoffen		
<b>Bemesting</b>		
Steenmeel		
Ca/Mg-methode		
<b>Bodem- en grondontsmettingsmaatregelen</b>		
Chitine (20 ton)		
Anaerobe grondontsmetting		
Monam		
Cultivit		
Biofumigatie		
Grasklaver		
Tagetes (hoofdteelt)		
Combinatie - tagetes, chitine en compost		
Haar-meel		
Groenbemestermengsel		
Combinatie - ASD, compost en haar-meel		
<b>Groenbemesters</b>		
Groenbemester telen		
<b>Combinaties van maatregelen</b>		
NKG en groencompost		
NKG en groenbemester		
NKG en maaimeststof		

Per maatregelcategorie zijn er verschillende aspecten die bepalen wat de potentie is voor de maatregel om bij te dragen aan duurzaam bodembeheer:

- **NKG** heeft neutrale en positieve effecten op de bodemfuncties. De toepasbaarheid is matig doordat kennis en ervaring nodig is en ook vaak geïnvesteerd moet worden in nieuwe mechanisatie.
- Toepassing van **organische mest** is positief voor de bodemfuncties en wordt al veel toegepast.
- Het aanvoeren van **groencompost** is een kansrijke maatregel die bijdraagt aan veel bodemfuncties, met een risico op uitspoeling en een lage toepasbaarheid vanwege de beschikbaarheid en wetgeving op gebied van meststoffen. Deze knelpunten liggen dus grotendeels buiten het boerenbedrijf zelf.
- Het toepassen van **maaimeststoffen** lijkt een positieve maatregel voor bodemfuncties maar is nog duur in uitvoering.



- De bemestingsmaatregelen **steenmeel** en de **Ca/Mg-methode** worden niet aanbevolen voor toepassing in de praktijk in verband met hoge kosten en het uitblijven van effecten op de bodemfuncties.
- **Anaerobe grondontsmetting** is een effectieve maatregel maar is alleen inpasbaar bij hoog salderende teelten in verband met de hoge kosten. Deze maatregel kan een positief tot een negatief effect hebben op de bodemfuncties.
- Het telen van **tagetes** is een effectieve en economisch rendabele maatregel in akkerbouwmatige bouwplannen met een matige tot hoge besmetting met *P. penetrans*. In hoeverre de maatregel bijdraagt aan andere bodemfuncties is nog niet duidelijk.
- **Chitine** is effectief in het bestrijden van bodempathogenen maar de in de proef gebruikte dosis is hoog en daarmee is deze uitvoering van de maatregel praktisch en economisch niet haalbaar. Of een lagere economisch rendabele dosis nog effectief is, is onbekend.
- De maatregelen **groencompost, haarmeel, cultivit, natte grondontsmetting met Monam** en **biofumigatie** bieden geen perspectief voor bestrijding of onderdrukking van bodempathogenen in verband met lage effectiviteit, hoge kosten en/of wetgeving. De effecten op bodemfuncties zijn variabel.
- Het effect van de **teelt van groenbemesters** op de bodemfuncties lijkt op basis van één proef beperkt. Groenbemesters worden al grootschalig toegepast waar dat mogelijk is i.v.m. zaaitijdstippen en aaltjessituatie, maar de effecten op de bodemfuncties zijn nog niet goed gekwantificeerd.

De meeste van de getoetste maatregelen geven positieve of neutrale effecten en een deel van de maatregelen met positieve effecten worden al veel toegepast. Voor toepassing van de kansrijke maatregelen zijn inspanningen nodig om de knelpunten met betrekking tot hoge kosten, beschikbaarheid van producten en behoefte aan kennis en ervaring op te lossen. Dit betekent dat hier ondersteuning uit beleid of maatschappij nodig zal zijn.

Behalve het in kaart brengen van het handelingsperspectief voor duurzaam bodembeheer laat dit rapport ook zien waar we staan met de kennis over duurzaam bodembeheer in de algemene zin. Het is duidelijk dat sommige functies van de bodem nog niet goed onderzocht zijn. Hierbij gaat het vooral om de functies *Waterregulatie* en *Habitat voor biodiversiteit*. Daarnaast leven er veel andere vragen rond duurzaam bodembeheer, bijvoorbeeld over de gerichte inzet van organische reststromen, de potentie en inzet van bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen, klimaatadaptatie en het meten en evalueren van bodemkwaliteit. Deze kennislacunes zijn belangrijk om aan te pakken, willen we het doel van duurzaam bodembeheer bereiken.

Tot slot bieden de conclusies uit dit onderzoek de kennisbasis voor de boodschappen aan de praktijk van deze onderzoeksperiode en kunnen we uit dit rapport onderwerpen en onderzoeksvragen halen voor toekomstig bodemonderzoek. Op basis van dit rapport wordt een interactief overzichtsschema en een aantal maatregel-factsheets gepubliceerd die gericht zijn aan boeren en adviseurs.

# Literatuurlijst

- Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., & Griffis, T. J. (2007). Tillage and soil carbon sequestration- What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1-4), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.014>
- Bakker, G., Dik, P. E., van den Akker, J. J. H., & van Balen, D. J. M. (2021). Verdichting ondergrond beter bodembeheer.
- Barel, J.M., Kuyper, T.W., de Boer, W., Douma, J.C. and De Deyn, G.B. (2018). Legacy effects of diversity in space and time driven by winter cover crop biomass and nitrogen concentration. *Journal of Applied Ecology*, 55, pp. 299-301. doi: 10.1111/1365-2664.12929
- Basso, B., & Ritchie, J. T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108(4), 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.011>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. and Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bijker, J.W., Van der Burgt, E.A.P, Van Den Berg, W., 2022. *Bedrijfseconomische prestaties van bodemmaatregelen- Opbrengstabiliteit en kosten-baten van bodemmaatregelen*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT-929.
- Bloem, J., Dimmers, W., van Balen, D. en Postma, J. (2017). Gereduceerde grondbewerking, labiele organische stof en micro-organismen. *Gewasbescherming*, 48(2/3), 67-68. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/427607>
- Bos, J.F.F.P., ten Berge, H.F.M., Verhagen, J. en van Ittersum, M.K. (2017). Trade-offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural systems*, 157, pp. 292-302. doi: 10.1016/j.agsy.2016.09.013
- Bot, A., & Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter - Key to drought-resistant soil and sustained food and production (Vol. 1). <https://doi.org/10.5194/soil-1-707-2015>
- Brinkman, P., Visser, J., Molendijk, L., & Korthals, G. (2022). *Bodemgezondheidproef 2019:: Effect van maatregelen en teeltsystemen op milieuaaltjes* (No. WPR-OT 925). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- Buishand, T.J. en Snoek, N.J. (1982). Teelt van bos- en waspeen, teelthandleiding nr. 5. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/252307>
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bàrberi, P., Fließbach, A., ... Mäder, P. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0354-1>
- Crittenden, S. J., Eswaramurthy, T., de Goede, R. G. M., Brussaard, L., & Pulleman, M. M. (2014). Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied Soil Ecology*, 83, 140-148. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.001>
- Crittenden, S. J., Poot, N., Heinen, M., van Balen, D. J. M., & Pulleman, M. M. (2015). Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil and Tillage Research*, 154, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.018>
- D'Hose, T., Cougnon, M., De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., ... Reheul, D. (2014). The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, 75, 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.11.013>
- D'Hose, T., Molendijk, L., Van Vooren, L., van den Berg, W., Hoek, H., Runia, W., ... Ruyschaert, G. (2018). Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. *Pedobiologia*, 66(December 2017), 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.12.003>
- de Haan, J., Asperen, P. Van, Visser, J., Burgt, G. J. Van Der, Smit, E., Dawson, A., & Klompe, K. (2020). Bodemmaatregelen op dalgrond in de Veenkoloniën: effecten op bodemkwaliteit, opbrengst en financiële meerwaarde.

- de Haan, J., Wesselink, M., Van Dijk, W., Verstegen, H., Van Geel, W., & Van Den Berg, W. (2018a). Biologische teelt op een zuidelijke zandgrond: opbrengst, bemesting, bodemkwaliteit en stikstofverliezen. Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/440225>
- de Haan, J., Wesselink, M., Van Dijk, W., Verstegen, H., Van Geel, W., & Van Den Berg, W. (2018b). Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond. Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/440226>
- de Ruijter, F. J., & Smit, A. L. (2003). Relaties tussen nitraat in het grondwater en potentiële indicatoren voor nitraatverlies op de voorloperbedrijven van Telen met toekomst (No. OV 0301). Plant Research International.
- de Ruijter, F. J., & Smit, A. L. (2007). Het lot van stikstof uit gewasresten.
- de Wolf, P., Dawson, A., & Klompe, K. (2019). Kosten en baten van bodemmaatregelen.
- Dekkers, M.F. en Haagsma, W. (2021). Groenbemesters: Een overzicht van kennisvragen. Wageningen Research, nr. WPR-889. doi: 10.18174/549699
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 401–422. <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>
- Ernst, G., & Emmerling, C. (2009). Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *European Journal of Soil Biology*, 45(3), 247–251. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.02.002>
- Fan, X., Vrieling, A., Muller, B. and Nelson, A. (2020). Winter cover crops in Dutch maize fields: variability in quality and its drivers assessed from multi-temporal Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91. doi: 10.1016/j.jag.2020.102139
- Grashof-Bokdam, C., Pleijte, M., Potters, J., & Vijn. (2018). Prikkel voor duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw.
- Grootenhuis, J.A., en te Velde, H.A. (1975). Groenbemesting en opbrengst van suikerbieten op zavelgrond. *Bedrijfsontwikkeling*, 6. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/217351>
- Haagsma, W. en Dekkers, M.F. (in press). Groenbemesters en mengsels bij gereduceerde grondbewerking.
- Haagsma, W., Hoek, H. en Molendijk, L. (2019). Handboek groenbemesters. Wageningen University & Research. Beschikbaar via: <https://www.handboekgroenbemesters.nl/>
- Haagsma, W.K. en Klaasse Bos, W. (2019). Groenbemesters in het bouwplan [powerpoint slides]. Beschikbaar via: <https://docplayer.nl/127466827-Groenbemesters-in-het-bouwplan-wiepie-haagsma-wouter-klaasse-bos.html>
- Handboek Bodem en Bemesting [HBB] (n.d.). Groenbemesters, tabel 2.12. Beschikbaar via: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Stikstof/N-korting-na-onderwerken-van-groenbemesters-en-oogstresten/Groenbemesters.htm>
- Hanegraaf, M., van den Elsen, E., de Haan, J., & Visser, S. (2019). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland - Indicatorset en systematiek, versie 1.0. *Wurpubs*, 31(0), 1–18. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/498307>
- Hoek, J., Balen, D. Van, Haagsma, W., Asperen, P. Van, Sukkel, W., Haan, J. De, & Bloem, J. (2019). Bodemindicatoren in BASIS Bodemindicatoren in BASIS.
- Hoogmoed, M., Timmermans, B.G.H., Bloem, J. van Asperen, P., Cruijssen, J., de Haan, J., Selin Norén, I., Slier, T., Wagenaar, J.P., Elsen, A., Martens, S. en Koopmans, C.J. (2021). Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen: in beeld gebracht aan de hand van de BLN-indicatorset.
- Hudson, B. D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*.
- Idinger, J., & Kromp, B. (1997). Ground photoelector evaluation of different arthropod groups in unfertilized, inorganic and compost-fertilized cereal fields in eastern Austria. *Biological Agriculture and Horticulture*.
- Jian, J., Du, X., Reiter, M.S., Stewart, R.D. (2020). A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. *Soil Biology and Biochemistry*, 143. doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107735
- Jolink, J. (2018). The effect of reduced tillage on conventional and organic farming systems.
- Koopmans, C., Timmermans, B., De Haan, J., van Opheusden, M., Selin Noren, I., Slier, T., & Wagenaar, J. P. (2020). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023, 50.

- Koopmans, C., Timmermans, B., de Haan, J., van Opheusden, M., Selin Noren, I. Slier, T. en Wagenaar, P. (2020). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023, voortgangsrapportage 2020. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/534917>
- Koopmans, C., Timmermans, B., Wagenaar, J. P., van t Hull, J., Hanegraaf, M., & De Haan, J. (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023, 50.
- Korthals, G. W., Thoden, T. C., Van den Berg, W., & Visser, J. H. M. (2014). Long-term effects of eight soil health treatments to control plant-parasitic nematodes and *Verticillium dahliae* in agro-ecosystems. *Applied Soil Ecology*, 76, 112-123.
- Krauss, M., Wiesmeier, M., Don, A., Cuperus, F., Gattinger, A., Gruber, S., ... & Steffens, M. (2022). Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262.
- Kurm, V., Schilder M. T., Haagsma, W. K., Bloem, J.m Scholten, O. E., Postma, J. (2022) Reduced tillage increases soil biological properties but not suppressiveness against *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*, *Applied Soil Ecology*.
- LANDMARK. (2015). Soil functions concept. Retrieved October 14, 2020, from <http://landmark2020.eu/soil-functions-concept/>
- LNV. Brief bodemstrategie tweede kamer (2018).
- Longo, C.M.O., Nicola, L., Antonielli, L, Mescalchin, E., Zanzotti, R., Turco, E. en Pertot, I. (2017). Soil microbiota respond to green manure in organic vineyards. *Journal of Applied Microbiology*, 123(6), 1547-1560. doi: 10.1111/jam.13606
- Luo, Z., Wang, E., & Sun, O. J. (2010). Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(1-2), 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.08.006>
- Lupatini, M., Korthals, G. W., de Hollander, M., Janssens, T. K., & Kuramae, E. E. (2017). Soil microbiome is more heterogeneous in organic than in conventional farming system. *Frontiers in microbiology*, 7, 2064.
- Lupatini, M., Korthals, G. W., Roesch, L. F., & Kuramae, E. E. (2019). Long-term farming systems modulate multi-trophic responses. *Science of the Total Environment*, 646, 480-490.
- Martínez-García, L. B., Korthals, G., Brussaard, L., Jørgensen, H. B., & De Deyn, G. B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 263(May), 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.018>
- Martínez-García, L.B., Korthals, G., Brussaard, L., Jørgensen, H.B., De Deyn, G.B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 263, pp. 7-17. doi: 10.1016/j.agee.2018.04.018
- Miao, K. (2014). Effects of soil management and crop diversity on the survival of arthropods in arable fields overwintering.
- Michel, V.V., Urba, K. and Clarkson, J. (n.d.). Green manures and cover crops to reduce the pressure of soil-borne diseases in annual crops. Beschikbaar via: [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/6\\_eip\\_sbd\\_mp\\_green\\_manure\\_final\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/6_eip_sbd_mp_green_manure_final_0.pdf)
- Michielsen, R. (2014). Earthworms in European temperate agricultural systems.
- Nelissen, V., Willekens, K., Beekman, A., Delanote, L., Dewitte, J., Gebremikael, M.T. en De Neve, S. (2017). Stikstofwerking van maaimeeststoffen in relatie tot toedieningswijze en bodemconditie. ILVO.
- Obalum, S. E., Uteau-Puschmann, D., & Peth, S. (2019). Reduced tillage and compost effects on soil aggregate stability of a silt-loam Luvisol using different aggregate stability tests. *Soil and Tillage Research*, 189, 217-228.
- Porre, R.J., Hagens, M., De Deyn, G.B., Elhakeem, A., Drost, S.M., Brooijmans, L. en Hoffland, E. (2020b). Chapter 6: Do cover crops change levels of soil organic carbon in arable soil? In Porre, R.J. *Clever Cover Cropping: litter trait diversities and elemental flows* [PhD thesis]. Wageningen University. doi: 10.18174/531407
- Porre, R.J., Hoffland, E., van Dam, J.C., Elhakeem, A., Drost, S.M. en De Deyn, G.B. (2020a). Chapter 2: Are cover crop mixtures more effective than cover crop monocultures at reducing N leaching losses? In Porre, R.J. *Clever Cover Cropping: litter trait diversities and elemental flows* [PhD thesis]. Wageningen University. doi: 10.18174/531407

- PPS Beter Bodembeheer. (2017). Lange Termijn Experimenten. Retrieved October 8, 2020, from <https://www.beterbodembeheer.nl/nl/beterbodembeheer/themas/Lange-termijn-proeven.htm#tab1>
- PPS Beter Bodembeheer. (2020). Beter bodembeheer magazine. Retrieved December 17, 2020, from <https://www.beterbodembehermagazine.nl/wur-najaar-2020/beter-bodembeheer-magazine>
- Pringas, C. en Märländer, B., (2004). Effect of conservation tillage on yield, quality, rentability and Cercospora infestation of sugar beet - results from 9 years of on-farm research. *German Journal of Agronomy*, 8, pp. 82-90. doi: 10.1016/j.eja.2008.08.001
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Sapkota, T. B. (2012). Conservation Tillage Impact on Soil Aggregation, Organic Matter Turnover and Biodiversity, (April), 141–160. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4113-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4113-3_6)
- Schouten, T., Bloem, J., De Goede, R. G. M., van Eekeren, N., Deru, J., Zanen, M., Sukkel, W., van Balen, D., Korthals, G. & Rutgers, M. (2018). Veldexperimenten uitgelicht: Niet-kerende grondbewerking goed voor de bodembiodiversiteit?. *Bodem*, (3), 20-23.
- Schrik, Y. (2014). Visuele bodembeoordeling, stageverslag. Van Hall Larenstein.
- Schröder, J., ten Holte, L., van Dijk, W., de Groot, W.J.M., de Boer, W.A. en Jansen, E.J. (1992). Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, rapport nr. 148. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/354110>
- Schulte, R. P. O., Creamer, R. E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & O'hUallachain, D. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science and Policy*, 38, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>
- Selin-Norén, I., Verstand, D., & de Haan, J. (2021). *Effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties en bodemkwaliteit: integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer en eerste vertaalslag naar praktische boodschappen* (No. WPR-856). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Open Teelten.
- Singer, J. W., Kohler, K. A., Liebman, M., Richard, T. L., Cambardella, C. A., & Buhler, D. D. (2004). Tillage and Compost Affect Yield of Corn, Soybean, and Wheat and Soil Fertility. *Agronomy Journal*, 96(2), 531. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0531>
- Slim Landgebruik [SL] (2021). Overwintering van groenbemesters [tabel 1]. Beschikbaar via: <https://www.slimlandgebruik.nl/nieuws-agenda/nieuws/veldbijeenkomst-nkg-en-groenbemesters-bij-rusthoeve-zeeland>
- Spee, J. (2019). The effect of reduced tillage on the presence of epigeal arthropods, stageverslag.
- Swoboda, P. (2016). Rock dust as agricultural soil amendment: A review. [Master's Thesis, University of Graz & Universiteit Utrecht]
- Tebrügge, F., & Düring, R. A. (1999). Reducing tillage intensity - A review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research*, 53(1), 15–28. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00073-2)
- Thapa, V. R., Ghimire, R., Acosta-Martínez, V., Marsalis, M. A., & Schipanski, M. E. (2021). Cover crop biomass and species composition affect soil microbial community structure and enzyme activities in semiarid cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 157, 103735. doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103735
- Timmer, R.D., Korthals, G.W. en Molendijk, L.P.G. (2007). Groenbemesters: aanvullende informatie voor de bollenteelt. Wageningen University and Research. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/12236>
- Timmer, R.D., van Geel, W. en Haagsma, W.K. (2021). Actualisatie N-bemestingsrichtlijnen groenbemesters. Wageningen University and Research, rapport nr WPR-897. doi: 10.18174/554510
- Turin, H., & van Alebeek, F. (2007). Loopkevers (Coleoptera: Carabidae) in agrarische milieus: een faunakarakteristiek. *Entomologische Berichten*, 67(6), 246-248.
- Tönjes, J. (2021). Meer mogelijk met NKG en voorjaarsbewerking op klei en groenbemesters. Akkerwijzer. Beschikbaar via: <https://www.akkervijzer.nl/artikel/426809-meer-mogelijk-met-nkg-en-voorjaarsbewerking-op-klei-en-groenbemesters/>
- van Balen, D. en Haagsma, W.K. (2010). Groenbemester stagneert groei. Beschikbaar via: <https://biokennis.org/nl/biokennis/shownieuws/Groenbemester-stagneert-groei.htm>
- van Balen, D.J.M. en Haagsma, W.K. (2015). Teelt van biologische peen in NKG. Basis nieuwsbrief. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/353676>

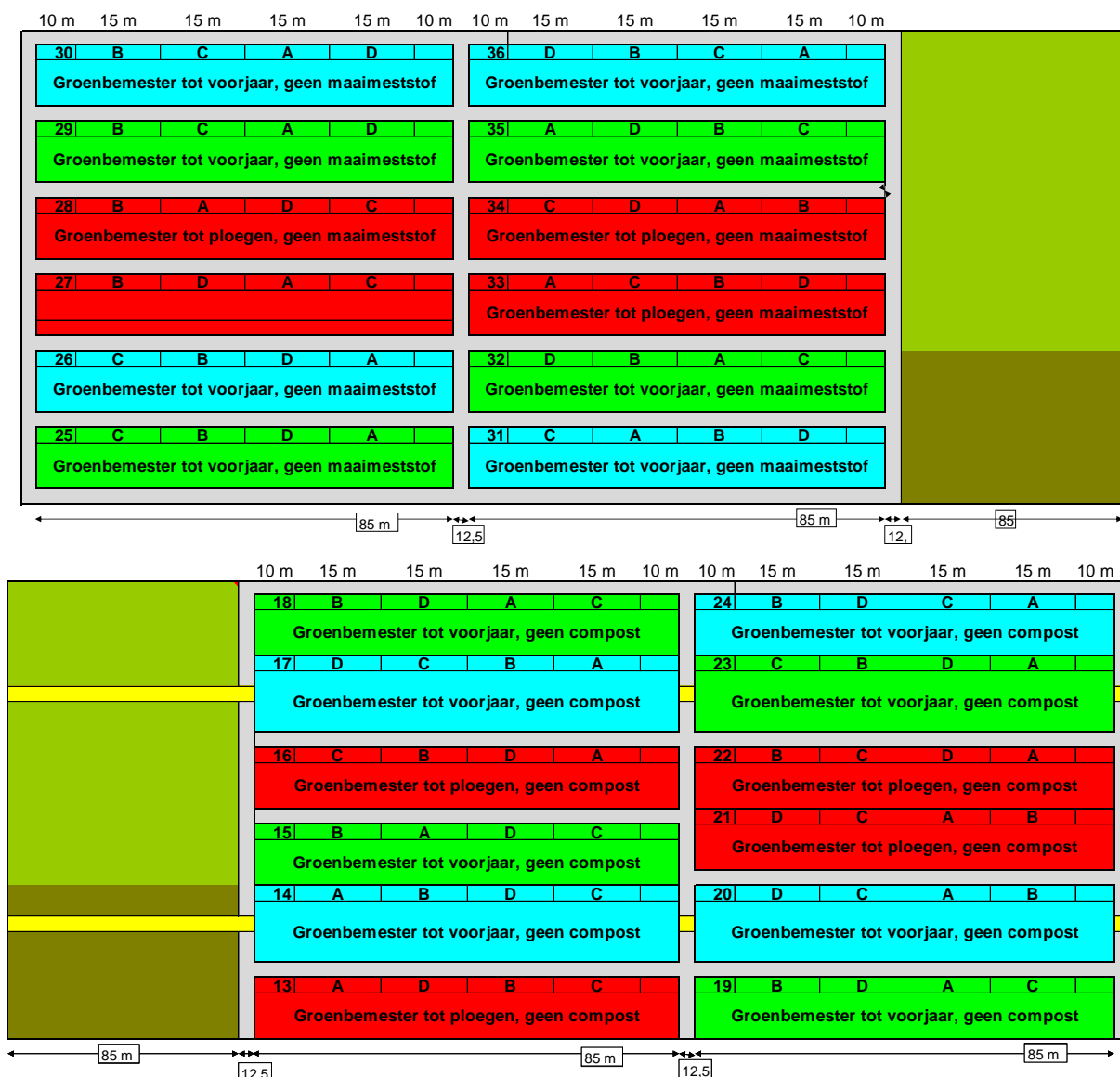
- van Balen, D.J.M., van Asperen, P., Haagsma, W.K., Wesselink, M. en Cuperus, F. (2019). Telen zonder ploegen: aardappel. Wageningen University & Research. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/548352>
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., & Demuzere, M. (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy*, 33(3), 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008>
- Van der Burgt, G.J., Timmermans, B. en Havenga de Poel, H. (2021). Evaluatie Planty Organic 2012-2020, plantaardige bemesting: stikstof en organische stof. Louis Bolk Instituut, 2021-010LbP. Beschikbaar via: <https://www.spna.nl/downloads/catalogus/2021-010%20LbP%20Evaluatie-planty-organic-2012-2020.pdf>
- van der Weide, R., van Alebeek, F., & van den Broek, R. (2008). En de boer, hij ploegde niet meer?: Literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen, 39. Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/3507>
- van Dijk, W., Dekker, P.H.M., Postma, R. en Moolenaar, S.W. (2007). Bodembeheer op akkerbouwbedrijven in relatie tot het mineralenbeleid. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport nr. 3250061700.
- van Dijk, W., Schröder, J.J., ten Holte, L en de Groot, W.J.W. (1995). Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmais. Proefstation voor Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, rapport nr. 201. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/355968>
- van Geel, W.C.A. en Verstegen, H.A.G. (2008). Wintergerst als groenbemester en stikstofvanggewas. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport nr. 3253013350.
- van Geel, W.C.A., Dekker, P.H.M., de Groot, W.J.M., van den Akker, J.J.H. en Froot, H.W.G. (2007). Structuurherstellend vermogen van groenbemesters. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, nr. 510492.
- van Groenigen, K. J., Hastings, A., Forristal, D., Roth, B., Jones, M., & Smith, P. (2011). Soil C storage as affected by tillage and straw management: An assessment using field measurements and model predictions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(1-2), 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.008>
- van Wijk, K. (n.d.). Effect van groenbemesters op fosfaatvastlegging en volggewas. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/325811>
- Vervoort, A. (2016). The effect of tillage system on the quality of arable sandy soil.
- Visser, J., Schoot, J. R. Van Der, Korthals, G., & Haan, J. De. (2014). Bodemkwaliteit Op Zand : T nul meting bodem.
- Vos, J. & van der Putten, P.E.L. (2004). Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70, pp. 23-31. doi: 10.1023/B:FRES.0000049358.24431.0d
- West, T. O., & Post, W. M. (2002). & CONSERVATION Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation : A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(April), 1930-1946.
- Wiepkema, F. (2021). Bieten telen zonder ploegen levert net zoveel suiker op. Akkerwijzer. Beschikbaar via: <https://www.akkervijzer.nl/artikel/126624-bieten-telen-zonder-ploegen-levert-net-zoveel-suiker-op/>
- Willekens, K., Sukkel, W. en van Balen, D.J.M. (2014). Gereduceerde bodembewerking voor biologische teelten. *Biokennis*, 7. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/326326>
- Willekens, K., Vandecasteele, B., & De Neve, S. (2014a). Limited short-term effect of compost and reduced tillage on N dynamics in a vegetable cropping system. *Scientia Horticulturae*, 178, 79-86.
- Willekens, K., Vandecasteele, B., Buchan, D., & De Neve, S. (2014b). Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82, 61-71.
- Winiwarter, V., Blum, W.E.H. (2008). From marl to rock powder: On the history of soil fertility management by rock materials. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 316-324.
- Yang, H., Niu, J., Tao, J., Gu, Y., Zhang, C., She, S., Chen, W., Yang, H. en Yin, H. (2016). The impacts of different green manure on soil microbial communities and crop health. doi: 10.20944/preprints201609.0056.

# Bijlage 1 Proefopzet groenbemesters

## BASIS

**Tabel 7.1.** Overzicht van de groenbemesterobjecten in BASIS, enkel de schuingedrukte objecten zijn opgenomen in de resultaten.

<b>Gangbaar</b>	
<i>Ploegen zonder groenbemester (referentie)</i>	<i>BASIS_G_PL_A</i>
<i>Ploegen met groenbemester</i>	<i>BASIS_G_PL_B</i>
Ploegen met groenbemester en compost (20t)	BASIS_G_PL_C
Ploegen met groenbemester en compost (40t)	BASIS_G_PL_D
<i>NKG+ zonder groenbemester (referentie)</i>	<i>BASIS_G_NKG+_A</i>
<i>NKG+ met groenbemester tot ploegen</i>	<i>BASIS_G_NKG+_B</i>
NKG+ met groenbemester tot ploegen en compost (20t)	BASIS_G_NKG+_C
NKG+ met groenbemester tot voorjaar en compost (20t)	BASIS_G_NKG+_D
<i>NKG+ met groenbemester tot voorjaar</i>	<i>BASIS_G_NKG+_E</i>
<i>NKG- zonder groenbemester (referentie)</i>	<i>BASIS_G_NKG-_A</i>
<i>NKG- met groenbemester tot ploegen</i>	<i>BASIS_G_NKG-_B</i>
NKG- met groenbemester tot ploegen en compost (20t)	BASIS_G_NKG-_C
NKG- met groenbemester tot voorjaar en compost (20t)	BASIS_G_NKG-_D
<i>NKG- met groenbemester tot voorjaar</i>	<i>BASIS_G_NKG-_E</i>
<b>Biologisch</b>	
Ploegen zonder groenbemester (referentie)	BASIS_B_PL_A
Ploegen met groenbemester	BASIS_B_PL_B
Ploegen met groenbemester en maaimeststof	BASIS_B_PL_C
Ploegen met groenbemester en dubbele maaimeststof	BASIS_B_PL_D
<i>NKG+ zonder groenbemester (referentie)</i>	<i>BASIS_B_NKG+_A</i>
<i>NKG+ met groenbemester tot ploegen</i>	<i>BASIS_B_NKG+_B</i>
NKG+ met groenbemester tot ploegen en maaimeststof	BASIS_B_NKG+_C
NKG+ met groenbemester en dubbele maaimeststof	BASIS_B_NKG+_D
<i>NKG+ met groenbemester tot voorjaar</i>	<i>BASIS_B_NKG+_E</i>
<i>NKG- zonder groenbemester (referentie)</i>	<i>BASIS_B_NKG-_A</i>
<i>NKG- met groenbemester tot ploegen</i>	<i>BASIS_B_NKG-_B</i>
NKG- met groenbemester tot ploegen en maaimeststof	BASIS_B_NKG-_C
NKG- met groenbemester en dubbele maaimeststof	BASIS_B_NKG-_D
<i>NKG- met groenbemester tot voorjaar</i>	<i>BASIS_B_NKG-_E</i>



**Figuur 7-1.** Plattegrond van de groenbemesterproef in het gangbare perceel (boven) en het biologische perceel (onder), in rood de standaard grondbewerking (ploegen), in groen de tussenvorm (NKG+) en in blauw de minimale grondbewerking (NKG-).

**Tabel 7.2.** Vruchtwisseling van de groenbemesterproef binnen BASIS, van de grijs gearceerde gewassen wordt de opbrengst meegenomen in de analyse.

	Gangbaar		Biologisch	
2009	Suikerbiet		Pootaardappel	Grasklaver
2010	Wintertarwe		Grasklaver	Grasklaver
2011	Zaaiui	Gele mosterd	Witte kool	
2012	Pootaardappel	Winterrogge	Zomertarwe	Witte klaver*
2013	Suikerbiet		Winterpeen	
2014	Zomergerst		Zomertarwe/veldbonen	Gele mosterd
2015	Zaaiui	Gele mosterd	Consumptieaardappel	Grasklaver
2016	Pootaardappel	Mengsel**	Grasklaver	Grasklaver
2017	Suikerbiet		Pompoen	Gele mosterd
2018	Zomergerst	Mengsel***	Haver	Mengsel***
2019	Conservenerwt	Mengsel****	Winterpeen	
2020	Pootaardappel		Stamslabonen	Mengsel
2021	Suikerbiet		Zomertarwe	

\* Onderzaai, niet geslaagd. Daarna heeft er nog wikke gestaan. \*\* Bestond uit haver (80%), erwten, wikke en Alexandrijnse klaver (12%), rammenas (3%), facelia, niger, vlas en Japanse haver (5%). \*\*\* Bestond uit gele mosterd (8%), voederwikke



(67%), facelia (5%), Alexandrijnse klaver (10%), niger (5%) en vlas (5%). \*\*\*\* Bestond uit gele mosterd (11%), Ethiopische mosterd (4%), rammenas (6%), Japanse haver (45%), facelia (6%), vlas (5%), dedert (5%) en boekweit (18%).

Bij de standaard grondbewerking (PL) wordt geploegd op een diepte van 23-25 cm. Bij de tussenvorm (NKG+) wordt niet geploegd, maar gewoeld op een diepte van 18-20 cm. Bij de minimale grondbewerking (NKG-) wordt niet geploegd of gewoeld.

Van het gangbare systeem zijn opbrengstgegevens bekend van zaaiui (2015), pootaardappel (2016), zomergerst (2018), conservenerwt (2019) en suikerbiet (2021). De opbrengst van de zaaiui (2015) wordt niet in de analyse opgenomen, omdat het dan al drie jaar geleden is dat er een groenbemester is geteeld en er daarom nauwelijks een effect van de groenbemester op de gewasopbrengst wordt verwacht. Ook de opbrengst van de pootaardappel (2016) wordt buiten beschouwing gelaten, omdat de groenbemester van 2015 onvoldoende was ontwikkeld om een effect van te verwachten (gezaaid op 5 oktober en ingewerkt is op 10 december). In het geval van ploegen is de groenbemester ondergewerkt in december. In het geval van NKG is er een biomassabepaling gedaan van de groenbemester op 19 april 2016. Door de zachte winter van 2015 en de late biomassabepaling is het lastig in te schatten of dit een resultaat is van groei in het voorjaar, en de hoeveelheid biomassa die er in de winter op het veld heeft gestaan. Daarom is besloten de opbrengst van de volgteelt buiten beschouwing te laten.

Van het biologische systeem zijn opbrengstgegevens bekend van consumptieaardappel (2015), grasklaver (2016), pompoen (2017), haver (2018) en peen (2019). Omdat de grasklaver een hoofdteelt was, is er geen onderscheid tussen wel/geen groenbemester geweest. De opbrengst van pompoen (2017) wordt daarom niet opgenomen in de analyse. Dit betekent dat er van het gangbare perceel drie gewasteelten en van het biologische systeem ook drie gewasteelten worden opgenomen in de analyse. Dit zijn te weinig metingen om harde algemene conclusies uit te kunnen trekken.

# Bijlage 2 Inventarisatie van kennisleemtes

## Aanleiding

Deze notitie is geschreven als onderdeel van de afronding van de PPS Beter Bodembeheer. Een algemeen doel van de huidige PPS is om handelingsperspectief voor de boer te bieden door kennis te produceren en te communiceren over de onderwerpen waar nog vragen over zijn. Gedurende meer dan tien jaar is uitgebreid onderzoek gedaan naar duurzaam bodembeheer in de akkerbouw en zijn tal van vragen hierover beantwoord en bevindingen gecommuniceerd naar de praktijk. Er zijn op basis van het onderzoek veel nieuwe of verdiepende vragen opgekomen. Tegelijkertijd zijn in de afgelopen tien jaar nieuwe maatschappelijke thema's op de agenda gekomen te staan die ook een plek hebben in het onderzoek naar landbouwbodems, zoals klimaatmitigatie- en adaptatie en herstel van biodiversiteit. Er zijn nog veel kennisvragen die belangrijk zijn om een antwoord op te geven om tot daadwerkelijke toepassing van duurzame bodemmaatregelen in de praktijk te komen. Vaak ligt de uitdaging bij dat er maatwerk nodig is op bedrijfs- of zelfs perceelsniveau afgestemd op grondsoort, gewas en bouwplan om tot een succesvolle toepassing te komen. Tegelijkertijd is de wens om vanuit het onderzoek te komen met eenduidige boodschappen richting beleid en praktijk. De combinatie van de behoefte aan maatwerk en wens voor eenduidige boodschappen is een grote uitdaging en vergt een integrale aanpak in het onderzoek.

In deze notitie vatten we samen welke kennisleemtes aandacht vragen voor een duurzaam en toekomstbestendig bodembeheer in de akkerbouw. Het doel hiervan is om een deelbijdrage te leveren aan een kennisagenda voor onderzoek naar bodemkwaliteit en -gezondheid in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. Voor deze notitie zijn kennisleemtes opgehaald, beschreven en geordend en vervolgens gekoppeld aan doelen van beleid en boerenvertegenwoordigers.

## Leeswijzer

Eerst wordt de aanpak voor de totstandkoming van deze notitie beschreven. In het volgende hoofdstuk worden de visies en doelen met betrekking tot bodem van beleid en boerenvertegenwoordigers samengevat. Vervolgens wordt een samenvatting gegeven van de resultaten uit de inventarisatie naar kennisleemtes. Tot slot wordt per onderwerp met onderliggende kennisleemtes een kwalitatieve beschrijving gegeven, kennisvragen geformuleerd en een koppeling gemaakt met de doelen van beleid en boerenvertegenwoordigers.

## Aanpak

Deze notitie richt zich op onderwerpen rondom duurzaam beheer van akkerbouwbodems en wat daar sterk aan gekoppeld is. Duurzaamheid wordt hierbij gedefinieerd als het langdurig in stand houden van de ecosysteemdiensten van de bodem, oftewel de bodemfuncties. De productiefunctie is daar slechts één van. Specifieke onderwerpen rondom (bovengrondse) ziekte- en plagen en de beheersing of preventie daarvan en klimaatmitigatie/koolstofvastlegging komen maar beperkt aan bod in deze notitie omdat deze al uitgewerkt worden in andere programma's (BO GROEN/Akkerbouw op Zand en Slim Landgebruik, respectievelijk).

Voor het verzamelen van kennisleemtes- en vragen voor deze notitie zijn meerdere bronnen geraadpleegd. Alle externe partijen (en PPS partners) die eerder aangegeven hebben betrokken te willen zijn bij de PPS hebben een enquête ontvangen waarin input geleverd kon worden voor de kennisagenda. Er zijn twee werksessies gehouden met onderzoekers met expertises in verschillende thema's. Bij de evaluatie van de Kennisdag van PPS Beter Bodembeheer is input opgehaald van partners, adviseurs en agrariërs. Uit de rapporten "Kwantitatieve effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties" (Selin Norén et al., 2022, niet gepubliceerd) en "Groenbemers; een overzicht van kennisvragen (Dekkers & Haagsma, 2021) is ook input verzameld. Er is ook input verzameld uit een inventarisatie vanuit het

Europese programma EJP-Soil. Partners en onderzoekers hebben de kans gehad om te reageren op het eerste concept.

Het opstellen van onderwerpen voor een kennisagenda kan met verschillende benaderingen. Er zijn kennisvragen op het niveau van thema's en op het niveau van maatregelen. Maatregelen kunnen in de praktijk een functie vervullen bij één of meerdere thema's. Er is gekozen om de meest aangehaalde thema's zowel als de meest aangehaalde maatregelen op te nemen als onderwerpen in de notitie. Na het bundelen van onderwerpen uit de verschillende bronnen van input met duidelijke overlap zijn er acht onderwerpen geïdentificeerd waarvan vijf thema's zijn en drie maatregelen. De drie maatregelen zijn opgenomen omdat er voor deze extra veel aandacht was en omdat ze allemaal een sterke koppeling hebben met de thema's. De gevonden kennisleemtes worden onder de acht onderwerpen samengevat met een beschrijving, kennisvragen en een lijst met gekoppelde maatregelen.

In het hoofdstuk "Beschrijvingen per onderwerp: wordt aangegeven welke thema's uit de enquête onder elk onderwerp vallen. Als toelichting wordt de belangstelling van thema's in de enquête aangegeven met cijfers (1: hoge belangstelling --> 8: lagere belangstelling). De uitdagingen en vragen die horen bij de kennisleemtes worden kort beschreven en gekoppeld aan het handelingsperspectief van de boer. Vervolgens wordt de relevantie van de kennisleemte onderbouwd door deze te koppelen aan doelen van beleid en boerenvertegenwoordigers. Er wordt aangegeven wat voor type kennisleemte het betreft en wat de oplossingsrichting daarom is. Daar wordt onderscheid gemaakt in fundamenteel onderzoek, praktijkonderzoek en kennisverspreiding/communicatie (incl. praktijktools). Fundamenteel onderzoek betekent hier dat het onderwerp nog niet gereed is om in de praktijk te toetsen omdat er nog vooronderzoek nodig is. Praktijkonderzoek is wanneer er maatregelen of andere oplossingen zijn met potentie zijn die direct toegepast zouden kunnen worden in proeven of in de praktijk. Kennisverspreiding is als de kennis beschikbaar is maar nog niet gecommuniceerd of niet in het juiste format of met het juiste gebruikersgemak.

## Visies, missies en doelen van beleid en boerenvertegenwoordigers

Om het belang van bodemonderzoek in beeld te brengen is eerst een overzicht gemaakt van de visies en doelen van beleid en boerenvertegenwoordigers. Zo kunnen vervolgens de kennisleemtes gekoppeld worden aan deze gemeenschappelijke doelen. Er is door de auteurs een selectie gemaakt in visies, missies en doelen van verschillende partijen op basis van relevantie, dit is dus geen uitputtende lijst. Een deel van de visies en doelen zijn ook enige jaren oud. Visies en doelen met betrekking tot het thema bodem worden van tien verschillende beleidsprogramma's en sectorvertegenwoordigers verzameld en samengevat in dit hoofdstuk. Deze spelen zowel op 1. internationaal als op 2. Europees en 3. nationaal niveau en worden in deze volgorde beschreven. Er wordt steeds een bron (document of website) gegeven waaruit de beschrijving van de visie gedestilleerd is.

### **Sustainable development goals (SDG's)**

Nederland heeft zich gecommitteerd aan de Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/>). Meerdere doelen richten zich op voedselproductie en bodembeheer:

SDG2 Geen honger: voldoende voedselproductie

SDG3 Goede gezondheid en welzijn: voedselproductie van goede kwaliteit

SDG6 Schoon water en sanitair: minimale emissies vanuit de landbouw

SDG7 Betaalbare en duurzame energie: minimaliseren energiegebruik en gebruik duurzame energie in de landbouw

SDG 12 Verantwoorde consumptie en productie: duurzame landbouwproductie

SDG 13 Klimaatactie: koolstofvastlegging in de bodem en minimale emissie van broeikasgassen

SDG 15 Leven op het land: voorkomen bodemdegradatie en behoud/versterken biodiversiteit

### **Soil Mission Board for Soil health and food (EU)**

Deze missie heeft veel raakvlakken met het Nationaal Programma Landbouwbodems (pagina 6), alleen zijn de doelen ook geformuleerd voor bodems buiten landbouwkundig gebruik en zijn niet alle doelen even relevant voor de Nederlandse context. De relevante doelen voor deze notitie is het doel van een

toename in koolstofvastlegging, 25% van landbouwgrond onder biologische teelt om vervuiling tegen te gaan (eutrofiëring, residuen van gewasbeschermingsmiddelen) en nog 5-25% van de grond met een lager risico op vervuiling (Veerman et al., 2020). Het verbeteren van de bodemstructuur wordt ook als doel genoemd om zo het bodemleven en bodemvruchtbaarheid te verbeteren met hierbij een vermindering van het areaal met ondergrondverdichting van 30-50%. Een laatste doel is een verbeterde kennis en training over bodem in het onderwijs, voor landbeheerders, adviseurs en consumenten. Deze missie heeft veel overeenkomsten wat betreft onderwerpen met de EU Soil Strategy (EUR-LEX, 2021). Naast de genoemde missie en strategie van de EU speelt ook het GLB-beleid deels op Europees niveau.

### **Klimaatakkoord**

Op het gebied van klimaat zijn in het Nederlandse klimaatakkoord, in vervolg op het wereldwijde klimaatakkoord in Parijs afspraken gemaakt over het vastleggen van koolstof in de bodem ([www.klimaatakkoord.nl](http://www.klimaatakkoord.nl)). Zo geldt voor de minerale bodems het streven om vanaf 2030 per jaar 0,5 Mton CO<sub>2</sub> in de bodem vast te leggen. Emissies uit grasland en landbouwgrond mogen in de periode 2021-2030 niet meer bedragen dan in de referentieperiode. En ook voor veengronden en inzet van bossen op landbouwgronden ambitieuze afspraken gemaakt die de landbouw raken.

### **Kaderrichtlijn Water, nitraatrichtlijn en grondwaterrichtlijn (H<sub>2</sub>O)**

In de Kaderrichtlijn Water (KRW), de nitraatrichtlijn en de grondwaterrichtlijn wordt gesteld dat bodems zorgen voor gezond en veilig water (BIJ12 (n.d.), Rijksoverheid (2021), RIVM (2018)). De nitraatrichtlijn is in Nederland uitgewerkt in 4-jarige actieprogramma's nitraatrichtlijn waar met regels op het gebied van o.a. toediening organische mest, toepassing van vanggewassen en scheuren van grasland ook een directe relatie is met het beheer van de bodem (Ministerie van LNV & Ministerie van I&M, 2017). Er wordt ook aandacht gegeven aan wat de relatie is tussen de bodemkwaliteit en nitraatuitspoeling. In het voorgestelde 7<sup>e</sup> Actieprogramma Nitraatrichtlijn zijn er meerdere maatregelen die een grote impact kunnen hebben op de akkerbouw (Rijksoverheid (2021)). Er is verplichte inzaai van rustgewassen (1 op 4) en vanggewassen (per 1 oktober) op zand- en lössgronden op gangbare bedrijven. De uitrijperiode van vloeibare mest is verplaatst van 15 februari naar 15 maart en er mag max 60 kg N uitgereden worden na 1 augustus. De invulling van het 7<sup>e</sup> actieprogramma is nog niet rond op het moment van schrijven van deze notitie.

### **Kennis- en innovatie agenda Landbouw, Water en Voedsel (KIA-LWV)**

In de Kennis- en innovatie agenda Landbouw, Water en Voedsel (KIA-LWV) heeft de bodem een belangrijke rol in meerdere missies (<https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/>, Van Vilsteren & Van Rijn, 2021). In het document 'Meerjarige Missieprogramma Innovatieprogramma's Landbouw, Water en Voedsel – Impacts & Outcomes' betreft het MMIP's (MMIP's = Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's) die vallen onder de missies A, B, C en D. Deze MMIP's zijn voor het eerst in 2019 geformuleerd en de voortgang van deze programma's wordt gemonitord. Hieronder volgt een samenvatting van de doelen en sub-doelen per MMIP waarin de bodem in de akkerbouw een belangrijke positie heeft:

- **A1 - Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht**
  - Max. gebruik organische reststromen i.p.v. kunst- en minerale mest
    - Humane en dierlijke reststromen
  - Efficiënt gebruik nutriënten
    - Fosfor en kalium naar 95%
    - Stikstof naar 50%
    - Bodemnutriënten in balans
    - Minimale emissies van nutriënten (C4)
  - Sluiten kringlopen kleinst mogelijk schaal
- **A2 – Gezonde, weerbare bodem en teeltsystemen gebaseerd op agro-ecologie**
  - Teelmaatregelen voor bodemkwaliteit en weerbaarheid
  - Bodemindicatoren gestandaardiseerd en meetbaar
  - Minder input door:
    - Biotische en abiotische kwaliteit en weerbaarheid
    - Precisielandbouw- en bemestingstechnieken
- **A4 – Eiwitvoorziening voor humane consumptie uit (nieuwe) plantaardige bronnen**
  - Eiwithoudende gewassen voor veevoer en mens inpassen in teeltsystemen

- **A5 – Biodiversiteit in de kringlooplandbouw**
  - Herstel van biodiversiteit in landbouwgronden
  - Een biodiverse bodem
  - Inzicht in wisselwerking tussen landbouwpraktijk en biodiversiteit
  - Landbouwareaal divers in gewassen, rassen en teeltsystemen
- **B2 – Landbouwbodems, emissiereductie lachgas en verhoging koolstofvastlegging**
  - Kennis opdoen van bodemprocessen (interactie C en N) i.r.t. teelt- en omgevingsfactoren (weer, grondsoort, gewas en meststof)
  - om maatregelen te optimaliseren
  - Ontwikkelen rotaties voor koolstofvastlegging
  - Ontwikkelen bemestingsstrategieën, - technieken en meststoffen
  - Aanleggen/aansluiten bij praktijkproeven voor onderzoek naar lachgasemissies
- **C1 – Klimaatbestendig landelijk gebied: voorkomen van wateroverlast en watertekort**
  - Voorkomen wateroverlast en -tekort, deze in balans
  - Waterefficiëntie stijgt met 50%
- **C2 – Klimaatadaptieve land- en tuinbouwsystemen**
  - Per gebiedstype bekend en inzetbaar:
    - Klimaatadaptieve teeltsystemen per gebiedstype
    - Vormen van klimaatadaptief bodembeheer
    - Klimaatadaptieve gewassen, rassen en teeltsystemen
- **D1 - Waardencreatie en verdienvermogen**
  - De bedrijfsvoering en businessmodellen van primaire producenten omvatten sociaal maatschappelijke en ecologische waarden
  - Nieuwe bedrijfssystemen en teeltwijzen
  - Nieuwe producten en kwaliteit

### **Nationaal programma landbouwbodems (LNV)**

In 2018 heeft het ministerie van LNV de Bodemstrategie gepresenteerd dat is uitgedomd in het Nationaal programma landbouwbodems (NPL). Het doel van het programma is dat in 2030 alle bodems in Nederland duurzaam beheerd zijn en 0.5 Mton koolstofvastlegging per jaar vanaf 2030 (LNV, 2019). Er wordt gesteld dat bodemvruchtbaarheid, klimaatadaptatie, verbeterde waterkwaliteit, hogere biodiversiteit en koolstofvastlegging de eigenschappen zijn die horen bij duurzaam bodembeheer. De grootste uitdagingen voor de bodemkwaliteit gaat, volgens het programma, om het zorgen voor minder bodemverdichting, betere organische stof (-balans en -kwaliteit) en zorg voor het bodemleven (hoeveelheid en diversiteit). Hierin zijn de drie aspecten van bodemkwaliteit meegenomen (chemisch, fysisch en biologisch).

### **Land- en tuinbouworganisatie (LTO)**

LTO stelt dat door goed voor de bodem te zorgen we gezonde en robuuste gewassen en bodems kunnen realiseren en krijgen we een veerkrachtig landbouwsysteem (LTO Akkerbouw 2019, LTO Akkerbouw 2021). Speerpunten voor LTO in de periode 2019-2021 betreffen plantaardige eiwitten, klimaatadaptatie, weerbaarheid tegen ziekten en plagen, koolstofvastlegging, precisielandbouw, voldoende mogelijkheden voor gewasbescherming, voldoende OS aanvoer, ruimte voor bodemverbeterende maatregelen zoals mest en rustgewassen en samenwerking met melkveehouderij.

### **Brancheorganisatie Akkerbouw (BO Akkerbouw)**

De akkerbouwsector heeft in 2019 een Actieplan plantgezondheid opgesteld waarin ze werkt aan lagere milieu-impact, een vitalere bodem en meer biodiversiteit. Het actieplan stelt dat investeren in een gezonde bodem helpt voor plantgezondheid en een gezonde akkerbouwsector (BO Akkerbouw, 2019). Daarnaast loopt de beschikbaarheid van gewasbeschermingsmiddelen terug mede door dreigende verboden van middelen (glyfosaat, candidates for substitution). Verhogen van de weerbaarheid van de bodem wordt als een oplossing gezien om het middelengebruik te kunnen beperken met behoud van opbrengst. De prestaties willen ze ook meetbaar en inzichtelijk maken voor de markt.

De akkerbouwsector heeft ook in 2018 een Klimaatagenda akkerbouw opgesteld (BO Akkerbouw, 2018). Hierin wordt ingegaan op kansen voor klimaatmitigatie en -adaptatie met precisielandbouw,

eiwitgewassen, koolstofvastlegging door ondiepe grondbewerking en toepassing van organische meststoffen en groenbemesters.

### Nederlandse Akkerbouw Vakbond (NAV)

In de NAV-toekomstvisie "Genoeg is Beter 2.0" wordt aangegeven dat ze een visie voor uitvoerbare toekomstbestendige akkerbouw hebben uitgebracht om te voorkomen dat maatregelen op boeren worden opgelegd die niet praktisch en economisch uitvoerbaar zijn (Nederlandse akkerbouw vakbond, 2020). Doelen waaraan volgens NAV de landbouw aan kan en moet bijdragen zijn: voldoende veilig en goed voedsel, tegengaan klimaatverandering, toename biodiversiteit, minimale emissie naar milieu en een goed inkomen voor de boeren. Ze steunen een herziening van de mestwetgeving, snellere toelating van groene gewasbeschermingsmiddelen en voor nieuwe verdelingstechnieken voor resistente rassen. Voor de akkerbouw vinden ze minder grondbewerking, ruimer bouwplan en precisielandbouw kansrijk. Het telen van eiwitgewassen wordt essentieel genoemd maar er zitten te veel marktbelemmeringen aan. NAV steunt ook kennisontwikkeling op het onderwerp biobased economie.

### Nederlands Agrarisch Jongeren Kontakt (NAJK)

NAJK heeft visiedocumenten opgesteld voor o.a. het mestbeleid en het klimaat (te bereiken via: <https://www.najk.nl/over-najk/standpunten/>). Hierin wordt aangegeven dat het mestbeleid grote invloed heeft op de bodem en dat een gezonde bodem mest op een goede manier kan afbreken zodat de voedingsstoffen uit mest beschikbaar komen voor de gewassen. Dit is goed voor het watervasthoudend vermogen en bodemleven(biodiversiteit). Ze willen dat de bodem centraal staat in het mestbeleid en dat de bemesting aangepast wordt op de productiviteit het gewas(soort) waardoor uitspoeling voorkomen wordt. In de visie op het klimaat wordt vooral ingegaan op veengronden en wordt aangegeven dan het belangrijk is dat men op veengronden kunnen blijven boeren. Onderwaterdrainage wordt als een interessante maatregel genoemd om verder te onderzoeken. Ze geven aan dat er gestuurd moet worden op organische stofbalans en dat een bedrijfsspecifieke grondbewerking hoort bij een bedrijfsspecifiek bouwplan. Ze willen dat boeren kans hebben om een financiële compensatie te ontvangen voor koolstofvastlegging en dat samenwerking tussen akkerbouwer en veehouder qua wetgeving eenvoudiger moet worden.

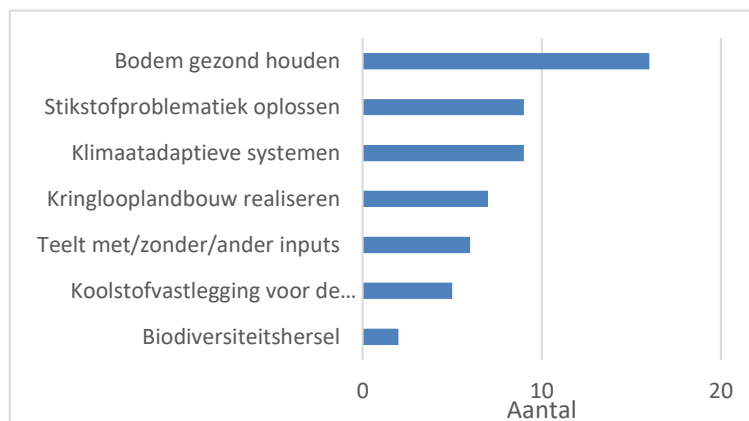
## Samenvatting van onderwerpen uit o.a. enquêtes en werksessies

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit, onder andere, de enquêtes en werksessies samengevat. De onderwerpen worden meer in detail beschreven in het volgende hoofdstuk.

Error! Reference source not found. toont de verdeling van belangstelling voor verschillende uitdagingen in de enquête. Op basis van open antwoorden van de bevrageden kunnen deze resultaten ook op kwalitatieve wijze beschreven worden:

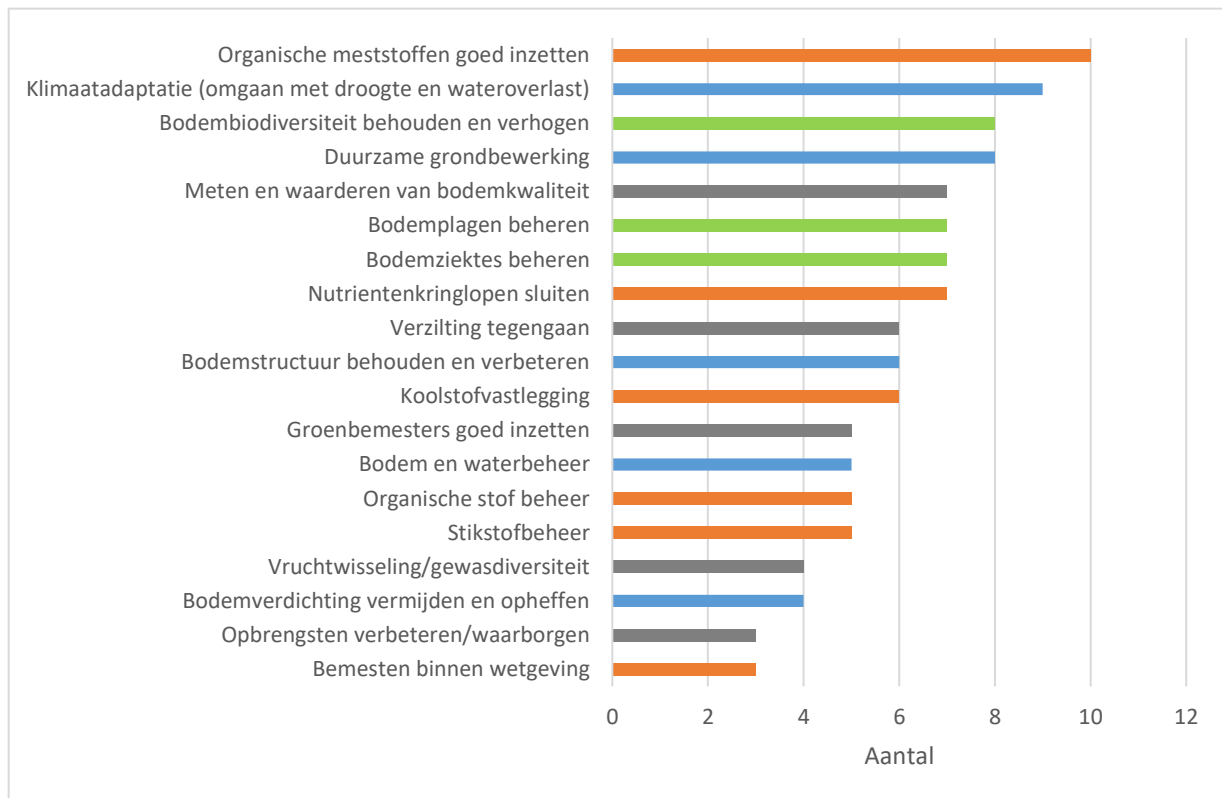
Uit de enquête blijkt een grote belangstelling voor de uitdaging "Bodem gezond houden". Een

gezonde bodem is de basis voor het verdienvermogen van de boer. Maar de bodem gezond houden is een grote uitdaging door de complexiteit de bodem en de wisselwerking tussen de bodem en het bedrijfssysteem. Er zijn vier gelijkwaardige duurzaamheidsaspecten met directe impact op de bedrijfsvoering die direct zorgen voor een toename in complexiteit in de bedrijfsvoering:



**Figuur 8-1.** Uitkomsten in de enquête op de vraag "Wat zijn de drie grootste maatschappelijke uitdagingen waar de bodem in de komende 10 jaar een essentiële rol in moet vervullen?". Aantal=aantal antwoorden van bevrageden.

- **Klimaatadaptatie**
- **Stikstofproblematiek - waterkwaliteit**
- **Kringlooplandbouw**
- **Beperkte inzet van gewasbeschermingsmiddelen**



**Figuur 8-2.** Uitkomsten in de enquête op de vraag "Gekoppeld aan de 3 gekozen uitdagingen, bij welke bodemthema's is er sprake van essentiële kennislacunes?". De thema's zijn voor deze figuur ingekleurd om het meer overzichtelijk te maken. De oranje thema's hebben betrekking tot organische stof, bemesting en nutriënten, de groene thema's tot biologische aspecten, de blauwe tot bodemstructuur of waterhuishouding en de grijze thema's hebben betrekking tot meerdere aspecten of staan meer los van andere thema's. Aantal=aantal antwoorden van bevrageden.

Deze aspecten kunnen een groot effect hebben op de productiviteit en de economische haalbaarheid van het bedrijfssysteem. Het betaalbaar maken van duurzaamheid is een grote factor in het geheel. Daarom is het **verdienvermogen** van de boer een centraal aspect die bij alle uitdagingen voor duurzaam bodembeheer terugkomt, en ook veel van de onderliggende thema's. De brede maatschappelijke uitdagingen zoals **biodiversiteitsherstel** en **koolstofvastlegging** stellen nog meer wensen aan het bedrijfssysteem maar staan nu nog iets verder van de praktijk, blijkt uit de enquête. Aan de andere kant worden deze aspecten vanzelf gedeeltelijk meegenomen bij een voldoende aandacht voor het bodemleven en organische stof aanvoer als onderdeel van duurzaam bodembeheer.

Gekoppeld aan deze grote uitdagingen zijn er verschillende bodemthema's met kennisleemtes die verschillend van aard zijn. In Error! Reference source not found. staan de thema's in volgorde van het aantal mensen die aangegeven hebben dat er sprake is van essentiële kennislacunes bij het thema. De open antwoorden van de bevrageden krijgen samen met deze kwantitatieve resultaten de volgende interpretatie:

De thema's die door de bevrageerde personen het meest genoemd worden zijn vaak sterk aan elkaar gekoppeld. Bij de meeste onderwerpen wordt gesproken over het belang van 1. de bodem niet verdichten en minder te verstoren, 2. voldoende en juiste aanvoer van organische stof, 3. het stimuleren of bewaren van bodemleven. Met deze drie aspecten wordt automatisch aangesloten bij de drie aspecten van bodemkwaliteit, namelijk bodemfysische-, bodemchemische- en bodembioologische kwaliteit. De meeste aspecten hebben onderling een mogelijke positieve wisselingwerking, bijvoorbeeld tussen aspecten zoals bodemstructuur, organische stof aanvoer, klimaatadaptatie, koolstofvastlegging en bodembiodiversiteit. Er zijn ook aspecten die mogelijk in strijd zijn met elkaar, zoals; het gebruik van

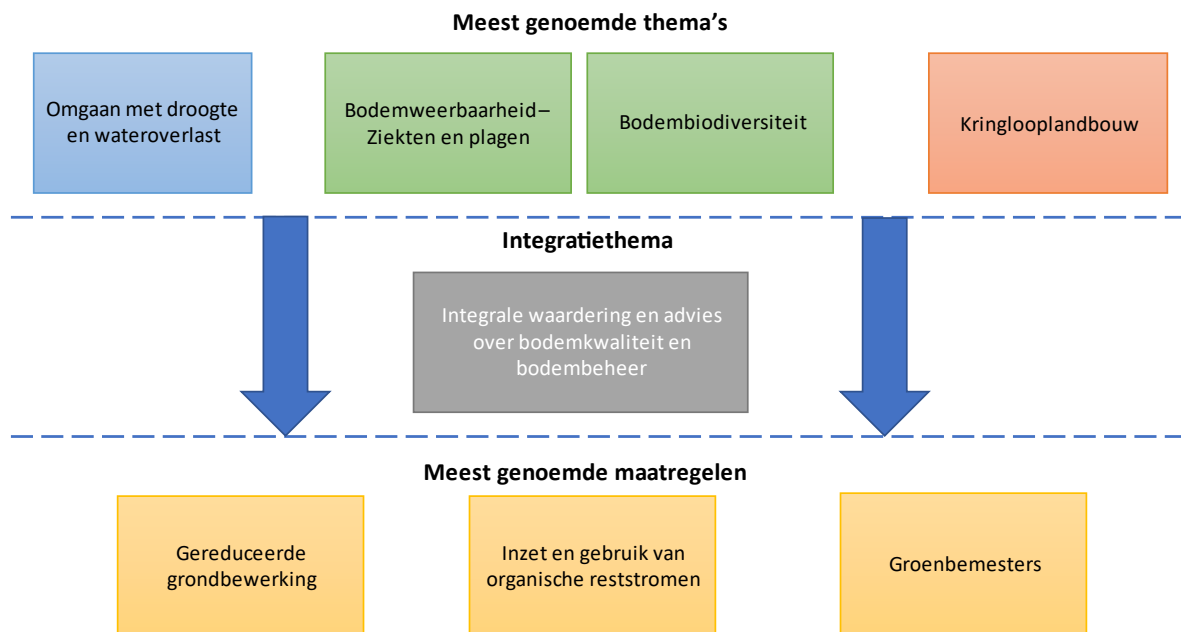
organische mest en een meer efficiënt gebruik van nutriënten met minder verliezen; het minder verstoren van de bodem en tegelijkertijd minder gebruik te maken van gewasbeschermingsmiddelen. In Figuur 78-3 zijn de vijf thema's en drie maatregelen in een overzicht gezet. In het hoofdstuk met beschrijvingen per onderwerp, worden ook de thema's gekoppeld aan andere maatregelen.

**Thema's:**

- Kringlooplandbouw
- Bodembiodiversiteit
- Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen
- Omgaan met droogte en wateroverlast
- Integrale waardering en advies over bodemkwaliteit

**Maatregelen:**

- Gebruik van organische reststromen
- Gereduceerde grondbewerking
- Groenbemesters



**Figuur 78-3.** Een overzicht van de meest genoemde thema's en maatregelen. Er zijn kennisvragen voor bijna alle thema's gekoppeld aan de drie genoemde maatregelen (zie hoofdstuk "Beschrijving per onderwerp").

Het meest aangehaalde onderwerp was het aanvoeren van organische reststromen (6) in het kader van kringlooplandbouw (1). De kennisleemte betreft voor kringlooplandbouw hoe je dit technisch en organisatorisch moet aanpakken op verschillende geografische niveaus. Voor het inzetten van meer organische reststromen als meststoffen zijn er vragen over hoe deze zo efficiënt en optimaal mogelijk in te zetten, aangepast op het bedrijf en teelt. Bodembiodiversiteit (2) is geïdentificeerd als een hoofdthema omdat er veel fundamentele kennisvragen zijn over de diensten die het bodemleven biedt en hoe en of we de bodembiodiversiteit functioneel en gericht in kunnen zetten in de akkerbouw. Dit thema hangt nauw samen met bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen (3) aangezien ziekten en plagen deel uitmaken van de gemeenschap van organismen in een onderlinge wisselwerking. Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen is een complex onderwerp en heeft naar verwachting ook te maken ook met de totaliteit van het systeem, inclusief de teelthandelingen, het bouwplan en alle drie aspecten van bodemkwaliteit. Het begrip bodemweerbaarheid wordt ook toegepast in de context van weerbaarheid voor klimaatadaptatie in verband met droogte en wateroverlast (4). Hier gaat het met name om de kansen voor verbeterde waterregulatie wat vooral betrekking heeft tot de fysische bodemaspecten en in iets mindere mate chemische en biologische aspecten van de bodem. Het laatste thema (5) gaat over het goedkoop en efficiënt meten en waarderen van bodemkwaliteit en hoe je dit relateer aan duurzaamheid. Het waarderen van bodemkwaliteit is de eerste stap richting adviezen over maatregelen, de vraag hier is hoe je alle onderwerpen meeneemt in een integraal advies die goed



aankomt bij de praktijk. De maatregelen gereduceerde grondbewerking (7) en groenbemesters (8) sluiten aan bij alle vijf thema's in meer of mindere mate.

Alle acht onderwerpen hebben raakvlakken met één of meerdere van de uitdagingen. In **Tabel 7.1** wordt aangegeven voor welke onderwerpen er raakvlakken zijn met elk thema. Dit betekent dat al wordt een uitdaging niet expliciet genoemd bij de onderwerpen wordt er met deze indeling van de onderwerpen geen uitdagingen vergeten. Bijvoorbeeld kunnen vragen rondom koolstofvastlegging beantwoord worden door de inzet van organische reststromen te onderzoeken. De stikstofproblematiek zal aan gewerkt moeten worden in het kader van kringlooplandbouw met daarbij inzet van organische reststromen en groenbemesters.

**Tabel 8.1.** Met kruisjes wordt aangegeven voor welke onderwerpen (thema's of maatregelen) er belangrijke raakvlakken zijn met de uitdagingen. In de praktijk zijn er meer raakvlakken tussen deze onderwerpen dan hier wordt aangegeven.

Uitdagingen						
Onderwerp	Klimaatadaptatie	Stikstofproblematiek- waterkwaliteit	Kringloop- landbouw	Beperkte inzet gewasbeschermings- middelen	Biodiveristeits- herstel	Koolstofvastleggin g
<b>Thema's</b>						
Kringlooplandbouw		(x)	x			(x)
Bodembiodiversiteit					x	
Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen				x	(x)	
Omgaan met droogte en wateroverlast	x	(x)				
Integrale waardering en advies over bodemkwaliteit	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x
<b>Maatregelen</b>						
Gebruik organische reststromen	van (x)	x	x	(x)	(x)	x
Gereduceerde grondbewerking	x	(x)		x	x	(x)
Groenbemesters	(x)	x	(x)		x	x

# Beschrijving per onderwerp

## **Thema: Kringlooplandbouw**

### **Op basis van o.a.: Nutriëntenkringlopen (4)**

De wens is om de nutriëntenkringlopen te sluiten door meer organische meststoffen gebruiken in plaats van kunstmeststoffen. Een belangrijk onderdeel hiervan is om humane reststromen in te zetten als meststof in de landbouw. **Kringlooplandbouw** is daarom meer dan de akkerbouwer en de veehouder laten samenwerken op het gebied van mest. Kringlooplandbouw begint op het veld, dan de kringloop op het bedrijf en dan de kringloop in de regio waar stedelijke componenten meegenomen worden.

Om kringlooplandbouw te organiseren is het nodig om vast te stellen wat de behoefte is van de bodem en daarnaast in kaart te brengen wat de mogelijke inputstromen zijn, inclusief humane reststromen. Dit geheel moet afgestemd worden verschillende beleidsmatige, wettelijke, logistieke en organisatorische niveaus willen we daadwerkelijk nutriëntenkringlopen in balans brengen. Deze kennisleemte is meer fundamenteel of organisatorisch van aard en heeft vooral betrekking tot landelijke doelen over kringlooplandbouw en inzet van organische reststromen.

**Sluit aan bij visies en doelen:** SDG's, EU, Klimaatakkoord, KIA-LWV (A1), LNV, BO-Akkerbouw en LTO

### **Vragen:**

1. Hoe organiseren we kringlooplandbouw op verschillende niveaus?
2. Hoe regelen we terugwinning van humane reststromen op grootschalige en goedkope manier voor toepassing in de landbouw?
3. Welke organische reststromen zijn inzetbaar, zijn er meer resten terug te winnen uit de verwerkingsindustrie?
4. Zijn er voldoende organische reststromen beschikbaar voor optimale bemesting en koolstofvastlegging?

### **Gekoppeld aan maatregelen:**

- Gebruik van organische reststromen

## **Thema: Bodembiodiversiteit**

### **Op basis van o.a.: Bodembiodiversiteit (3) Bodemweerbaarheid - ziekten en plagen (3), Duurzame grondbewerking (3), Meten en waarden van bodemkwaliteit (4)**

Eén aspect van bodemkwaliteit is de biologische kwaliteit. Deze is belangrijk voor de bodem om diensten te kunnen leveren en voedsel te kunnen produceren maar heeft ook een intrinsieke waarde omdat het een rijke bron van biodiversiteit is. De opbouw en werking van het bodemleven wordt momenteel intensief onderzocht en er zijn nieuwe kansen gekomen voor het onderzoek met nieuwe analysemethoden. De kennisleemtes betreffen de kwantificering van de effecten en diensten van het bodemleven in landbouwsystemen, de effecten van en mogelijke sturing met maatregelen op het bodemleven en de vertaling hiervan naar adviezen voor de praktijk.

Uit de beleid- en ontwikkeldoelen blijkt dat we de diensten en kansen met de bodembioïologie willen benutten voor weerbaarheid, bodemstructuur en nutriëntenhuishouding. Hiervoor is het belangrijk om de relaties tussen maatregelen en het bodemleven beter in beeld te brengen en om deze kennis te vertalen naar adviezen voor de praktijk. Dit sluit aan bij beleid- en ontwikkelingsdoelen met betrekking tot vitale bodems, biodiversiteit en bodemweerbaarheid. Bij dit thema hoort zowel fundamenteel onderzoek als praktijkonderzoek.

**Sluit aan bij visies en doelen:** SDG's, EU, KIA-LWV (A5), LNV

### **Vragen:**

1. Wat is het effect van de bodembiodiversiteit en indicatoren daarvan op het gewas?
2. Wat is het effect van verschillende maatregelen op het bodemleven? Hoe kan je met maatregelen het bodemleven sturen?
3. Wat zijn effecten van gewasbeschermingsmiddelen op het bodemleven?

### **Gekoppeld aan maatregelen:**

- Gereduceerde grondbewerking
- Gebruik van organische reststromen
- Groenbemesters
- Bouwplan

### **Thema: Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen**

#### **Op basis van o.a.: Bodemziektes en bodemplagen (4) Duurzame grondbewerking (3)**

In verband met verminderde kansen voor bestrijding van ziekten en plagen met gewasbeschermingsmiddelen is er een noodzaak om onder andere de weerbaarheid van planten tegen bodemziekte en -plagen te verhogen door de bodemkwaliteit te verbeteren. Er ontbreekt nog fundamentele kennis over in hoeverre dit in de praktijk mogelijk is, welke maatregelen daarbij horen en bij welke situaties deze toegepast kunnen worden. Onderzoek is nodig naar wat we van bodemweerbaarheid mogen verwachten en welke bodemkwaliteitsaspecten hier een rol in spelen. Voor een deel van de ziekten- en plagen zijn voornamelijk nog geen bekende bodemmaatregelen die oplossingen bieden. Vanuit praktijkperspectief ligt hier een noodzaak tot kennisontwikkeling voor de situatie dat specifieke gewasbeschermingsmiddelen niet meer gebruikt kunnen worden.

Bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen speelt vooral een rol in beleids- en ontwikkelingsdoelen met betrekking tot een beperkt gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in verband met strengere wetgeving, vervuiling van waters, biodiversiteitsverlies en toename in het biologische areaal. Bij dit thema hoort zowel fundamenteel onderzoek als praktijkonderzoek.

**Sluit aan bij visies en doelen:** EU, KIA-LWV (A2), BO-Akkerbouw en LTO

#### **Vragen:**

1. Welke effecten hebben de fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit op de ziekte- en plaagdruk?
2. Welke bodemmaatregelen kunnen de ziekte- en plaagdruk verminderen en welk effect heeft dit op het verdienvermogen van de boer?
3. Welke nog niet onderzochte maatregelen zijn kansrijk in de onderdrukking en bestrijding van ziekten en plagen?

#### **Gekoppeld aan maatregelen:**

- Gereduceerde grondbewerking
- Groenbemesters
- Gebruik van organische reststromen
- Bouwplanaanpassing
- Optimaal bemesten
- Optimaal gebruik van machines
- Beregening

### **Thema: Omgaan met droogte en wateroverlast**

#### **Op basis van o.a.: Klimaatadaptatie – droogte en wateroverlast (2) en Duurzame grondbewerking (3)**

De wens is om de bodemweerbaarheid te verbeteren zodat het landbouwsysteem beter bestand is tegen klimaatverandering waarbij wateroverlast en droogte steeds vaker voorkomt. Bij dit thema spelen de bodemfysische aspecten een belangrijke rol. Deze worden onder andere beïnvloed door teelthandelingen, de grondbewerking en organische stof in de bodem. De akkerbouw is kwetsbaar voor weersextremen zoals wateroverlast en droogte. Droogte bedreigt de opbrengsten, ook wanneer gezorgd wordt voor de bodemstructuur en de bodemorganische stof volgens de aanbevelingen. Bodemverdichting is een groot knelpunt bij zowel droogte als wateroverlast omdat het de capillaire stijging van water naar het gewas beperkt en ook de infiltratie en het stromen van water door de bodemprofiel vermindert. Voor zowel wateroverlast als droogte en het is over het algemeen niet goed bekend welke maatregelen effectief zijn voor het verminderen van de negatieve effecten op het gewas. Het is noodzakelijk voor een weerbare akkerbouwsector dat er praktijkkennis komt over hoe bodem en teeltsystemen klimaatadaptief gemaakt kunnen worden en dat deze kennis ook beschikbaar komt voor beleidsmakers. Dit thema sluit goed aan bij de nationale en internationale beleids- en ontwikkelingsdoelen m.b.t. klimaatadaptatie en aanpak van bodemverdichting. Praktijkonderzoek, innovatie en kennisverspreiding spelen alle drie een rol bij dit thema.

De eerste stappen tot de ontwikkeling van praktijkkennis worden gezet in de PPS Klimaatadaptatie waarin ook een aanzet gedaan wordt tot het beantwoorden van een deel van de onderstaande vragen.

Sluit aan bij visies en doelen: EU, KIA-LWV(C1, C2), LNV, LTO en BO-Akkerbouw

Vragen:

1. Welke maatregelen kunnen negatieve effecten van droogte voorkomen?
2. Met welke maatregelen kan bodemverdichting worden voorkomen of opgelost?
3. Hoe krijg je watervasthoudend vermogen én drainerend vermogen van de bodem gelijktijdig in orde?
4. Welk effect heeft verkeerde inzet van bodembewerkingen en machines op de bodem en bedrijf en hoe kunnen we hierover beter adviseren gericht op klimaatweerbaarheid?
5. Hoe het conflict oplossen tussen bodemstructuurbederf en het laat moeten oogsten onder slechte omstandigheden omdat dit voor de fabrik de enige oplossing is? (aanpak keten)
6. Wat zijn de mogelijkheden voor verbeterde waterbeheer op het bedrijf (opslag, beregeningsmethode, drainage, waterpeil)?
7. Welk effect hebben de genoemde maatregelen op het verdienvermogen van de boer?

Gekoppeld aan maatregelen:

- Optimaal gebruik van machines afhankelijk van bodemcondities
- Vaste rijpaden, incl. de oogstwerkzaamheden
- Gereduceerde grondbewerking
- Groenbemesters
- Gebruik van organische reststromen
- Waterbeheer
  - Waterberging van perioden van overschotten (extra bescherming)
  - Peilgestuurde drainage
  - Precisieberegening

### **Thema: Integrale waardering en advies over bodemkwaliteit**

Op basis van o.a.: **Metten en waarderen van bodemkwaliteit (4) en Koolstofvastlegging (4)**

De bodem is een complex onderwerp met een grote variatie in eigenschappen. Er zijn veel vragen over de relatie en interacties tussen fysische, chemische en biologische aspecten van de bodem. De interpretatie en beoordeling van bodemkwaliteit, vooral de biologische en fysische aspecten, is een uitdaging. De relatie tussen bodemindicatoren en prestaties van de bodem betreffende het bieden van ecosysteemdiensten is nog niet duidelijk. Tevens vormt de beschikbaarheid van meetmethodes en de kosten daarvan een knelpunt.

Om doelen voor duurzaam bodembeheer te evalueren en ecosysteemdiensten te monitoren is het noodzakelijk om bodemindicatoren te kunnen meten en de gemeten waarden te kunnen beoordelen. Op veel vlakken zijn er nog kennisvragen te beantwoorden door fundamenteel en praktijkonderzoek. Er is ook innovatie nodig om meten en waarderen van bodemkwaliteit praktijkrijp te maken.

Sluit aan bij visies en doelen: EU, KIA-LWV (A2), LNV, BO-Akkerbouw

Vragen:

1. Hoe kunnen we goedkoop en eenvoudig de bodemkwaliteit meten?
2. Hoe beoordeel je biologische bodemkwaliteit op een tijds-, kosten- en kennisefficiënte wijze? Wat zijn streefwaarden?
3. Hoe beoordeel je fysische bodemkwaliteit en bodemverdichting op een tijds-, kosten- en kennisefficiënte wijze? Wat zijn streefwaarden?
4. Hoe kunnen we goedkoop en betrouwbaar de koolstofvastlegging in de tijd monitoren?
5. Wat is de relatie tussen bodemstructuur, bodemchemie/nutriëntenopname en bodemleven?
6. Hoe komen we tot streefwaarden die passen bij specifieke bouwplannen en locaties (grondsoort etc.)?
7. Hoe ga je om met heterogeniteit van de bodem bij het bemonsteren en bij adviezen voor bodemkwaliteit?

8. Welke aspecten moeten gemeten worden en voor welke aspecten is het wel/niet uitvoeren van maatregelen voldoende?
9. Hoe evalueer je de prestatie van de bodem in het leveren van ecosysteemdiensten (bodemfuncties) op basis van bodemkwaliteitsindicatoren?
10. Hoe kunnen we de intensiteit van grondbewerking kwantificeren en dit koppelen aan bodemprestaties?
11. Hoe kom je tot een goede systematiek voor advies rond bodembeheer en welke tools kunnen daaraan bijdragen en hoe (groenbemesterkeuzetool, bouwplanmodule, bemestings-/OS- module)

### **Maatregel: Gebruik van organische reststromen**

#### **Op basis van o.a.: Organische reststromen goed inzetten (1) en Kringlooplandbouw (4)**

Voor een verbeterde bodemkwaliteit en kringlooplandbouw is de wens om meer organische reststromen (meststoffen en bodemverbeteraars) in te zetten in plaats van kunstmest (o.a. KIA-LWV). Er is een grote variatie in de samenstelling van organische reststromen en ook in het tijdsverloop van het vrijkomen van nutriënten. Dit creëert vragen over welk organische reststroom geschikt is voor een specifieke situatie (tijdstip, teelt, bouwplan, grondsoort) en hoe je in het kader van kringlooplandbouw efficiënt ermee kan bemesten met behoud van weinig verliezen (vooral van stikstof) en een goede nutriëntenbalans. De verhouding van nutriënten in organische reststromen zorgt voor extra uitdagingen bij het maken van een bemestingsplan binnen de bemestingsruimte. Dit wordt als een uitdaging ervaren in de praktijk. Dit levert ook vragen op over mogelijkheden voor mestverwerking. Daarnaast zijn er vragen over wat het effect van de verschillende kwaliteiten van organische reststromen is op overige aspecten zoals stikstofhuishouding, gewasgezondheid, bodemleven en bodemstructuur. Hierdoor heeft dit thema veel raakvlakken met andere thema's. Verbeterde kennis en advies voor de praktische aanpak bij organische bemesting is noodzakelijk om de teelten met organische meststoffen goed uit te kunnen voeren en tegelijkertijd te voldoen aan beleidsdoelstellingen van nutriëntenefficiëntie, waterkwaliteit, koolstofvastlegging en kringlooplandbouw.

Dit thema sluit goed aan bij de beleids- en ontwikkelingsdoelen met betrekking tot bodemkwaliteit, kringlooplandbouw, koolstofvastlegging en minimale verliezen van nutriënten. Zowel fundamenteel onderzoek, praktijkonderzoek en kennisverspreiding kunnen ingezet worden bij dit thema.

**Sluit aan bij visies en doelen:** SDG's, EU, H2O, Klimaatakkoord, KIA-LWV (A1), LNV, BO-Akkerbouw, LTO en NAJK

#### **Vragen:**

1. Wat is het effect van verschillende kwaliteiten van bekende en nieuwe organische reststromen in de bodem en op gewas (bemestend effect, stikstofhuishouding, gewasgezondheid, bodemleven, bodemstructuur)?
2. Wat is het NPK-bemestingseffect van verschillende organische reststromen in de loop van de tijd bij verschillende omstandigheden, zoals weer, grondsoort en vruchtwisseling?
3. Hoe kom ik tot een optimale keuze van kwaliteit, hoeveelheid, combinatie en timing van organische reststromen voor mijn bemestingsplan?
4. Is mestverwerking nodig en mogelijk om optimaal met organische reststromen te kunnen bemesten?
5. Wat zijn lange-termijn effecten van verschillende organische reststromen, ook economische effecten en koolstofvastlegging?

#### **Gekoppeld aan maatregelen:**

- Verschillende (nieuwe) organische reststromen inzetten
- Precisiebemesting en rijenbemesting met organische mest
- Bemesting afstemmen op gewasbehoefte (meerdere kleine dosissen)

### **Maatregel: Gereduceerde grondbewerking**

#### **Op basis van o.a.: Duurzame grondbewerking (3)**

Gereduceerde grondbewerking wordt verwacht een belangrijke rol te kunnen spelen voor meerdere thema's door het effect op de algemene bodemkwaliteit. Dit betreft vooral effecten op de bodemstructuur, biodiversiteit, ziekten- en plagen en mogelijk ook nog op de nutriëntenuishouding.

Bij gereduceerde grondbewerking is er spanning tussen de voordelen voor bodemstructuur en biodiversiteit en mogelijke nadelen voor ziekten-, plagen- en onkruiden. Er zijn nog praktische kennisvragen over de juiste uitvoering van gereduceerde grondbewerking. Ook zijn er kennisvragen over onderwerpen waar in het huidige onderzoek niet op is gefocust zoals ziekten- en plagen en nutriëntenhuishouding. Tevens geldt dat er veel verschillende vormen van gereduceerde grondbewerking mogelijk zijn en dat deze andere effecten en uitdagingen hebben.

Gereduceerde grondbewerking sluit aan bij de thema's bodemweerbaarheid voor klimaatadaptatie, bodembiodiversiteit en bodemweerbaarheid tegen ziekten- en plagen.

**Sluit aan bij visies en doelen:** SDG's, EU, Klimaatakkoord, KIA-LWV, LNV, BO-Akkerbouw en NAK

**Vragen:**

1. Welke vorm van gereduceerde grondbewerking is geschikt voor een specifiek bouwplan, teelt of grondsoort (ondiep ploegen, directzaai, met of zonder woelen)?
2. Wat is het effect op de bodem van af en toe ploegen?
3. Wat is het effect van op gereduceerde grondbewerking op de stikstofhuishouding?
4. Hoe teel je fijnzadige en onkruidgevoelige gewassen met behoud van opbrengsten?
5. Wat is het effect van gereduceerde grondbewerking op weerbaarheid tegen ziekten en plagen?
6. Wat is het effect op overleving van ziekten en plagen in oppervlakkig ingewerkte gewasresten en wat zijn de adviezen hiervoor?
7. Hoe moet je gereduceerde grondbewerking aanpakken gedurende de eerste jaren van uitvoering?

**Maatregel: Groenbemesters**

Groenbemesters kunnen een belangrijke rol vullen bij meerdere thema's door hun invloed op het organische stofgehalte, de nutriëntenhuishouding en de bodemstructuur. Er zijn nog veel vragen over hoe groenbemesters gericht ingezet kunnen worden voor specifieke doelen, en ook fundamentele vragen over welk effect ze hebben op de bodem. Voor alle onderwerpen geldt dat inzicht nodig is bij verschillende voor- en volgvruchten, groenbemestersoorten en samenstellingen van mengsels, ziekten- en plagen, groeiduur, inwerktijdstip en -wijze. Dit maakt groenbemesters een complex onderwerp. Het thema groenbemesters sluit aan bij de thema's bodemweerbaarheid voor klimaatadaptatie, bodembiodiversiteit, bodemweerbaarheid tegen ziekten- en plagen. Deze maatregel speelt ook een belangrijke rol voor de waterkwaliteit.

**Sluit aan bij visies en doelen:** SDG's, EU, H2O, Klimaatakkoord, KIA-LWV, LNV en BO-Akkerbouw

**Vragen:**

1. Wat is het effect op ziekten en plagen?
2. Wat is het effect op de stikstofdynamiek?
3. Wat is het effect van verschillende wijzen van inwerken?
4. Welke groenbemester past bij welk voor- en volgvrucht?
5. Welk effect hebben groenbemesters op de bodemstructuur, draagkracht en ondergrondverdichting?
6. Wat is het effect van groenbemesters op de bodembiodiversiteit en op bovengrondse biodiversiteit van vogels, bestuivers en insecten?
7. Welke allopathische effecten komen voor bij opnemen van groenbemesters in het bouwplan?
8. Hoe kom ik tot een keuze van een groenbemesters voor mijn specifieke situatie?
9. Wat zijn de financiële voordelen van groenbemesters op de lange termijn?

## Literatuurlijst bijlage 2

- BIJ12 (n.d.) Kaderrichtlijn water.  
<https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>
- Brancheorganisatie akkerbouw (2018) Actieplan plantgezondheid – Gezonde planten voor een gezonde toekomst, Zoetermeer.
- Brancheorganisatie akkerbouw (2019) Klimaatagenda Akkerbouw, Zoetermeer.
- EUR-LEX(2021) COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
- Klimaatakkoord (2019).  
<https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>.
- LNV (2019) Brochure: Nationaal Programma Landbouwbodems – Alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam beheer in 2030, Den Haag, 123615
- LTO Akkerbouw (2019) Plannen, zaaien en oogsten – Visie en Strategie 2019-2021.
- LTO Akkerbouw (2021) Speerpunten 2020-2021 – Akkerbouw & Vollegrondsgroenten.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2017). Zesde Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2018 - 2021). <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2017/12/22/zesde-nederlandse-actieprogramma-betreffende-de-nitraatrichtlijn-2018-2021/zesde-nederlandse-actieprogramma-betreffende-de-nitraatrichtlijn-2018-2021.pdf>
- NAJK (n.d.) Standpunten NAJK. <https://www.najk.nl/over-najk/standpunten/>
- Nederlandse akkerbouw vakbond (2020) De toekomst van de akkerbouw – Genoeg is Beter 2.0.
- Rijksoverheid (2021) Zevende Actieprogramma Nitraatrichtlijn na consultatie aangepast, <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2021/11/26/zevende-actieprogramma-nitraatrichtlijn-na-consultatie-aangepast>.
- RIVM (2018) Grondwaterrichtlijn. <https://www.rivm.nl/kaderrichtlijn-water-krw/grondwaterrichtlijn>.
- UN (n.d.) Sustainable development goals, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- van Vilsteren, G., & van Rijn, F. (2021). *Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's Landbouw, Water en Voedsel: impacts & outcomes*. Topsector Agri & Food.
- Veerman, C., Correia, T. P., Bastioli, C., Biro, B., Bouma, J., Cienciala, E., ... & Wittkowski, R. (2020). Caring for soil is caring for life: ensure 75% of soils are healthy by 2030 for healthy food, people, nature and climate: interim report of the mission board for soil health and food: study, European commission, Brussels.



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)**

Rapport WPR-OT 898

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6,000 fte) en 12.900 studenten 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.

---