



De effecten van langjarig gereduceerde grondbewerking op zavelgrond op opbrengsten in een gangbaar en biologisch teeltsysteem

Auteurs | Derk van Balen, Fogelina Cuperus, Wiepie Haagsma, Janjo de Haan,
Wim van den Berg†, Wijnand Sukkel

Vertaling | Jan Tolhoek



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

WPR-OT-993

De effecten van langjarig gereduceerde grondbewerking op zavelgrond op opbrengsten in een gangbaar en biologisch teeltsysteem

Auteurs: Derk van Balen, Fogelina Cuperus, Wiepie Haagsma, Janjo de Haan, Wim van den Berg†, Wijnand Sukkel

Vertaling: Jan Tolhoek

Dit onderzoek is in opdracht van het Nederlandse Ministerie van Landbouw en Voedsel en particuliere instellingen via de Publiek Private Samenwerking (PPS) Beter bodembeheer uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten in het kader van beleidsondersteunend onderzoek (projectnummer BO-56-00-005).

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

Wageningen, maart 2023

Rapport WPR-OT 993

Balen van, D., Cuperus, F., Haagsma, W., Haan de, J., Berg van den, W., Sukkel, W.,, 2023. *De effecten van langjarig gereduceerde grondbewerking op zavelgrond op opbrengsten in een gangbaar en biologisch teeltsysteem; Resultaten BASIS project 2009-2018*. Wageningen Research, Rapport WPR-993

Gebaseerd op: 'Crop yield response to long-term reduced tillage in a conventional and organic farming system on a sandy loam soil'

Soil and Tillage Research 225, 105553, <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105553>

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/587143>

Samenvatting: Dit rapport beschrijft de langetermijneffecten van tien jaar gereduceerde grondbewerking op gewasopbrengsten in een gangbaar en biologisch landbouwsysteem. De gegevens zijn verzameld in de BASIS-veldproef welke in 2009 in Nederland is opgezet, om de effecten van gereduceerde grondbewerking op gewasopbrengst en bodemeigenschappen in een systeem met onbereden bedden/vaste rijpaden op zavelgrond te onderzoeken. Het experiment is uniek door de focus op wortel- en knolgewassen geteeld op ruggen, rooigewassen en klein zadige gewassen, waaronder hoog salderende gewassen als aardappel (*Solanum tuberosum*), peen (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), zaaiui (*Allium cepa*) en suikerbiet (*Beta vulgaris*). Het doel van deze studie was het analyseren van de langetermijneffecten van gereduceerde grondbewerking op de marktbaar opbrengsten van deze gewassen, geteeld in een gangbaar (vierjarige rotatie) en biologisch (zesjarige rotatie) bedrijfssysteem. De grondbewerkingsbehandelingen waren ploegen (PL, ploeg, 23-25 cm diepte), gereduceerde grondbewerking met woelen (NKG+, woelpoot, 18-20 cm diepte) en gereduceerde grondbewerking zonder woelen (NKG-). Onze belangrijkste bevinding is dat de twee systemen met gereduceerde grondbewerking over een periode van 10 jaar voor 12 (NKG+) en 11 (NKG-) van de 13 geteelde gewassen vergelijkbare of zelfs hogere marktbaar opbrengsten opleverden dan conventionele grondbewerking. Gereduceerde grondbewerking resulteerde in lagere opbrengsten bij twee gewassen: wortel (-13,4% bij NKG+ en -15,2% bij NKG-) en kool (-5,2% bij NKG-). In beide gevallen konden de opbrengstverliezen gedeeltelijk worden gerelateerd aan de negatieve effecten van gewasresten van de voorafgaande groenbemester. Onze resultaten tonen aan dat het opbrengstniveau van gewassen die in ons experiment in gereduceerde grondbewerking worden geteeld, over het algemeen kan concurreren met de opbrengst van gewassen in geploegde systemen. Het beheer van gewasresten en de voorbereiding van het zaaibed blijven echter een uitdaging bij systemen met gereduceerde grondbewerking en vereisen verdere aandacht in onderzoek en verspreiding van kennis.

Trefwoorden: gereduceerde grondbewerking, marktbaar opbrengst, aardappel (*Solanum tuberosum*), suikerbiet (*Beta vulgaris*), zaaiui (*Allium cepa*), peen (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), zavelgrond, biologische landbouw, gangbare landbouw

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0300 29 11 11; 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.

Foto omslag: WUR Open Teelten

Inhoud

1	Inleiding	6
2	Materiaal en methoden	8
	2.1 Locatie en opzet van het experiment	8
	2.2 Teeltmanagement	9
	2.2.1 Gewasrotatie en teeltmethodes	9
	2.3 Verzamelen van data en data analyse	12
3	Resultaten en discussie	13
	3.1 Aardappelopbrengst	14
	3.2 Peen opbrengst	17
	3.3 Ui opbrengst	19
	3.4 Suikerbiet opbrengst	19
	3.5 Overige gewassen	20
4	Conclusie	22
	Literatuur	23
	Bijlage A Aanvullende informatie van Balen et al.	26
	Bijlage B Aanvullende gegevens van Balen et al.	35

Woord vooraf

Gereduceerde grondbewerking waaronder niet kerende grondbewerking wordt wereldwijd toegepast als erosiebeperkende maatregel. De ervaringen in Nederland waren tot begin deze eeuw beperkt tot de lössgronden waar deze methode van grondbewerking al langere tijd wordt toegepast. De potentie van gereduceerde grondbewerking om de bodemkwaliteit te verbeteren werd opgepikt door biologische akkerbouwers die met een systeem van vaste rijpaden werken. Men liep echter tegen een groot aantal vragen aan, wat de aanzet gaf tot het opzetten van een experiment op de zavelgrond in Lelystad eind 2008. Door in een gangbaar en biologische bouwplan met rooivruchten en fijnzadige gewassen ploegen te vergelijken met gereduceerde grondbewerking, kan de potentie van het laatste systeem onderzocht worden. De combinatie met onbereden beddenteelt/vaste rijpaden kan versterkend werken. In de jaren die volgden zijn naast gewasopbrengsten ook bodemfysische, -biologische en -chemische eigenschappen onderzocht. Resultaten hiervan zijn in verscheidene publicaties naar buiten gebracht. Het ontbrak aan een langjarig overzicht van gerealiseerde marktbaar opbrengsten. Begin 2023 is een wetenschappelijk artikel gepubliceerd in *Soil and Tillage Research* met de resultaten van opbrengst tussen 2009 en 2018 (Balen et al, 2023). Daar is dit een rapport een vertaling van om de mooie resultaten van deze langjarige proef beter te ontsluiten.

Voor het uitstekende beheer van de BASIS-veldproef danken wij Joost Rijk en Henk Oosterhuis†. We bedanken alle studenten en veld- en lab assistenten die een grote bijdrage hebben geleverd in het veld en in het lab. Joao Paulo was een grote hulp bij de statistische analyse van de gegevens. Wij zijn dankbaar voor de feedback van een anonieme recensent op vroege versies van het manuscript en de bewerking van de definitieve versie door Christien Ettema. Medeauteurs Fogelina Cuperus en Wiepie Haagsma hebben een grote rol gespeeld in het meeschrijven van het artikel en het toegankelijk maken van de vele data. Wim van den Berg heeft ervoor gezorgd dat de data geanalyseerd en op een overzichtelijk manier gepresenteerd is vanaf de start van het project. Janjo de Haan en Wijnand Sukkel hebben vanaf het eerste uur als projectleiders van PPS Beterbodembeheer meegedacht over de opzet en inhoud van de rapportage. Jan Tolhoek heeft ervoor gezorgd dat er een Nederlandse versie van het oorspronkelijke Engelstalige artikel is en Maria-Franca Dekkers en Martine Trip hebben meegewerkt bij het redigeren van de tekst.

Derk van Balen

Abstract

This report describes the long-term effects of practicing ten years of reduced tillage on crop yields in a conventional and organic farming system context. Data was collected from the BASIS field experiment, which was established in the Netherlands in 2009 to investigate the effects of reduced tillage on crop yield and soil properties in a controlled traffic farming system on a sandy loam soil. The experiment is unique in its focus on root crops grown on ridges, planted and fine-seeded crops, including cash crops such as potato (*Solanum tuberosum*), carrot (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), sowed onion (*Allium cepa*) and sugar beet (*Beta vulgaris*). The objective of the present paper was to analyze the long-term effects of reduced tillage on the marketable yields of these crops, grown in a conventional (4-year rotation) and organic farming system (6-year rotation). Tillage treatments compared were conventional deep inversion tillage (PL, mouldboard plough, 23-25 cm depth), reduced tillage with sub-soiling (NKG+, chisel plough, 18-20 cm depth), and reduced tillage without sub-soiling (NKG-). Our key finding is that the two reduced tillage systems, over a 10-year period, provided similar or even higher marketable yields than conventional tillage, for 12 (NKG+) and 11 (NKG-) of the 13 crops grown. Specifically, marketable yields of ware potatoes, seed potatoes, sugar beet, onion, pumpkin, spring barley, spring wheat, spring wheat/faba bean, and winter wheat were similar between PL, NKG+ and NKG-, while yields of oats and grass clover were significantly higher in NKG+ and NKG- than in PL. Negative yield effects were observed in only two crops: carrot (-13.4% in NKG+ and -15.2% in NKG-) and cabbage (-5.2% in NKG-). In both these cases, yield losses could be partly related to residue effects from the preceding cover crop. Our results provide evidence that yield levels in reduced tillage systems can generally compete with yield levels in ploughed systems. However, crop residue management and seedbed preparation remain a challenge in reduced tillage systems, requiring further attention in research and dissemination.

1 Inleiding

De bodemkwaliteit, de hoeksteen van de landbouw, neemt wereldwijd af als gevolg van de intensivering van de landbouw (FAO, 2015). Dit probleem is nog urgenter geworden door de toenemende frequentie van weersextremen, zoals droogte en zware regenval, als gevolg van de klimaatverandering (Podmanicky et al., 2011). Om de bodemkwaliteit te herstellen en de veerkracht van de landbouw te verbeteren, worden verschillende mitigatie- en adaptatiemaatregelen onderzocht, waaronder beheer van organische stof in de bodem, gewasresten, gebruik van groenbemesters en vermindering van bodemverstoring (Ten Berge et al., 2017). Deze maatregelen worden gecombineerd in een systeembenadering, waarin gereduceerde grondbewerking een centrale rol speelt (Busari et al., 2015; Prasuhn, 2020).

Gereduceerde grondbewerking is een verzameling van methoden waarbij ploegen wordt vervangen door ondiepe, niet-kerende grondbewerkingsmethoden, vaak met minder grondbewerkingen per jaar. In de afgelopen decennia zijn veel studies gedaan waaruit gebleken is dat er positieve effecten van gereduceerde grondbewerking zijn op de bodemeigenschappen, waaronder een betere bodemstructuur (Daraghme et al., 2009), minder bodem- en watererosie (Hoogmoed et al., 1999), meer biologische activiteit in de bodem (D'Hose et al., 2018), minder uitstoot van broeikasgassen (Tian et al., 2013), meer koolstofvoorraden in de bodem (Palm et al., 2014; Cooper et al., 2016), en een betere watervasthoudende capaciteit van de bodem en waterinfiltratie (Tebrügge en Düring, 1999). Er is echter ook gerapporteerd dat gereduceerde grondbewerking leidt tot negatieve effecten, zoals meer verdichting van de bovengrond, onvoldoende onkruid bestrijding en een lagere gewasproductiviteit (Gruber et al., 2012; Soane et al., 2012; Bijttebier et al., 2018).

Met name de mogelijke negatieve effecten op de productiviteit van de gewassen vormen voor de landbouwers een potentiële belemmering om op gereduceerde grondbewerking over te stappen. Daarom zijn veel studies verricht om het effect van gereduceerde grondbewerking op de gewasopbrengst te kwantificeren. De resultaten van deze studies zijn samengevat in uitgebreide meta-analyses in de zoektocht om te bepalen of de opbrengstresultaten worden beïnvloed door een verminderde grondbewerkingsintensiteit (Van den Putte et al., 2010; Pittelkow et al., 2015; Cooper et al., 2016). Uit deze meta-analyses blijkt dat het effect van gereduceerde grondbewerking op de gewasopbrengst van veel factoren afhangt, met name gewasstype en lokale milieuomstandigheden (bodem en klimaat), en dat dit effect niet per definitie negatief is. Zo vonden Cooper et al. (2016) dat, in vergelijking met kerende grondbewerking, gereduceerde grondbewerking in biologische systemen resulteerde in opbrengstverliezen van 8% in de vochtige continentale zone (16 studies), maar dat opbrengstverliezen verwaarloosbaar waren in de vochtige oceanische zone (<-1%, 3 studies). In het geval van gewas specifieke effecten vonden Pittelkow et al. (2015) in een meta-analyse van conventionele grondbewerking versus direct-zaai systemen dat de opbrengsten bij direct-zaai tarwe (2,6%), rijst (7,5%) en maïs (7,6%) daalden, maar dat de opbrengsten van koolzaad, katoen en peulvruchten niet werden beïnvloed door type grondbewerking. Bovendien vonden zij voor verscheidene gewassen dat de negatieve opbrengsteffecten leken te verdwijnen na de eerste jaren van de alternatieve grondbewerking, wat het belang van lange termijn studies benadrukt.

Een belangrijke beperking van deze meta-analyses is dat de meeste beschikbare studies betrekking hebben op handelsgewassen die in Noord- en Zuid-Amerika zonder grondbewerking (direct-zaai) worden geteeld (vooral maïs, tarwe en soja). Er zijn veel minder gegevens over wortel- en knolgewassen, zoals aardappel, suikerbiet, wortel en ui, wat winstgevende gewassen zijn voor Europese akkerbouwers (Eurostat, 2021). In de bovengenoemde meta-analyses van Pittelkow et al. (2015) vertegenwoordigden wortel- en knolgewassen bijvoorbeeld slechts 69 van de 6005 totale waarnemingen (alle klimaatzones)

en slechts 6 van de 4842 waarnemingen in een gematigd klimaat. Op basis van deze beperkte gegevens stelden zij vast dat de opbrengst van wortelgewassen sterk verminderde in systemen zonder grondbewerking (21,4%, alle klimaatzones). Van de weinige studies die de effecten van gereduceerde grondbewerking (in plaats van geen grondbewerking) in gematigde zones onderzochten, vonden Arvidsson et al. (2014) dat de aardappelopbrengst in een Zweedse vruchtwisseling niet significant anders was in ondiepe niet-kerende grondbewerkingssystemen dan in conventionele grondbewerkingssystemen.

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van gereduceerde grondbewerking op hoog salderende gewassen in de gematigde zones van Europa, hebben wij in Nederland een langlopend veldexperiment uitgevoerd, waarbij conventionele grondbewerking (ploegen) werd vergeleken met twee behandelingen met gereduceerde grondbewerking, bestaande uit ondiepe niet-kerende grondbewerking met of zonder woelen. Deze behandelingen werden toegepast in zowel een gangbaar als biologisch vruchtwisselingssysteem met voor deze regio relevante hoog salderende gewassen: aardappel, wortel, zaaiui en suikerbiet. Deze gewassen leveren specifieke uitdagingen op omdat zij op ruggen worden geteeld en/of fijnzadige gewassen zijn (zoals wortel en ui) die gevoelig zijn voor kiemomstandigheden, die per grondbewerkingsregime kunnen verschillen als gevolg van verschillend (groenbemester-) gewasrestenbeheer. Om de resultaten nog relevanter te maken voor landbouwers, hebben wij specifiek de effecten op de marktbaar opbrengst gekwantificeerd, rekening houdend met mogelijke grondbewerkingseffecten op de kwaliteit (grootte en de vorm) van het product.

Met behulp van de gegevens van dit experiment hebben we over een periode van tien jaar (2009-2018) de volgende vragen onderzocht: (1) Wat is het effect van gereduceerde grondbewerking op de gewasopbrengst - met name de marktbaar opbrengst - van wortel-, knol- en fijnzadige gewassen (aardappel, wortel, ui, suikerbiet) in vergelijking met conventionele grondbewerking? Op basis van de bovengenoemde bevindingen van (Arvidsson et al., 2014) en (Pittelkow et al., 2015) verwachtten we dat de bruto- en netto-opbrengsten van alle grondbewerkingssystemen vergelijkbaar zouden zijn, maar dat de marktbaar opbrengsten 5-10% lager zouden zijn in systemen met gereduceerde grondbewerking. (2) Wat is, in vergelijking met conventionele grondbewerking, het effect van gereduceerde grondbewerking op de marktbaar opbrengsten van andere gewassen in de voor deze klimaatzone herkenbare rotatie, zoals zomer- en wintertarwe, kool en pompoen? Op basis van de bevindingen van (Arvidsson et al., 2014), (Pittelkow et al., 2015) en (Martínez et al., 2016) verwachtten we dat deze opbrengsten vergelijkbaar of hoger zouden zijn in de systemen met gereduceerde grondbewerking in vergelijking met diep ploegen.

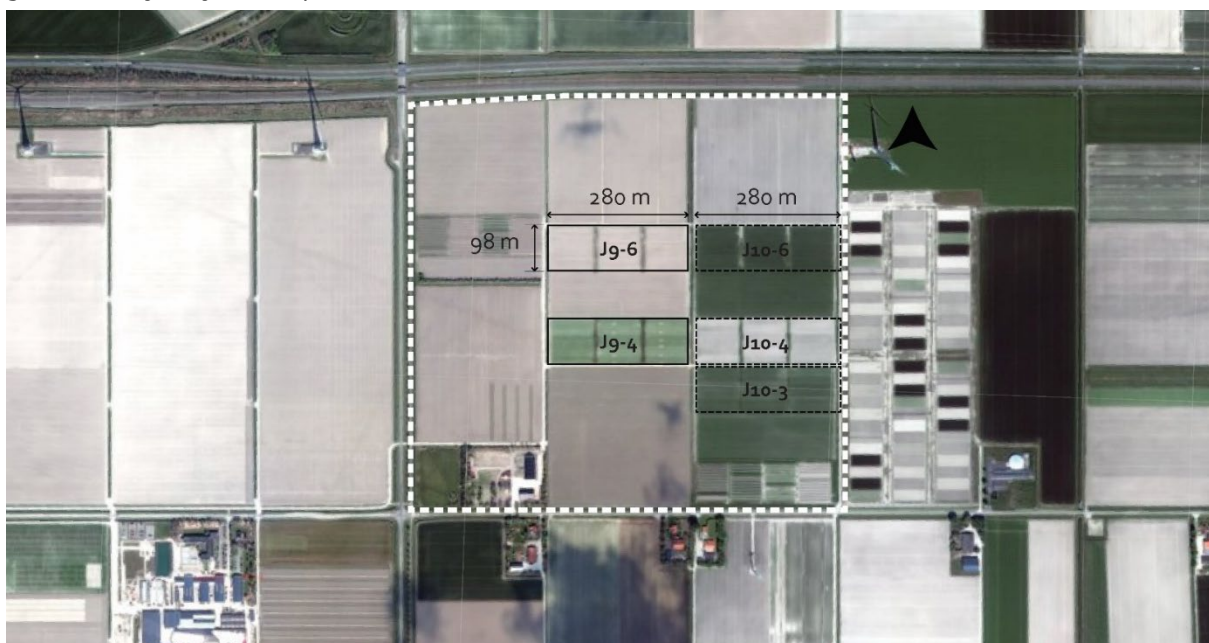
Onderzoeksvragen:

- Worden de verschillen groter naar mate het type grondbewerking langer in stand is gehouden?
- Welke gewassen zijn geschikt voor niet-kerende grondbewerking?

2 Materiaal en methoden

2.1 Locatie en opzet van het experiment

Voor deze studie is de data uit het BASIS veldexperiment (Broekemahoeve Applied Soil Innovation Systems) gebruikt. Het BASIS experiment is opgestart in 2009 door Wageningen University and Research in Lelystad (52°32'38.01"N, 5°34'36.37"E). Dit lange termijn experiment heeft als doel te onderzoeken welke maatregelen getroffen kunnen worden om de effecten van (door klimaatverandering veroorzaakte) droogte en zware regenval op gewasopbrengst en bodemkwaliteit, in een akkerbouwbedrijf op zavelgrond, tegen te gaan. Het experiment bevat zowel een gangbaar als een biologisch bedrijfssysteem. De grond van het experiment is ingepolderd in 1957. De karakteristieke Fluvisol is een homogene zavelgrond (jonge zeeklei) en bevat 61% zand, 22% lutum en 17% klei met een pH-KCl van 7.2-7.4. Het organische stof percentage in de bovenste 25 cm van de grond varieert tussen de 3.4-3.8% in de biologische percelen en 3.2-3.5% in de gangbare percelen. Het klimaat is een gematigd zeeklimaat (Cfb, Köppen klimaatsysteem) met 833 mm gemiddelde jaarlijkse neerslag en een gemiddelde jaarlijkse temperatuur van 10.3°C.

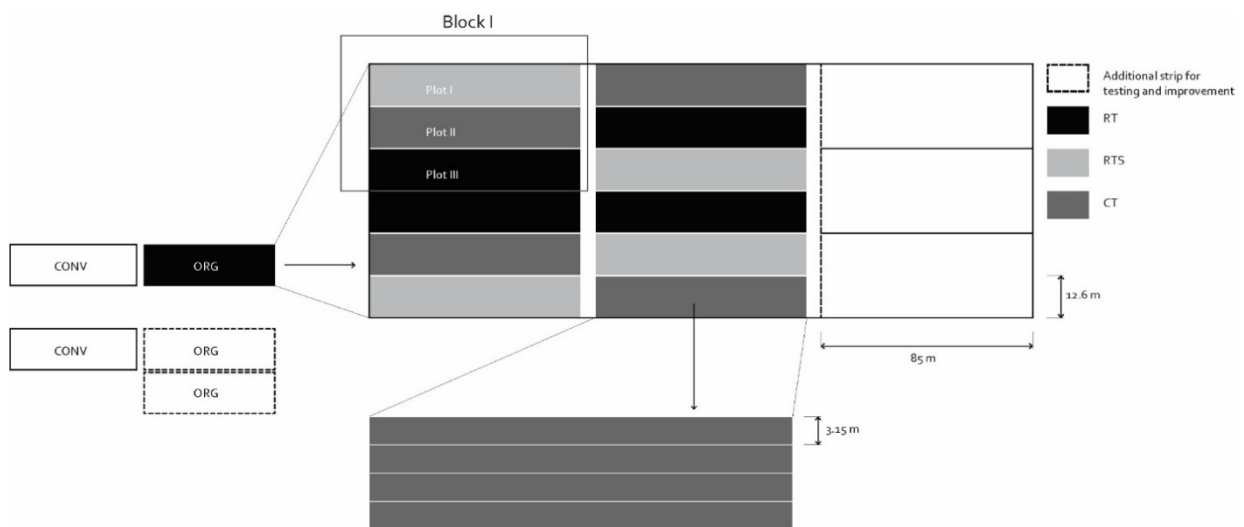


Figuur 1

Luchtfoto van de WUR proefboerderij (witte onderbroken lijnen), waarin de systeemproof van BASIS te zien is, de twee gangbare percelen (J9-4 en J9-6) zijn aangegeven met ononderbroken zwarte lijnen en de drie biologische percelen (J10-3, J10-4 en J10-6) zijn met onderbroken zwarte lijnen aangegeven. Foto: satellietdataportaal.nl, verkregen in mei 2020.

Het BASIS experiment bestaat uit drie biologische percelen (BIO) en twee gangbare percelen (GA) (Figuur 1). De BIO percelen zijn omgeschakeld naar biologische teelt in 2003, ruim voor de start van het BASIS experiment (2009). Elk perceel is gesplitst in drie subpercelen, van welke slechts twee zijn gebruikt in de studie die beschreven wordt in deze rapportage (Figuur 2). De twee subpercelen zijn elk gesplitst in twee blokken van drie plots, waarin drie type grondbewerkingen willekeurig zijn toebedeeld

aan één van de blokken: kerende grondbewerking door middel van ploegen (PL), niet-kerende grondbewerking met woelen (NKG+) en zonder woelen (NKG-). Hierdoor voldoet het experiment aan de eisen voor een volledig gewarde blokkenproef. Om het potentieel van NKG(+/-) goed te benutten, is bij de teelt van alle gewassen gebruik gemaakt van een systeem van onbereden bedden c.q. vaste rijpaden. Hierdoor wordt bodemverdichting geminimaliseerd doordat machines enkel over de rijpaden rijden. Alle plots (afmeting 12.6 m bij 85 m) zijn hiervoor in vier banen gesplitst van 3.15 m breed (inclusief een 15 cm breed rijpad), zodoende kunnen alle bewerkingen uitgevoerd worden met standaard machines en materiaal. Voordat het BASIS experiment begon in 2009, zijn alle percelen jaarlijks geploegd.



Figuur 2

Ontwerp van het BASIS experiment. Het schema aan de linkerkant laat de layout van de vijf proefpercelen zien zoals ze te zien zijn in Figuur 1. Rechtsboven is de indeling van één perceel te zien, zoals deze in blokken is verdeeld. Twee derde van deze blokken zijn gebruikt voor de experimenten zoals beschreven in deze rapportage, met daarin vier herhaling van de drie grondbewerkingsmethodes. De rest van het perceel is gebruikt voor het testen van verschillende management systemen, hier zijn dan ook geen monsters van de gewassen genomen voor de resultaten van dit onderzoek. Rechtsonder is te zien hoe elk blok bestaat uit vier rijen van 3 m breed, met 15 cm tussenruimte, die zijn ontworpen voor het vaste rijpaden systeem.

2.2 Teeltmanagement

2.2.1 Gewasrotatie en teeltmethodes

De teeltsystemen, die onderzocht zijn in het BASIS experiment, zijn ontwikkeld en geoptimaliseerd door middel van prototyping, waarbij regionale teeltsystemen opnieuw zijn ontworpen en verder zijn ontwikkeld richting duurzaamheid (Vereijken, 1997; Prost et al., 2016). Binnen deze benadering worden teeltsystemen onderzocht, gebaseerd op de bijdrage aan ecosysteemdiensten, waarbij trade-offs en dynamische interacties tussen de ecosysteemdiensten meegewogen worden (Power, 2010). Hierdoor kan het zijn dat de systemen niet altijd de hoogste opbrengsten behalen op het gebied van gewasproductie, maar wel een algeheel voordeel opleveren doordat andere ecosysteemdiensten verbeterd worden (zoals klimaatbestendigheid en biodiversiteit (Schipanski et al., 2014)).

Gebaseerd op het prototyping concept, is een vierjarige gewasrotatie voor het gangbare teeltsysteem ontwikkeld met de gewassen (1) pootaardappel (*Solanum tuberosum*), (2) suikerbiet (*Beta vulgaris*), (3) zomergerst (*Hordeum vulgare*) of wintertarwe (*Triticum aestivum*) en (4) ui (*Allium cepa*). Voor het biologisch teeltsysteem is een zesjarige gewasrotatie ontwikkeld met de gewassen (1) consumptie aardappel (*Solanum tuberosum*), (2) gras-klaver (*Trifolium-Lolium perenne*), (3) witte of rode kool (*Brassica oleracea*) of pompoen (*Cucurbita maxima*), (4) zomertarwe (*Triticum aestivum*) of haver (*Avena sativa*), (5) peen (*Daucus carota* subsp. *Sativus*) en (6) zomertarwe-veldboon (*Triticum aestivum* - *Vicia faba*). De beschreven gewasrotatie is een sjabloon, door veranderingen in de markt en bodemomstandigheden zijn er aanpassingen in gewas- en raskeuze geweest over de jaren (Tabel 1). Doordat er in het gangbare experiment vier gewassen geteeld worden op twee percelen, en in het biologische experiment zes gewassen op drie percelen, kan niet elk gewas elk jaar geteeld worden. De aardappelen en peen worden geteeld op ruggen. De aardappelen in het biologische systeem werden geteeld voor menselijke consumptie, die in gangbare als pootaardappel.

De drie soorten grondbewerking die vergeleken worden in dit experiment, verschillen voornamelijk in bewerkingsmethode in het najaar, na de oogst van het desbetreffende jaar: (i) op 23-25 cm diepte ploegen in PL; (ii) op 18-20 cm diepte woelen in NKG+; en (iii) geen grondbewerking in de herfst in NKG-, behalve woelen na de oogst van wortels (BIO), om bodemverdichting tegen te gaan voor het volgende gewas in de rotatie (zomertarwe-veldboon). In dat geval wordt er gewoeld op 18-20 cm diepte, zoals in NKG+ elk jaar gedaan wordt (Tabel A.1, Appendix A). Door verschillen in moment van bewerking, zijn er ook verschillen in de bodembedekking en groenbemesters tussen de grondbewerkingssystemen (Tabel A.1 & Tabel A.2, Fig. A.1, Appendix A). Groenbemesters worden gezaaid na de oogst van het gewas in alle grondbewerkingssystemen, wanneer het tijdstip en de weerscondities het toelaten. Het klaarleggen van het zaaibed voor de gewassen (in maart/april) en voor de groenbemesters (in augustus/september) gebeurde op dezelfde manier in de drie grondbewerkingssystemen (Tabel A.1 & Tabel A.2, Appendix A). Voor details op gebied van gebruikte machines en materiaal, zie Tabel A.3, Appendix A.

Tabel 1 Gewas- en groenbemester geteeld per jaar (inclusief variëteiten) op het BASIS experiment. Gewasopvolging per kolom.

Jaar	Biologisch teeltsysteem			Gangbaar teeltsysteem	
	Perceel J10-3	Perceel J10-4	Perceel J10-6	Perceel J9-4	Perceel J9-6
2009	Aardappel ¹ , <i>Ditta</i> (Gras-klaver)	Peen, <i>Nerac</i> (Winterrogge)	Zomertarwe, <i>Lavett</i> (Witte klaver)	Zomergerst, <i>Tipple</i> (Italiaans raaigras)	Suikerbiet, <i>Emilia</i>
2010	Gras-klaver, *	Veldboon/ zomertarwe, <i>Imposa/Lavett</i>	Peen, <i>Nerac</i>	Zaaiui ² , <i>Summit</i>	Wintertarwe, <i>Tabasco</i>
2011	Witte kool, <i>Hinova</i>	Aardappel, <i>Ditta</i> (Gras-klaver)	Veldboon/ zomertarwe, <i>Imposa/Lavett</i> (Gele mosterd)	Pootaardappel ³ , <i>Agria</i> (Winterrogge)	Zaaiui, <i>Summit</i> (Gele mosterd)
2012	Zomertarwe, <i>Lavett</i> (Wikke)	Gras-klaver *	Aardappel, <i>Ditta</i> (Gras-klaver)	Suikerbiet, <i>Rhino</i>	Pootaardappel, <i>Agria</i> (Winterrogge)
2013	Peen, <i>Nerac</i>	Witte kool, <i>Attraction</i>	Gras-klaver *	Zomergerst, <i>Jennifer</i> (Gele mosterd, wikke, facelia)	Suikerbiet, <i>Coyote</i>
2014	Veldboon/ zomertarwe	Zomertarwe, <i>Lavett</i>	Witte kool, <i>Reaction</i>	Zaaiui, <i>Dormo</i>	Zomergerst, <i>Tipple</i>

	<i>Imposa, Lavett</i> (Gele mosterd)	(Bonte wikke)		(Gele mosterd)	
2015	Aardappel, <i>Ditta</i> (Gras-klaver)	Peen, <i>Norway</i>	Zomertarwe, <i>Lennox</i> (Witte klaver)	Pootaardappel, <i>Milva</i> (Haver)	Zaaiui, <i>Summit</i> (Gele mosterd)
2016	Gras-klaver, *	Zomertarwe, <i>Lennox</i> (Mengsel 1**)	Peen, <i>Nerac</i> (Haver)	Suikerbiet, <i>Annelaura</i>	Pootaardappel, <i>Milva</i> (Mengsel 2**)
2017	Pompoen, <i>Amoro</i> (Gele mosterd)	Aardappel, <i>Carolus</i> (Gras-klaver)	Zomertarwe, <i>Lennox</i> (Mengsel 3**)	Zomergerst, <i>Irina</i> (Mengsel 4**)	Suikerbiet, <i>Florena</i>
2018	Haver, <i>Dominik</i> (Mengsel 3**)	Gras-klaver *	Aardappel <i>Carolus</i> (Gras-klaver)	Zaaiui, <i>Hybelle</i> (Mengsel 3**)	Zomergerst, <i>Irina</i> (Mengsel 4**)

1 In een biologisch systeem geteelde aardappel die specifiek voor menselijke consumptie is geselecteerd en geteeld.

2 Ui is een gezaaide ui (geteeld uit zaad), in tegenstelling tot een geplante ui.

3 Aardappel uit conventioneel systeem die specifiek is geselecteerd en geteeld voor vermeerdering (plantgoed voor volgend jaar).

* Trivos, Astorga, Sultano, Lucrem, Klondik

** Mengsel 1: Witte, rode en Alexandrijnse klaver, Engels raaigras

Mengsel 2: Haver, erwt, wikke, facelia, Alexandrijnse klaver, gingellikruid, vlas, witte rammenas, Japanse haver

Mengsel 3: Gele mosterd, wikke, facelia, Alexandrijnse klaver, gingellikruid, vlas, witte rammenas

Mengsel 4: Gele mosterd, wikke, facelia, Alexandrijnse klaver, gingellikruid, vlas

 Gewasreeks wijkt af van sjabloon. Verder gespecificeerd in 2.2.1.

2.2.2 Gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen

Het gebruik van meststoffen (type, hoeveelheid en moment van toediening) verschilde niet tussen de grondbewerkingssystemen (PL, NKG+, NKG-), maar verschilde wel tussen de biologische (BIO) en gangbare (GA) percelen vanwege verschillende gewasrotaties en gewasbehoeftes (Tabel A.5, Tabel A.6, Appendix A). In de biologische percelen is een combinatie van dierlijke mest met andere organische meststoffen toegepast, waarbij de EU richtlijnen voor biologische meststoffen gevolgd zijn (EG Nr.834.2007, IFOAM-eu.org, 2018). Op de gangbare percelen is enkel kunstmest toegepast, gebaseerd op de aanbevolen meststoffen per gewas (Commissie Bemesting Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (CBAV)). Voor zowel biologisch als gangbaar zijn de hoeveelheden aangepast aan de gewasbehoefte, bodemkenmerken en wetgeving. Dit heeft geresulteerd in een jaarlijks hoeveelheid (gemiddeld over 2009 tot 2018) van 111 N, 57 P2O5 en 144 K2O kg/ha/jaar in het biologische bedrijfssysteem en 108 N, 61 P2O5 en 139 K2O kg/ha/jaar in het gangbare bedrijfssysteem.

Gewasbescherming in de biologische percelen was beperkt tot een incidenteel gebruik van *Bacillus thuringiensis* in kool om koolmot (*Plutella xylostella*) te bestrijden. Het gebruik van dit insecticide is toegestaan in de wetgeving voor biologische landbouw in Nederland (EG Nr.834.2007, IFOAM-eu.org, 2018). Onkruidbestrijding is uitgevoerd door middel van handwerk en mechanische onkruidbestrijding. In de gangbare percelen is gewasbescherming en onkruidbestrijding toegepast volgens de meest gangbare methoden in de omgeving.

2.3 Verzamelen van data en data analyse

2.3.1 Methode van bemonstering

Om het effect van grondbewerking op opbrengst te onderzoeken, zijn er jaarlijks op het tijdstip van oogst bemonsteringen gedaan in de gewassen (bemonsteringsmethode, zie Tabel A.7, Appendix A). Daarnaast zijn, afhankelijk van de gewassoort, de plantdichtheden gemeten voor of tijdens de oogst (Tabel A.8, Appendix A). De opbrengst werd gecategoriseerd in drie klassen: marktbaar opbrengst, netto opbrengst en bruto opbrengst. Marktbaar opbrengst is gedefinieerd als product dat geschikt is voor de verkoop; netto opbrengst is de marktbaar oogst plus de producten die niet aan de maatsortering voldoen; bruto opbrengst is de netto opbrengst plus tarra (rotte of misvormde producten; zie Tabel A.9, Appendix A voor de sortingscriteria per gewas en opbrengst categorie). In het geval van aardappel, peen en ui, is de opbrengst ook gecategoriseerd in maatklassen (Tabel A.10, Appendix A).

2.3.1 Statistische analyse

Alle statistische analyses zijn gedaan met Genstat 20 (VSN International, 2019)). Allereerst is het effect van grondbewerking op opbrengst onderzocht per jaar, voor elk gewas en bedrijfssysteem (GA en BIO), waarbij gebruik is gemaakt van ANOVA gebaseerd op een gewarde blokkenproef met drie soorten grondbewerking (PL, NKG+ en NKG-) en vier herhalingen. De (interactie) effecten tussen de bedrijfssystemen (GA en BIO) konden niet getoetst worden omdat de GA en BIO percelen niet geward zijn. Als tweede onderzochten we het effect van grondbewerking op de opbrengst van gewassen waarbij de voorvrucht varieerde (biologische aardappel, biologische zomertarwe en gangbare zaaiui, Tabel 2) met een ANOVA model dat rekening houdt met blok, grondbewerking en jaar. Als derde hebben we het lange termijn effect van het grondbewerking op gewasopbrengst gecombineerd met de data over de jaren (2009-2018) en over de bedrijfssystemen (GA en BIO) per gewas. Deze analyse is uitgevoerd met een lineair mixed model (LMM), met de jaarlijkse data als herhaalde metingen per plot. In deze analyse waren de vaste effecten grondbewerking, jaar en grondbewerking x jaar interactie. De willekeurige effecten waren veld, blok binnen veld en plot binnen het blok. In een ANOVA test zijn de effecten getest met F-testen, in het LMM zijn behandeling effecten (grondbewerking) getest met de Wald test. Op het moment dat er een significant effect ($P < 0.05$) werd gevonden door de behandeling (grondbewerking), is er door middel van een Student's t-test getest of de gemiddelde waarden van steeds twee soorten grondbewerking van elkaar verschilden.

3 Resultaten en discussie

Voor de meeste gewassen die in dit tienjarige veldexperiment werden geteeld, vormde gereduceerde bodembewerking (NKG+ en NKG-) een aantrekkelijk alternatief voor conventionele kerende grondbewerking (PL). Vergeleken met PL waren de gemiddelde marktbaar opbrengsten bij NKG+ en NKG- vergelijkbaar of hoger bij 12 (NKG+) en 11 (NKG-) van de 13 geteelde gewassen (Tabel 2, Figuur 3). Van deze gewassen waren de opbrengsten aanzienlijk hoger bij grasklaver en haver (zowel bij NKG+ als NKG-). Negatieve opbrengsteffecten werden slechts bij twee gewassen waargenomen: wortel (zowel bij NKG+ als NKG-) en kool (NKG-). Kool was daarbij het enige gewas met significant lagere opbrengsten bij NKG- dan bij NKG+.

Tabel 2: Effect van het grondbewerkingssysteem (PL, NKG+ en NKG-) op de marktbaar opbrengst van gewassen geteeld in biologische (BIO) en gangbare (GA) landbouwsystemen (2009-2018). N=aantal experimentele jaren waarin het gewas werd geteeld (met 4 herhalingen per jaar); PL: ploegen; NKG+: gereduceerde grondbewerking met woelen; NKG-: gereduceerde grondbewerking zonder woelen. Gemiddelde opbrengsten met verschillende letters zijn significant verschillend volgens de Student t-toets ($P<0,05$).

Gewas	N	Gemiddelde marktbaar opbrengst (t/ha)					F-waarde ^d	
		PL	NKG+	NKG-	s.e.m. ^c			
Aardappel (BIO)	6	34.2	33.2	33.8	0.44	0.191	ns	
Gras klaver (BIO) ^a	5	12.7 a	13.9 b	14.1 b	0.23	0.001	**	
Kool (BIO)	3	58.8 b	59.7 b	55.8 a	1.28	0.012	*	
Pompoen (BIO)	1	53.4	54.1	54.6	1.28	0.832	ns	
Zomertarwe (BIO)	6	5.0	5.1	5.1	0.08	0.623	ns	
Haver (BIO)	1	6.5 a	7.5 b	7.3 b	0.16	0.011	*	
Wortel (BIO)	5	58.6 b	50.8 a	49.7 a	3.65	0.00002	***	
Veldboon/ zomertarwe (BIO) ^b	3	5.0	5.3	5.0	0.10	0.104	ns	
Pootaardappel (GA)	4	40.9	41.3	41.4	0.34	0.414	ns	
Suikerbiet (GA)	5	18.2	18.2	18.1	0.16	0.922	ns	
Zomergerst (GA)	5	7.6	7.6	7.8	0.09	0.207	ns	
Wintertarwe (GA)	1	11.4	12.0	11.9	0.19	0.648	ns	
Zaaiui (GA)	3	70.9	69.1	67.4	1.12	0.086	ns	

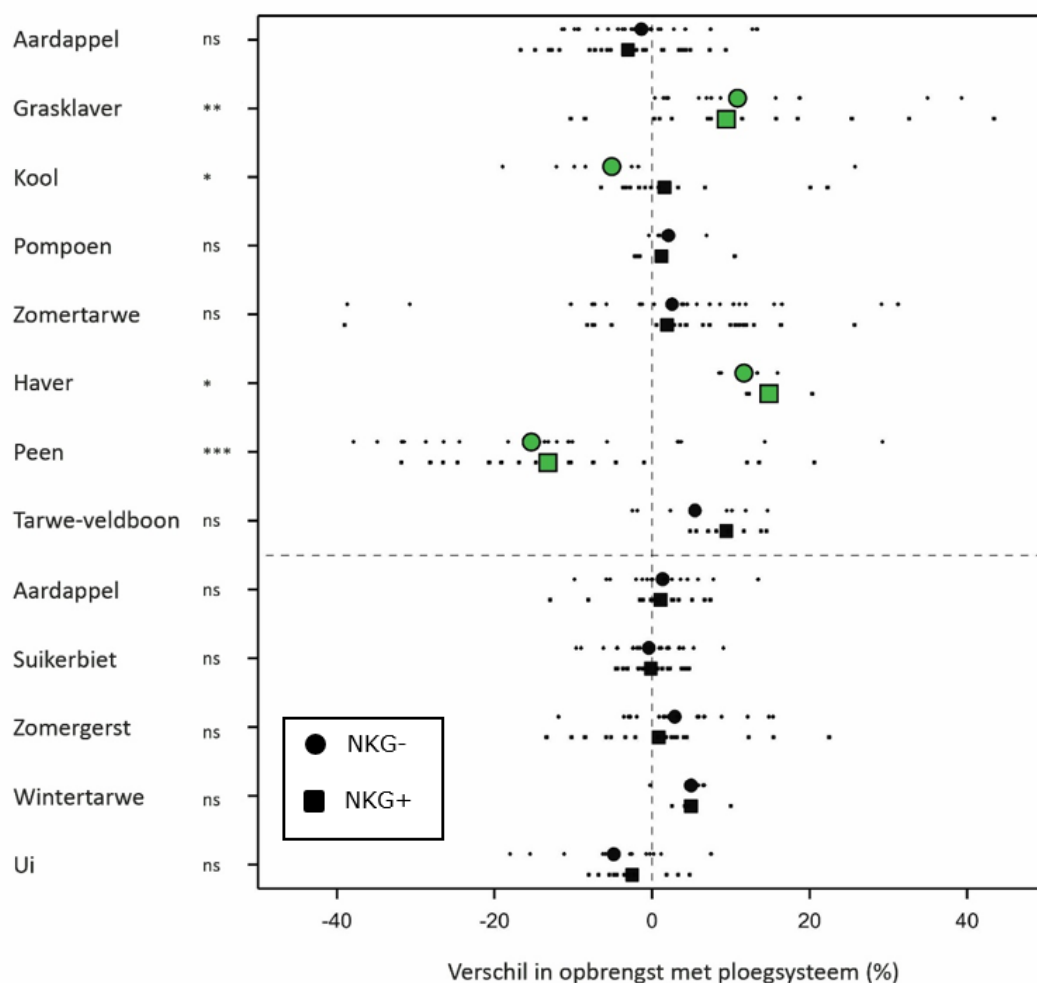
a In 2010 is de opbrengst van grasklaver in de NKG+ percelen niet bemonsterd.

b In 2010 is de opbrengst van veldboon/ zomertarwe in de NKG- percelen niet bemonsterd.

c S.e.m.-waarden geven de standaardfout van het gemiddelde weer.

d F. waarschijnlijkheidswaarden tonen de algemene significantie van het effect van de grondbewerkingsbehandeling.

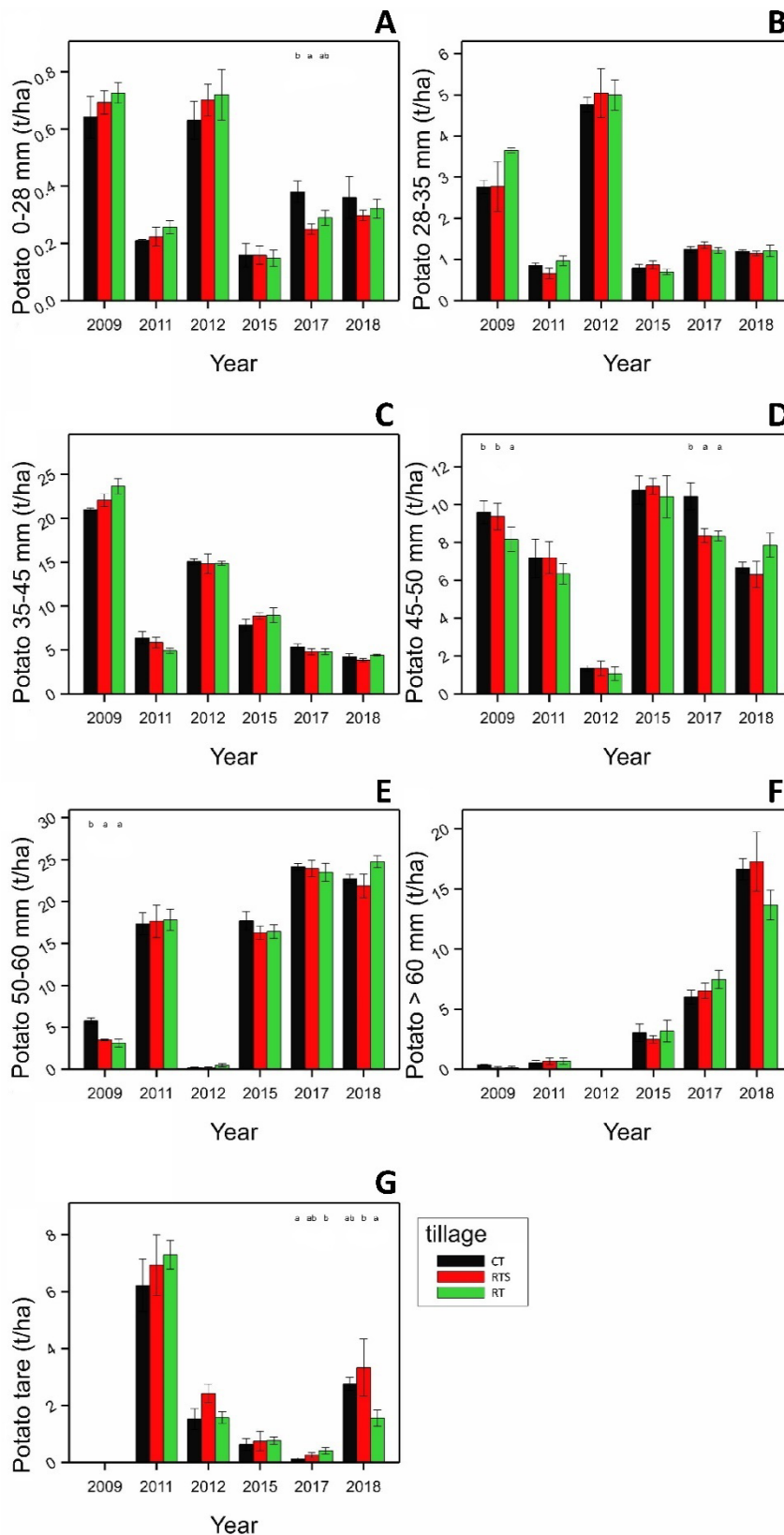
In de volgende paragrafen (3.1-3.4) wordt verder ingegaan op de resultaten van de gewassen aardappel, wortel, ui en suikerbiet. Dit zijn de belangrijkste (hoog) salderende gewassen, die specifieke uitdagingen op het gebied van grondbewerking opleveren omdat zij op ruggen worden geteeld en/of fijnzadige gewassen zijn. De overige gewassen worden beknopt besproken in punt 3.5. Voor alle gewassen bespreken we de (marktbaar) opbrengsten in NKG+ en NKG- als relatieve opbrengsten (PL=100%), gemiddeld over de N jaren (vier herhalingspercelen per jaar) waarin het gewas in de periode 2009-2018 werd geteeld. De volledige set aan opbrengsten, inclusief de marktbaar, netto en bruto opbrengst per gewas, per jaar, wordt gepresenteerd in bijlage B, Tabellen B.1-B.3.



Figuur 3. Relatieve marktbaar gewasopbrengsten in RT (gereduceerde grondbewerking zonder woelen) en RTS (gereduceerde grondbewerking met woelen) vergeleken met CT (ploegen = 100%). De grote symbolen staan voor de verkoopbare opbrengsten in RT (cirkels) en RTS (vierkanten) ten opzichte van CT, gemiddeld over de N jaren dat het gewas werd geteeld in de periode 2009-2018 (N zie Tabel 2). Kleine symbolen (RT= cirkels en RTS = vierkantjes) staan voor waarnemingen per individueel jaar en blok. Gewassen in hoofdletters zijn de belangrijkste renderende gewassen. Groene cirkels en vierkanten geven significante opbrengstverschillen aan tussen systemen met verminderde grondbewerking (RT en/of RTS) en CT. Significanties naast gewasnamen geven het effect van de behandeling aan.

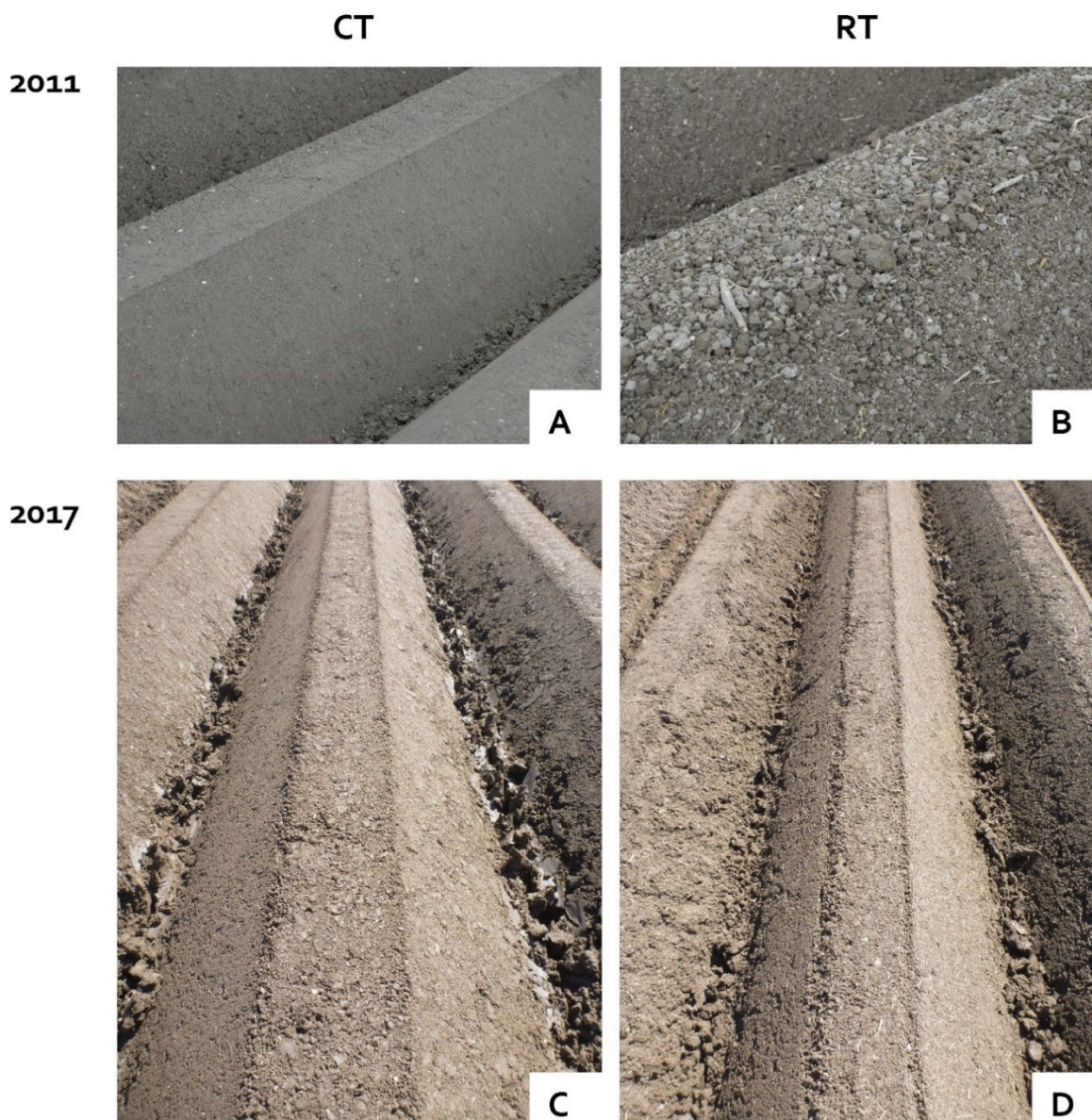
3.1 Aardappelopbrengst

De marktbaar opbrengst van aardappel (BIO-rotatie) was iets lager in NKG+ (96,9%) en NKG- (98,6%) vergeleken met PL (100%), maar dit verschil was niet significant (Tabel 2, Figuur 3). Ook de netto en bruto opbrengst vertoonde geen significant verschil tussen de grondbewerkingssystemen (Tabellen B.2 & B.3, Bijlage B). Deze bevindingen verschillen van (Cooper et al., 2016), die in een meta-analyse van 11 studies een 6% opbrengstvermindering (verkoopbare of totale opbrengst) in wortelgewassen (gecombineerd getal voor aardappel en wortelen) vond bij systemen met gereduceerde grondbewerking. Daarnaast vond (Marinez et al., 2016) in een experiment van 20 jaar op een zavelgrond een gemiddelde opbrengstreductie van 15% in aardappel in een directzaai (no-till) systeem ten opzichte van conventionele kerende grondbewerking. De opbrengst per maatsortering per jaar wordt gepresenteerd in Figuur 4.



Figuur 4. Absolute gemiddelde aardappelopbrengst (t/ha) per sorteermaat (A-F) en producttarra (G) voor verschillende grondbewerkingsbehandelingen: CT = PL (ploegen), RTS = NKG+ (gereduceerde grondbewerking met woelen) en RT = NKG-(gereduceerde grondbewerking zonder woelen). Figuur B toont de marktbaar opbrengst. De foutbalkjes geven de standaardfouten aan. Letters boven de balken duiden op significante ($p < 0,05$) verschillen tussen de grondbewerkingsbehandelingen.

In ons experiment hebben we ook de gemiddelde knolgrootte gemeten, maar ook hier vonden we geen significant verschil tussen de grondbewerkingssystemen, behalve in het eerste jaar waarin zowel NKG+ als NKG- een significant kleinere knolgrootte hadden dan PL (Tabel B.4, Bijlage B). Dit laatste effect kan veroorzaakt zijn door de grotere bodemaggregaten in de aardappelruggen in de eerste jaren na de introductie van de systemen met gereduceerde grondbewerking: in 2011 (jaar 3) waren de bodemaggregaten in de ruggen groter en minder homogeen verdeeld in NKG- dan in PL (Figuur 5A-B), maar in 2017 (jaar 9) was dit verschil verdwenen (Figuur 5C-D).



Figuur 5. Visuele indruk van bodemaggregatie in aardappelruggen in CT (foto's A en C) versus RT (foto's B en D). Foto's A en B zijn genomen op 29 april 2011; foto's C en D zijn genomen op 15 mei 2017. Foto's: Wageningen University and Research, D. van Balen en W. Haagsma.

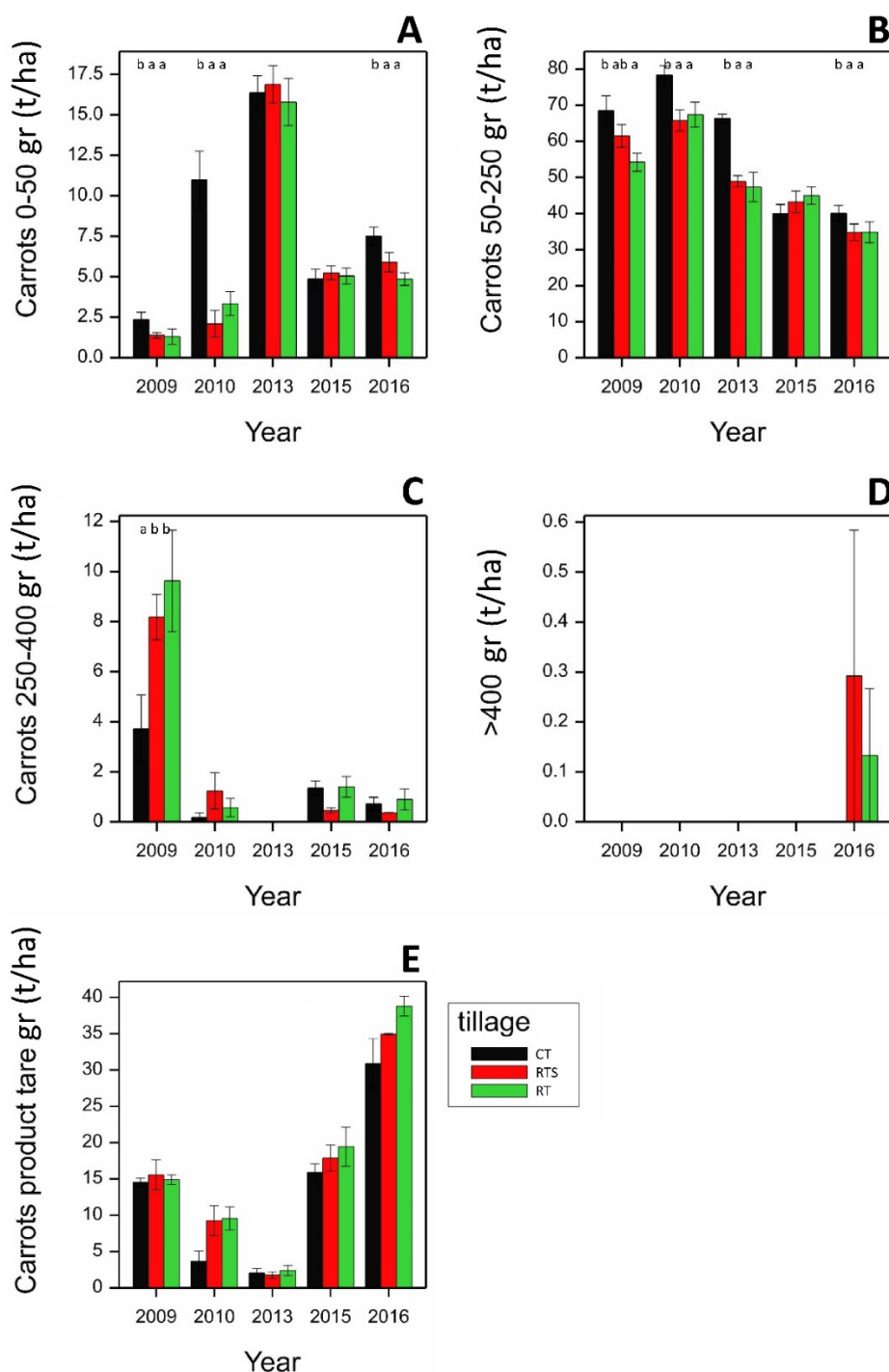
De marktbaar opbrengst van pootaardappel (GA rotatie) was iets hoger in NKG+ (101,1%) en NKG- (101,3%) vergeleken met PL, maar dit verschil was niet significant (Tabel 2). De bruto opbrengst was

echter significant hoger (NKG-, NKG+ > PL) in twee van de vier jaren dat dit gewas werd geteeld (Tabel B.3, bijlage B). Dit kan worden verklaard door de significant ($P = 0,009$) grotere gemiddelde knolgrootte in NKG+ (48,1 mm) en NKG- (47,9 mm) in vergelijking met PL (47,1 mm), waardoor het aantal niet-verhandelbare knollen is toegenomen. Figuur 6 toont de opbrengst per maat klasse per jaar. Het aandeel grotere knollen in NKG+ en NKG- kan in sommige jaren verband houden met een grotere beschikbaarheid van vocht in de aardappelruggen in deze systemen, waardoor de plant sneller opkomt en groeit. Deze hypothese moet echter nog worden onderzocht aangezien er geen gegevens zijn verzameld over het vochtgehalte van de bodem in de aardappelruggen.

3.2 Peen opbrengst

De marktbaar opbrengst van peen (geteeld in de BIO rotatie) was significant lager in NKG+ (84,8%) en NKG- (86,6%), vergeleken met PL (Tabel 2, Figuur 3). Deze resultaten zijn in tegenspraak met de resultaten van (Willekens et al., 2014), die geen significant effect vonden van gereduceerde grondbewerking op de marktbaar wortel opbrengst. De 14-16% vermindering in marktbaar opbrengst in ons experiment was ook groter dan het percentage gerapporteerd door (Cooper et al., 2016), die een gemiddelde 6% opbrengstvermindering in wortelgewassen vond (gecombineerd aantal voor aardappel en wortel) in een meta-analyse van 11 studies naar gereduceerde grondbewerkingseffecten in biologische productiesystemen.

Opbrengstverliezen in systemen met gereduceerde grondbewerking worden vaak in verband gebracht met lager kiempercentage en opkomst van zaailingen (Lamichhane et al., 2018); in ons experiment werd echter geen significant verschil waargenomen in de plantdichtheid van peen (Tabel B.5, Bijlage B). In ons geval lijkt de lagere marktbaar peen opbrengst in NKG- en NKG+ deels te wijten aan de grotere hoeveelheid niet-vermarktbaar, overmaat peen (>250 gr) die uit deze systemen werd geoogst (Fig. 6 C & D). Bijgevolg zijn de verlagingen van de bruto peen opbrengst (8,1% bij NKG+ en 7,6% bij NKG-) kleiner dan de marktbaar opbrengst (Tabel B.3, Bijlage B). NKG- leverde aanzienlijk meer overmaat peen (250-400 gr) op dan PL en NKG+ (Figuur 6 C). Bovendien hadden zowel NKG- als NKG+ significant meer misvormde en rotte peen (product tarra) dan PL (Figuur 6 E). Gereduceerde grondbewerking resulteerde dus in een groter aantal peen van onverkoopbare maat en kwaliteit. Dit kan ten eerste verklaard worden door de gemiddeld grotere bodemaggregaten in de NKG- en NKG+ percelen (Crittenden et al., 2015). He et al. (2009) vonden ook grotere bodemaggregaten tot 30 cm diepte in een systeem met gereduceerde grondbewerking (direct zaai systeem) vergeleken met een conventioneel grondbewerkingsstelsel. Bodemaggregaten kunnen een effect hebben gehad op de plantengroei en wortelgrootte. Ten tweede, terwijl bij PL de grond (met groenbemester) in de herfst werd geploegd en vervolgens onbegroeid bleef tot het volgende voorjaar, werd bij de NKG- en NKG+ systemen witte klaver of wikke als voorafgaande groenbemester tot 4-6 weken voor het inzaaien van peen. (Bradow en Connick, 1990) vonden dat Alexandrijnse klaver (*Trifolium alexandrinum*), rode klaver (*Trifolium incarnatum*) en voederwikke (*Vicia villosa*) een allelopathisch effect hadden op ui en peen. In ons experiment kan dit allelopathische effect, in combinatie met een toename van plantenresten in en op de ruggen, hebben geleid tot groeistoornissen van het peen gewas en een toename van vertakte, onverkoopbare peen.



Figuur 6. Absolute gemiddelde wortelopbrengst (t/ha) per grootteklasse (A-D) en product tarra (E) voor verschillende grondbewerkingsbehandelingen: CT = PL (ploegen), RTS = NKG+ (gereduceerde grondbewerking met woelen) en RT = NKG- (gereduceerde grondbewerking zonder woelen). Figuur B toont de marktware wortelgrootte. De foutbalkjes geven de standaardfouten aan. Letters boven de balken duiden op significante ($p < 0,05$) verschillen tussen de grondbewerkingsbehandelingen.

3.3 Ui opbrengst

De marktbaar opbrengst van ui (GA rotatie) was lager maar niet significant verschillend in NKG- (95,1%) en NKG+ (97,5%) in vergelijking met PL (Tabel 2, Figuur 3). Deze bevinding staat in contrast met die van Kesik en Marzena (2009), die een marktbaar opbrengstvermindering van 30,7% vonden in een systeem met bodemconserverende grondbewerking (Conservation Tillage), maar is vergelijkbaar met rapporten van andere auteurs die geen significant effect van gereduceerde grondbewerking op de marktbaar opbrengst van uien vonden (Jardênia et al., 2020). In deze studies werd een reeks van grondbewerkingssystemen getest, van direct zaaien in onbewerkte grond in combinatie met behandelingen met groenbemesters (Kesik en Marzena, 2009) tot verschillende niveaus van gereduceerde grondbewerking (Jardênia et al., 2020). In het algemeen vereist de diversiteit van de grondbewerkingssystemen een zorgvuldige interpretatie van de resultaten en voorzichtigheid bij het vergelijken van de bevindingen.

Een lager kiempercentage is genoemd als een mogelijke oorzaak van lagere uienopbrengsten bij systemen met bodemconserverende grondbewerking (Kesik en Marzena, 2009). Fysieke zaaibedkwaliteit zoals zaaibedstructuur en vochtgehalte in het zaaibed spelen waarschijnlijk een belangrijke rol. In ons veldexperiment was de gemiddelde bodemaggregaat grootte significant groter bij gereduceerde grondbewerking (Crittenden et al., 2015) en dit kan hebben bijgedragen aan een lager kiempercentage, zoals tot uitdrukking komt in de significant lagere plantdichtheden in NKG+ (59,0 planten per m²) en NKG- (61,0 per m²), vergeleken met PL (67,1 planten per m²) (Tabel B.5, Bijlage B). De lagere plantdichtheid in NKG+ en NKG- resulteerde echter, waarschijnlijk als gevolg van de geringere concurrentie om nutriënten, vocht en ruimte, in een aanzienlijk grotere gemiddelde bolgrootte in NKG+ (60,2 mm) en NKG- (61,1 mm), vergeleken met PL (57,6 mm) (Tabel B.4, Bijlage B). Met name de opbrengsten van de grotere maatsortering (60-80 mm, en de niet-verhandelbare 80+ mm) waren aanzienlijk hoger in NKG+ en NKG-. Ondanks deze significante verschillen in bolgrootte en plantdichtheid leidde de gereduceerde grondbewerking in ons experiment echter niet tot significante veranderingen (toename of afname) in marktbaar-, bruto- of netto opbrengst (Tabellen B1- B.3, Bijlage B).

3.4 Suikerbiet opbrengst

De marktbaar opbrengst van suikerbieten (GA-rotatie) werd niet significant beïnvloed door het grondbewerkingssysteem (Tabel 2, Figuur 3). Verschillende andere studies tonen vergelijkbare resultaten en vinden geen significant effect op de suikerbietenopbrengst in direct zaai, niet-kerende, of ondiepe grondbewerking systemen, in vergelijking met conventioneel ploegen (Jabro et al., 2010; Van den Putte et al., 2010; Afshar et al., 2019). Arvidsson et al. (2014) rapporteerde echter een significant lagere suikerbietenopbrengst (-5,2%) in systemen met ondiepe grondbewerking. Verschillende auteurs hebben de verminderde suikerbietenopbrengst in direct-zaai en systemen met gereduceerde grondbewerking toegeschreven aan het slecht aanslaan van het gewas, veroorzaakt door een slechte vestiging van de zaden door een inadequaat gewasrestenbeheer in deze systemen (Pringas en Märländer, 2004; Arvidsson et al., 2014; Lamichhane et al., 2018). Dit wordt weerspiegeld in onze resultaten, aangezien zowel NKG+ als NKG- een significant lagere bietenplantdichtheid (85%) hadden in vergelijking met PL (Tabel B.5, Bijlage B). We veronderstellen dat beperkt zaad-bodemcontact (Blunk et al., 2021), veroorzaakt door oppervlakteresten in de zaaivoor, en het niet optimaal sluiten van de zaaivoor bij het zaaien, de belangrijkste oorzaken zijn van de verminderde plantdichtheid in deze systemen. Gemiddeld over de twee jaren waarin suikerbieten in de rotatie werden geteeld (2009 en 2013), leidde deze verminderde plantdichtheid niet tot een verminderde suikerbietenopbrengst. Echter, in het jaar waarin de plantdichtheid in NKG+ en NKG- onder de 7 planten per m² kwam (2013), was de netto opbrengst in deze systemen significant lager dan in PL (Tabellen B.2 & B.5, Appendix B). Deze bevinding is in overeenstemming met (Westerdijk et al., 1994), die meldde dat de opbrengst niet wordt beïnvloed

binnen een plantdichtheid van 7 tot 10 planten per m², als gevolg van compensatie in de vorm van bieten van groter formaat.

Hoewel de gemiddelde marktbaar opbrengst van suikerbieten dus niet werd beïnvloed door de gereduceerde grondbewerking, stelden we vast dat de tarra in NKG+ (135 %) en NKG- (129 %) aanzienlijk hoger was dan in PL (Tabel B.6, bijlage B). Grondtarra is de grond die na de oogst aan de bieten blijft hangen (Vermeulen et al., 2003), wat ongewenst is voor de suikerbietentelers en de suikerbietenverwerking. Waarschijnlijk is de hogere tarra in bieten geoogst op NKG- en NKG+ het gevolg van meer vertakking van suikerbietenwortels in deze systemen (Vandergeten en Roisin, 2004; Koch et al., 2009).

3.5 Overige gewassen

Van de verschillende graangewassen die in ons veldexperiment werden geteeld, waren de gemiddelde marktbaar opbrengsten in NKG- en NKG+ vergelijkbaar of hoger dan in PL. Zo waren de opbrengsten van zomertarwe (BIO) in NKG+ (101,9%) en NKG- (102,5%), en de opbrengsten van zomergerst (GA) in NKG+ (100,8%) en NKG- (102,9%) statistisch vergelijkbaar met de opbrengsten in PL (Tabel 2, Figuur 3). Deze bevinding is in lijn met Arvidsson et al. (2014), die vergelijkbare resultaten vonden voor zomertarwe en zomergerst in een meta-analyse van 918 experimentele jaren, waarbij de resultaten van meerdere Zweedse experimenten met ondiepe grondbewerking versus conventionele grondbewerking werden vergeleken. Voor wintertarwe (GA) vonden we ook dat de opbrengsten in NKG+ (105,3%) en NKG- (104,4%) niet significant verschilden van PL. Dit komt overeen met bevindingen van (Büchi et al., 2017), die vonden dat de opbrengst van wintertarwe niet werd beïnvloed door gereduceerde grondbewerking in een gangbare rotatie van wintertarwe, winterkoolzaad en maïs. Peigné et al. (2014) vonden een algemeen vergelijkbare tarweopbrengst tussen een NKG- en PL-systeem in een biologisch landbouwsysteem en verschillende bodemsoorten. De eerder genoemde meta-analyse van Arvidsson et al. (2014) vond echter dat de opbrengst van wintertarwe over het algemeen significant lager was bij ondiepe en geen grondbewerking (direct zaai), in vergelijking met conventionele grondbewerking. Wat haver (BIO) betreft, vonden we dat de opbrengsten in NKG+ (115%) en NKG- (112,1%) significant hoger waren dan in PL, terwijl (Arvidsson et al., 2014) voor dit gewas geen significante opbrengstverschillen vonden tussen gereduceerde versus conventionele grondbewerkingssystemen. Tot slot vonden we dat de gemiddelde opbrengst van een gemengd gewas van tarwe en veldbonen (BIO) significant hoger was in NKG+ (106%) en vergelijkbaar in NKG- (98,7%), vergeleken met PL. Voor deze graangewassen analyseerden we ook het effect van gereduceerde grondbewerking op de plantdichtheid, door het aantal halmen per m² te tellen en dit aantal te middelen over de jaren waarin het gewas werd geteeld (zie Tabel B.5, bijlage B; NB: wintertarwe niet geteld). Hoewel we geen verschillen vonden tussen de grondbewerkingssystemen met betrekking tot zomertarwe, was het gemiddelde aantal halmen van zomergerst significant hoger in NKG+ (840 m⁻²) en NKG- (749 m⁻²) dan in PL (713 m⁻²). Ook bij haver lag het aantal halmen aanzienlijk hoger in NKG+ (361 m⁻²) en NKG- (334 m⁻²) dan in PL (275 m⁻²). Deze bevindingen verschillen van Arvidsson et al. (2014), die vonden dat de vestiging van graangewassen (planten m⁻²) minder was in ondiepe grondbewerking en direct zaai systemen en dit toeschreven aan een slechte kieming als gevolg van grotere bodemaggregaten en meer plantenresten in systemen met gereduceerde grondbewerking. In ons experiment kan het lagere aantal haverplanten in PL te wijten zijn aan de lossere bovengrond, waardoor meer planten verloren gaan tijdens het wieden.

De opbrengst van grasklaver (BIO) was significant hoger in NKG+ (109,3%) en NKG- (111%), vergeleken met PL (Tabel 21, Figuur 3). De lagere opbrengsten in PL waren voornamelijk te wijten aan verslemping na zware regenval in het najaar van 2012, waardoor in het voorjaar van 2013 opnieuw grasklaver moest worden ingezaaid in PL-veldjes. Dit probleem deed zich niet voor in NKG+ en NKG-, hoogstwaarschijnlijk vanwege de grotere omvang en stabiliteit van de bodemaggregaten in deze percelen (Crittenden et al., 2015), waardoor het risico op verslemping kleiner was (Barthès en Roose, 2002; Daraghme et al., 2009).

De koolopbrengst (BIO) was significant lager in NKG- (94,9%) in vergelijking met NKG+ (101,6%) en PL (Tabel 2, Figuur 3). De significant lagere koolopbrengst in NKG- (gemiddeld over 3 jaar) wordt voornamelijk veroorzaakt door de significant lagere opbrengsten van NKG- percelen in 2013. In dat jaar was het lastiger om de voorafgaande grasklaver goed onder te werken dan in 2011 en 2014, als gevolg van de bodem- en weersomstandigheden. Dit kan hebben geleid tot een belemmerde gewasgroei in de NKG percelen, zoals blijkt uit het significant lagere gewicht van de kolen die dat jaar in NKG- werden geoogst, in vergelijking met PL en NKG+ (Tabel B.4, bijlage B). Zo vonden ook Hefner et al. (2020) dat de koolopbrengsten lager waren in teeltsystemen waar het voorafgaande groenbemester onvolledig werd beëindigd of niet volledig in de bodem werd opgenomen.

De pompoenopbrengst (BIO) in NKG+ (101,3%) en NKG- (102,2%) verschilde niet significant van de opbrengst in PL (Tabel 2, Figuur 3). Zo vonden ook O'Rourke en Petersen (2016) geen opbrengsteffecten van gereduceerde grondbewerking bij het vergelijken van de gemiddelde pompoenopbrengsten tussen direct zaai, stroken zaai en conventionele grondbewerkingssystemen over twee teeltseizoenen. Toen ze echter de twee jaren apart analyseerden, vonden ze marginaal significante opbrengstverschillen tussen grondbewerkingssystemen in één van deze jaren, en verwezen ze naar onkruidbeheer als een van de belangrijkste oorzaken achter deze verschillen (Walters et al., 2008; O'Rourke en Petersen, 2016). In ons experiment werd pompoen pas in het negende teeltseizoen (2017) geteeld. Aangenomen mag worden dat tegen die tijd de onkruidbestrijdingstechnieken volledig geoptimaliseerd waren en dat het effect van onkruidconcurrentie op de pompoenopbrengst dus beperkt was.

4 Conclusie

Deze studie onderzocht de langetermijneffecten van gereduceerde grondbewerking op de opbrengst van akkerbouwgewassen, met specifieke aandacht voor wortelgewassen en fijnzadige gewassen in een gangbare en biologische vruchtwisseling. Ons belangrijkste resultaat is dat de marktbaar opbrengst van 11 (NKG-) en 12 (NKG+) van de 13 onderzochte gewassen behouden blijft in systemen met gereduceerde grondbewerking. De enige gewassen met een significant lagere opbrengst waren wortel (NKG- & NKG+ < PL) en kool (NKG- < NKG+ & CT). Onze bevindingen impliceren dat gereduceerde grondbewerking een haalbare optie is om concurrerende gewasopbrengsten te behalen in vergelijking met conventionele grondbewerking. Buiten een experimentele setting wordt het handhaven van concurrerende opbrengsten met gereduceerde grondbewerking in de dagelijkse landbouwpraktijk echter vaak als een uitdaging ervaren. Om de toepassing van gereduceerde grondbewerking te bevorderen, moeten we dus het onderzoek en de kennisuitwisseling met landbouwers optimaliseren, vooral voor financieel rendabele gewassen zoals wortel en ui. Voor deze fijnzadige gewassen is het van essentieel belang het zaaibedbeheer verder te verbeteren om een slechte zaadkieming en een belemmerde gewasontwikkeling te voorkomen. Om de reële en vermeende problemen bij de teelt van deze gewassen onder gereduceerde grondbewerking op te lossen, is meer onderzoek nodig naar de opbrengsteffecten van het beheer van residuen van groenbemesters en de mechanismen van water- en nutriëntenvoorziening in systemen met gereduceerde grondbewerking. Alleen met deze antwoorden in de hand kunnen we potentiële opbrengstverliezen minimaliseren en van gereduceerde grondbewerking een haalbare en realistische optie voor agrariërs maken.

Literatuur

- Afshar, R.K., Nilahyane, A., Chen, C., He, H., Bart Stevens, W., Iversen, W.M., 2019. Impact of conservation tillage and nitrogen on sugarbeet yield and quality. *Soil and Tillage Research* 191, 216-223.
- Arvidsson, J., Etana, A., Rydberg, T., 2014. Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. *European Journal of Agronomy* 52, 307-315.
- Balen van, D., Cuperus, F., Haagsma, W., de Haan, J., van den Berg, W., Sukkel, W., 2023. Crop yield response to long-term reduced tillage in a conventional and organic farming system on a sandy loam soil, *Soil and Tillage Research* 225, 105553.
- Barthès, B., Roose, E., 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion : validation at several levels. *CATENA* 47, 133-149.
- Bijttebier, J., Ruyschaert, G., Hijbeek, R., Werner, M., Pronk, A.A., Zavattaro, L., Bechini, L., Grignani, C., ten Berge, H., Marchand, F., Wauters, E., 2018. Adoption of non-inversion tillage across Europe: Use of a behavioural approach in understanding decision making of farmers. *Land Use Policy* 78, 460-471.
- Blunk, S., Bussell, J., Sparkes, D., de Heer, M.I., Mooney, S.J., Sturrock, C.J., 2021. The effects of tillage on seed-soil contact and seedling establishment. *Soil and Tillage Research* 206, 104757.
- Bradow, J.M., Connick, W.J., 1990. Volatile seed germination inhibitors from plant residues. *Journal of Chemical Ecology* 16, 645-666.
- Büchi, L., Wendling, M., Amossé, C., Jeangros, B., Sinaj, S., Charles, R., 2017. Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland. *Soil and Tillage Research* 174, 120-129.
- Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A.A., 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research* 3, 119-129.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bàrberi, P., Fließbach, A., Peigné, J., Berner, A., Brock, C., Casagrande, M., Crowley, O., David, C., De Vliegheer, A., Döring, T.F., Dupont, A., Entz, M., Grosse, M., Haase, T., Halde, C., Hammerl, V., Huiting, H., Leithold, G., Messmer, M., Schlöter, M., Sukkel, W., van der Heijden, M.G.A., Willekens, K., Wittwer, R., 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, 22.
- 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.
- D'Hose, T., Molendijk, L., Van Vooren, L., van den Berg, W., Hoek, H., Runia, W., van Evert, F., ten Berge, H., Spiegel, H., Sandèn, T., Grignani, C., Ruyschaert, G., 2018. Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. *Pedobiologia* 66, 18-28.
- Daraghmeh, O.A., Jensen, J.R., Petersen, C.T., 2009. Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. *Geoderma* 150, 64-71.
- Drinkwater, L.E., 2002. Cropping Systems Research: Reconsidering Agricultural Experimental Approaches. *HortTechnology horttech* 12, 355-361.
- Eurostat, 2021. Agricultural production - crops. In: Eurostat (Ed.).
- FAO, 2015. Status of the World's Soil Resources.
- Gruber, S., Pekrun, C., Möhring, J., Claupein, W., 2012. Long-term yield and weed response to conservation and stubble tillage in SW Germany. *Soil and Tillage Research* 121, 49-56.
- He, J., Wang, Q., Li, H., Tullberg, J.N., McHugh, A.D., Bai, Y., Zhang, X., McLaughlin, N., Gao, H., 2009. Soil physical properties and infiltration after long-term no-tillage and ploughing on the Chinese Loess Plateau. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 37, 157-166.
- Hefner, M., Gebremikael, M.T., Canali, S., Sans Serra, F.X., Petersen, K.K., Sorensen, J.N., De Neve, S., Labouriau, R., Kristensen, H.L., 2020. Cover crop composition mediates the constraints and benefits of

roller-crimping and incorporation in organic white cabbage production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 296, 106908.

Hoogmoed, W., Perdok, U.D., Stroosnijder, L., 1999. Tillage for soil and water conservation in the semi-arid Tropics. Wageningen University, Wageningen.

Jabro, J.D., Stevens, W.B., Iversen, W.M., Evans, R.G., 2010. Tillage Depth Effects on Soil Physical Properties, Sugarbeet Yield, and Sugarbeet Quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41, 908-916.

Jardênia, R.F., Haroldo, C.F., Paulo, R.C., Daniel, M.L., Filipe, M.T.N., Janielle, S.P., 2020. Onion yield as a function of soil tillage system and soil water content. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, pp. 115-120.

Kesik, T., Marzena, B.W., 2009. Growth and yielding of onion under conservation tillage. *Vegetable Crops Research Bulletin* 70, 111-123.

Koch, H.J., Dieckmann, J., Büchse, A., Märlander, B., 2009. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *European Journal of Agronomy* 30, 101-109.

Lamichhane, J.R., Debaeke, P., Steinberg, C., You, M.P., Barbetti, M.J., Aubertot, J.-N., 2018. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework. *Plant and Soil* 432, 1-28.

Martínez, I., Chervet, A., Weisskopf, P., Sturny, W.G., Etana, A., Stettler, M., Forkman, J., Keller, T., 2016. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile. *Soil and Tillage Research* 163, 141-151.

O'Rourke, M.E., Petersen, J., 2016. Reduced Tillage Impacts on Pumpkin Yield, Weed Pressure, Soil Moisture, and Soil Erosion. *HortScience* 51, 1524-1528.

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P., 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 187, 87-105.

Peigné, J., Messmer, M., Aveline, A., Berner, A., Mäder, P., Carcea, M., Narducci, V., Samson, M.-F., Thomsen, I.K., Celette, F., David, C., 2014. Wheat yield and quality as influenced by reduced tillage in organic farming. *Organic Agriculture* 4, 1-13.

Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., van Groenigen, K.J., Lee, J., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C., 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research* 183, 156-168.

Podmanicky, L., Balázs, K., Belényesi, M., Centeri, C., Kristóf, D., Kohlheb, N., 2011. Modelling soil quality changes in Europe. An impact assessment of land use change on soil quality in Europe. *Ecological Indicators* 11, 4-15.

Power, A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 2959-2971.

Prasuhn, V., 2020. Twenty years of soil erosion on-farm measurement: Annual variation, spatial distribution and the impact of conservation programmes for soil loss rates in Switzerland. *Earth Surface Processes and Landforms* 45, 1539-1554.

Pringas, C., Märlander, 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 J. Agron* 8, 82-90.

Prost, L., Berthet, E.T.A., Cerf, M., Jeuffroy, M., Labatut, J., Meynard, J., 2016. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Research in Engineering Design* 28, 119-129.

Schipanski, M.E., Barbercheck, M., Douglas, M.R., Finney, D.M., Haider, K., Kaye, J.P., Kemanian, A.R., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Tooker, J., White, C., 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems* 125, 12-22.

Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J., 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118, 66-87.

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, 15-28.

-
- Ten Berge, H.F.M., Schröder, J.J., Olesen, J.E., Giraldez Cervera, J.-V., 2017. Research for AGRI Committee – Preserving agricultural soils in the EU. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels, Brussels.
- Tian, S., Wang, Y., Ning, T., Zhao, H., Wang, B., Li, N., Li, Z., Chi, S., 2013. Greenhouse Gas Flux and Crop Productivity after 10 Years of Reduced and No Tillage in a Wheat-Maize Cropping System. *PLOS ONE* 8, e73450.
- 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, 231-241.
- Vandergeten, J., Roisin, C., 2004. Ploegloze teelttechnieken in de suikerbietenteelt. De technische Gidsen van het Koninklijk Belgisch Instituut tot Verbetering van de Biet (KBIVB), KBIVB, Tienen, 22p.
- Vereijken, P.H., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy* 7, 235-250.
- Vermeulen, G.D., Klooster, J.J., Sprong, M.C., Verwijs, B.R., 2003. Soil Tare and Relative Soil Adherence after uprooting Sugar Beet by a Share Lifter, a Driven Rotary-shoe Lifter and a Grab Lifter. *Biosystems Engineering* 86, 167-178.
- Walters, S.A., Young, B.G., Krausz, R.F., 2008. Influence of Tillage, Cover Crop, and Preemergence Herbicides on Weed Control and Pumpkin Yield. *International Journal of Vegetable Science* 14, 148-161.
- Westerdijk, C.E., Heijbroek, W., Vollegrond, P.v.d.A.e.d.G.i.d., 1994. Teelt van suikerbieten.
- Willekens, K., Vandecasteele, B., Buchan, D., De Neve, S., 2014. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology* 82, 61-71.

Bijlage A Aanvullende informatie van Balen et al.

Aanvullende Tabel A.1 Bodembewerkingsmethoden (best practice) in biologische teelten gespecificeerd naar week van toepassing (gemiddeld weeknummer waarin bodembewerking in de loop der jaren is toegepast) voor de grondbewerkingssystemen CT, RTS en RT, waarbij (-) aangeeft dat de machines in dat systeem ontbreken.

Aanvullende Tabel A.2 Bodembewerkingsmethoden (best practice) in conventionele teelten gespecificeerd naar week van toepassing (gemiddeld weeknummer waarin bodembewerking in de loop der jaren is toegepast) voor grondbewerkingssystemen CT, RTS en RT, waarbij (-) de afwezigheid van machines in dat systeem aangeeft.

Aanvullende Figuur A.1 Bodembedekking, vruchtwisseling en bedekkingsschema per bedrijfssysteem en grondbewerkingsregime

Aanvullende Tabel A.3 In BASIS gebruikte bodembewerkingsmachines

Aanvullende Tabel A.4 Bemesting (N, P, K: best practice) toegepast in gangbare gewassen, gespecificeerd naar type meststof, tijdstip en hoeveelheid (kg/ha) voor grondbewerkingssystemen CT, RT en RTS.

Aanvullende Tabel A.5 Bemesting (N, P, K: best practice) in biologische gewassen, gespecificeerd naar type meststof, tijdstip en hoeveelheid (kg/ha) voor grondbewerkingssystemen CT, RT en RTS.

Aanvullende Tabel A.6 Opbrengstbemonsteringsmethoden per gewas en landbouwsysteem

Aanvullende Tabel A.7 Plantdichtheid bemonsteringsmethode per gewas en landbouwsysteem

Aanvullende Tabel A.8 Criteria voor opname in een opbrengstcategorie

Aanvullende Tabel A.9 Grootteklassen per gewas en teeltsysteem

Aanvullende Tabel A.1. Bodembewerkingsmethoden (best practice) in de biologische (ORG) vruchtwisseling, gespecificeerd voor de grondbewerkingssystemen CT, RTS en RT. Gewassen in volgorde van hun plaats in de vruchtwisseling. De vermelde gewassen zijn de meest geteelde gewassen. Zie Tabel A.3 voor bijzonderheden over de werktuigen.

Gewas	Grondbewerking	Machine	Teelt system		
			CT	RTS	RT
Aardappel	Zaaibed voorbereiding	Wentelploeg	46*	-	-
		Triltandcultivator	-	15	15
		Rotorkopeg	17	17	17
	Aanaarder	Ruggenfrees	17	17	17
Gras klaver	Zaaibed voorbereiding	Paragruber	35	35	-
		Triltandcultivator	35	35	35
		Rotorkopeg	37	37	37
Kool	Zaaibed voorbereiding	Schijveneg	45	-	-
		Wentelploeg	46	-	-
		Triltandcultivator	-	16	16
		Triltandcultivator	-	18	18
		Rotorkopeg	22	22	22
Zomertarwe	Zaaibed voorbereiding	Wentelploeg	46	-	-
		Triltandcultivator	-	13	13
		Rotorkopeg	14	14	14
Wortel	Zaaibed voorbereiding	Wentelploeg	46	-	-
		Triltandcultivator	-	16	16
		Triltandcultivator	-	17	17
		Rotorkopeg	18	18	18
		Rotorkopeg	18	18	18
Snijboon/ zomertarwe	Zaaibed voorbereiding	Paragruber	-	42	42
		Wentelploeg	46	-	-
		Triltandcultivator	-	14	14
		Rotorkopeg	15	15	15
	Zaaibed voorbereiding	Triltandcultivator	37	37	37
		Rotorkopeg	37	37	37

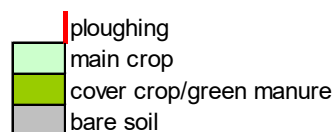
* Weeknummer, het tijdstip van de teelt (gemiddelde over 2009-2018). Opmerking: de weken 42-47 hebben betrekking op het najaar voorafgaand aan het teeltseizoen van het betreffende gewas.

Aanvullende Tabel A.2. Bodembewerkingsmethoden (best practice) in de conventionele (CONV) vruchtwisseling, voor de grondbewerkingssystemen CT, RTS en RT. Gewassen in volgorde van hun plaats in de vruchtwisseling. De weergegeven gewassen zijn de meest geteelde gewassen. Zie Tabel A.3 voor bijzonderheden over de apparatuur.

Gewas	Grondbewerking	Machine	Teelt system		
			CT	RTS	RT
Pootaardappel	Zaaibed voorbereiding Hoofdgewas	Wentelploeg	44*	-	-
		Paragruber	-	42	-
		Rotorkopeg	15	15	15
	Aanaarder Zaaibed voorbereiding Groenbemester	Ruggenfrees	20	20	20
		Triltandcultivator	35	35	35
		Rotorkopeg	37	37	37
Suikerbiet	Zaaibed voorbereiding	Mouldboard plough	46	-	-
		Chisel plough	-	44	-
		Triltandcultivator	-	13	13
		Rotorkopeg	15	15	15
Zomergerst	Zaaibed voorbereiding Hoofdgewas	Paragruber	-	44	-
		Wentelploeg	47	-	-
		Triltandcultivator	-	12	12
		Rotorkopeg	12	12	12
	Zaaibed voorbereiding Groenbemester	Triltandcultivator	33	33	33
		Rotorkopeg	33	33	33
Ui	Zaaibed voorbereiding Hoofdgewas	Wentelploeg	46	-	-
		Triltandcultivator	-	12	12
		Rotorkopeg	15	15	15
	Zaaibed voorbereiding Groenbemester	Triltandcultivator	39	39	39
		Rotorkopeg	39	39	39

* Weeknummer, het tijdstip van de teelt (gemiddeld over 2009-2018). Opmerking: de weken 42-47 hebben betrekking op het najaar voorafgaand aan het teeltseizoen van het betreffende gewas.

Aanvullende Fig. A.1. Bodembedekking, vruchtwisseling en bedekkingsschema voor elk landbouwsysteem en elk grondbewerkingsregime.



ORGANIC

CT

Year	winter			spring			summer			autumn			
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sept	oct	nov	dec	
1				potato						grass clover			
2	grass clover												
3						cabbage							
4				spring wheat					leguminous cover crop				
5					carrot								
6				faba bean/spring wheat						cover crop			

RTS and RT

K15 and K1													
Year	winter			spring			summer			autumn			
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sept	oct	nov	dec	
1	cover crop					potato					grass clover		
2	grass clover												
3	grass clover					cabbage							
4				spring wheat						leguminous cover crop			
5	leguminous cover crop					carrot							
6				faba bean/spring wheat							cover crop		

CONVENTIONAL

CT

Year	winter			spring			summer			autumn		
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sept	oct	nov	dec
1				potato						cover crop		
2				sugar beet								
3				spring barley					leguminous cover crop			
4				onion						yellow mustard		

RTS and RT

Year	winter			spring			summer			autumn			
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sept	oct	nov	dec	
1	cover crop			potato						cover crop			
2	cover crop			sugar beet									
3				spring barley					leguminous cover crop				
4	leguminous cover crop			onion						cover crop			

Aanvullende Tabel A.3. De machines die zijn gebruikt op BASIS.

Machine	Beschrijving en opmerkingen
Wentelploeg	Rumptstad RPV 120-480 wentelploeg met (2x) 4 malplaten en een werkbreedte van 1,60 m (waardoor de bedden van 3,15 m in één keer konden worden geploegd). Ploegdiepte 23-25 cm. Tijdens het ploegen rijdt de trekker (standaard spoorbreedte 1,50 m) met één wiel in de voor; het is niet mogelijk om over de vaste rijbanen te rijden. Bouwjaar 2005. Gewicht 1430 kg.
Paragruber	Kongsilde Paragruber ECO 3000 is een onderschudder, die de grond optilt en losmaakt met behulp van 6 speciaal onder een hoek geplaatste (schuine) tanden. De mengwerking van de Paragruber is beperkt zodat grondlagen op hun plaats blijven tijdens het losmaken. Afstand tussen de tanden is 50 cm. Werkbreedte 3 m. Aantal tanden 6, Gewicht 780 kg.
Triltandcultivator	De Steketee C4000-4 cultivator met (zware) triltanden is in staat om de grond (ondergronds) volvelds te bewerken. Dit werktuig is 3 meter breed en heeft opklapbare elementen. Aan de achterkant van het werktuig kan een rol worden gemonteerd die de grond verkruint en helpt bij de diepteregeling (zie foto rechts). De Steketee heeft 13 tanden die 22,5 cm uit elkaar staan. De triltanden (verenstaal) hebben ganzenvoeten met een breedte van 30 cm. Werkbreedte 3 meter, aantal tanden: 13. Bouwjaar 1999. Gewicht 990 kg.
Rotorkoepel	De Masschio HB 3000 rotorkoepel is van een standaard uitvoering maar aangepast voor gebruik in het fronthefstelsel. Hiervoor werd een speciaal A-frame gemonteerd en de aftakas verlengd. Voor de eg werd een extra rol geplaatst. De eg is strak aan de trekker bevestigd, zodat zijdelingse bewegingen worden gemitig. De werkbreedte van de rotorkoepel is 3 meter. Het aantal rotoren (elk met twee tanden) is 14. De rotoren overlappen elkaar, zodat de grond over de hele breedte van de machine wordt bewerkt. Werkbreedte 3 meter. Aantal rotoren 14. Aantal tanden 28. Bouwjaar 1996. Gewicht 850 kg.
Ruggenfrees	Deze Rumptstad RSF 2000 4x75 ruggenfrees wordt gebruikt voor het maken van ruggen voor Aardappel en peen. Voor het maken van de ruggen voor wortelen werkt de ruggenfrees over de volle breedte, in de stroken waar de wortelen zullen groeien zijn extra lange tanden gemonteerd voor een diepere losmaking van de grond. Na het plegen van Aardappel worden de ruggen opnieuw opgebouwd door de ruggenfrees. In deze situatie worden de messen in de plantenrij verwijderd. De grote parabolische schijf die op de middelste foto boven op de machine te zien is, is precies in het midden van de ruggenfrees gemonteerd om een smalle groef (sleuf) te volgen die door de Aardappelplanter is gemaakt.) De ruggenfrees produceert 4 ruggen met een onderlinge afstand van 75 cm. Werkbreedte 3 meter / 4 ruggen. Bouwjaar 2000. Gewicht 1100 kg.
Schijveneg	De Evers V3000/51 R62 schijveneg is uitgerust met 2 gang 3 schijven en een wals. Werkbreedte van de machine is 3,5 m. De invalshoek van de gekartelde schijven kan worden aangepast aan het gewenste indringend effect. Totaal aantal schijven is 24. Werkbreedte 3,5 m. Aantal schijven 24. Gewicht 1148 kg. Bouwjaar 1998.

Aanvullende Tabel A.4. Bodembemesting (N, P₂O₅, K₂O: best practice) voor gewassen in het gangbare (CONV) landbouwsysteem. De weergegeven gewassen zijn de meest geteelde gewassen.

Gewas	Teelt systeem			Meststof	Moment	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
	CT	RTS	RT					
Poot-aardappel	X	X	X	Calcium ammonium nitrate	Lente	100	0	0
				Potassium chloride	Herfst	0	0	154
				Tripelsuperphosphate	Lente	0	79	0
Suikerbiet	X	X	X	Calcium ammonium nitrate	Lente	128	0	0
				Potassium chloride	Herfst	0	0	119
				Tripelsuperphosphate	Lente	0	97	0
Zomergerst	X	X	X	Calcium ammonium nitrate	Lente	80	0	0
Ui	X	X	X	Calcium ammonium nitrate	Lente & Zomer	123	0	0
				Potassium chloride	Herfst	0	0	285
				Tripelsuperphosphate	Lente	0	67	0

Aanvullende Tabel A.4. Bodembemesting (N, P₂O₅, K₂O: best practice) voor gewassen in het gangbare (CONV) landbouwsysteem. De weergegeven gewassen zijn de meest geteelde gewassen.

Gewas	Teelt systeem			Meststof	Moment	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
	CT	RTS	RT					
Aardappel	X	X	X	Solid cow manure	Herfst	170	97	217
				Cow slurry	Lente	101	42	146
Gras/klaver	X	X	X	None		0	0	0
Witte kool	X	X	X	Solid cow manure	Herfst	165	81	219
				Cow slurry	Lente	163	80	225
Zomer tarwe	X	X	X	Dried chicken manure	Lente	69	43	57
Wortel	X	X	X	None		0	0	0
Snijboon/ zomertarwe	X	X	X	None		0	0	0

Aanvullende Tabel A.6. Opbrengstbemonsteringsmethoden per gewas en landbouwsysteem.

Teelt systeem	Gewas	Oogst methode	Geoogst perceel	Opmerking
Organic	Gras klaver	Proefvelddrooier (haldrup)	6 x 1.5 m	Middenrug van het bed 2010: 85 x 3 m
	Kool	Handoogst	10 x 3 m	
	Pompoen	Handoogst	15 x 3 m	
	Zomer tarwe	Combine	85 x 3 m	
	Haver	Combine	85 x 3 m	Midden rij van het bed
	Carrot	Handoogst	5 x 1.5 m	
	Snijboon/ zomertarwe	Combine	85 x 3 m	
Biologisch & gangbaar Gangbaar	Aardappel	Proefvelddrooier *	6-8 x 1.5 m	Middenrug van het bed
	Suikerbiet	Bietenrooier	85 x 3 m	
	Zomergerst	Combine	85 x 3 m	
	Winter tarwe	Combine	80 x 3 m	
	Ui	Handoogst	6-8 x 1.5 m	Midden rij van het bed

* Handoogst 2009 and 2011

Aanvullende Tabel A.7. Methoden en meetveld per gewas en landbouwsysteem

Teelt systeem	Gewas	Oogst methode	Geoogst perceel	Opmerking
Biologisch	Kool *	Aantal geoogst	10 x 3 m	
	Pompoen *	Aantal planten en pompoenen geoogst	15 x 3 m	
	Zomertarwe	Number haulms at harvest time	4-6 m rij	
	Haver	Aantal halmen in Juni	6 m rij	
	Wortel	Plantaantal Juni-Augustus	2-5 m ridge	2009, 2013 2016
		Aantal planten geoogst	10 m ridge	
Biologisch & gangbaar Gangbaar	Wheat/faba bean	-		
	Aardappel	Aantal knollen geoogst	6-8 x 1.5 m	Middelste rijen van het bed
	Suikerbiet	Planttelling in Juni	20-24 m rij	
	Zomergerst	Aantal halmen in Juni	6 m rij	2009, 2018 2013, 2014
		Aantal halmen tijdens de oogst	2 m rij	
	Wintertarwe	-		
	Ui	Planttelling in Juni	5 m rij	2014
		Aantal bollen geoogst	32 m rij	2015

* alleen marktbaar product

Aanvullende Tabel A.8. opbrengst criteria

Farming system	Gewicht	Opbrengst category 1	Opbrengst category 2	Opbrengst category 3
		Marketable yield	Netto opbrengst	Bruto opbrengst
Organic	Aardappel	28-60 mm	> 0 mm excl gewas tarra ¹ excl grond tarra ²	Totale opbrengst excl. grond tarra
	Grasklaver	Totale droge stof	Totaal vers product = netto opbrengst	Totaal vers product = Bruto opbrengst
	Kool	Marktbare kolen	=Markertbare kolen	Niet gemeten
	Pompoen	Maktbare pompoenen	=Marktbare pompoenen	Niet gemeten
	Zomertarwe	Vocht gehalte 16%	Vocht gehalte 16%	Opbrengst incl. vochtgehalte
	Haver	Vocht gehalte 15%	Vocht gehalte 15%	Opbrengst incl. vochtgehalte
	Wortel	50-250 gr	> 0 gr excl. gewas tarra excl grond tarra	Totaal gewicht excl. grond tarra
Conventional	Wheat/faba bean	Vocht gehalte 16%	Vocht gehalte 16%	Opbrengst incl. vochtgehalte
	Pootardappel	28-60 mm	> 0 mm excl. gewas tarra excl grond tarra	Totaal gewicht excl. grond tarra
	Suikerbiet	Suiker opbrengst	Gewicht suikerbiet excl. gewas tarra excl. Grond tarra	Gewicht geoogst suikerbiet incl. gewas tarra incl. grond tarra
	Zomergerst	Vocht gehalte 15%	Vocht gehalte 15%	Opbrengst incl. vochtgehalte
	Wintertarwe	Vocht gehalte 16%	Vocht gehalte 16%	Opbrengst incl. vochtgehalte
	Ui	40-80 mm	> 0 mm excl. gewas tarra excl grond tarra	Totaal gewicht excl. grond tarra

¹ Product tarra = weight of rotten and deformed produce

² Soil tare = weight of soil attached to the harvested produce

Aanvullende Tabel A.9. sorteermaat per gewas en landbouwsysteem

Farming system	Crop	Size classes
Organic	Grass clover	-
	Cabbage	Dependent on yearly market standards
	Pumpkin	Dependent on yearly market standards
	Spring wheat	-
	Carrot	0-50 gr, 50-250 gr, 250-400 gr, >400 gr
	Wheat/faba bean	-
Organic & conventional	Aardappel	0-28 mm, 28-35 mm, 35-45 mm, 45-50 mm, 50-60 mm, >60 mm
Conventional	Sugar beet	-
	Spring barley	-
	Winter wheat	-
	Ui	0-40 mm, 40-60 mm, 60-80 mm, >80 mm

Bijlage B Aanvullende gegevens van Balen et al.

Aanvullende Tabel B.1. Absolute gemiddelde verhandelbare gewasopbrengsten (2009-2018) in BASIS. Marktbare opbrengst = totale opbrengst - grondtarra - rot - misvormde gewassen - onverkoopbare grootteklassen. Een volledige lijst van opbrengstcategorieën en opnamecriteria is opgenomen in Tabel A.8, bijlage A. De gewasopbrengsten zijn uitgedrukt in t ha-1.

Aanvullende Tabel B.2. Absolute gemiddelde netto gewasopbrengsten (2009-2018) in BASIS. Netto-opbrengst = totale opbrengst - grondtarra - rot - misvormde eenheden. Een volledige lijst van opbrengstcategorieën en inclusiecriteria is opgenomen in Tabel A.8, bijlage A. De gewasopbrengsten worden uitgedrukt in t ha-1.

Aanvullende Tabel B.3. Absoluut gemiddelde bruto gewasopbrengsten (2009-2018) in BASIS. Bruto opbrengst = totale opbrengst - grondtarra. Een volledige lijst van opbrengstcategorieën en inclusiecriteria is opgenomen in Tabel A.8, bijlage A. De gewasopbrengsten worden weergegeven in t ha-1.

Aanvullende Tabel B.4. Gemiddelde knolgrootte Aardappel, gemiddeld gewicht kool, gemiddelde bolgrootte ui, (2009-2018) in BASIS. Knolgrootte en bolgrootte is aangegeven in mm, koolgewicht in kg.

Aanvullende Tabel B.5. Gemiddelde plant/knol/bollendichtheid per gewas per jaar (2009-2018) in BASIS.

Aanvullende Tabel B.6. Grondtarra van suikerbieten (%) van de bruto opbrengst per jaar (2009-2018) in BASIS.

Aanvullende Tabel B.1. Absolute gemiddelde marktbaar opbrengsten (2009-2018) in BASIS. Verhandelbare opbrengst = totale opbrengst - grondtarra - rot - misvormd product- onverkoopbare grootteklassen. Een volledige lijst van opbrengstcategorïeën en opnamecriteria staat in Tabel A.8, bijlage A. De gewasopbrengsten worden weergegeven in t ha-1.

		2009			2010			2011			2012			2013			2014		
quality		CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT
ORGANIC																			
Potato	28-60 mm	39.1	37.7	38.6	x	x	x	31.8	31.4	30.0	21.4	21.4	21.4	x	x	x	x	x	x
Grass clover	total dry matter	x	x	x	12.0	-	12.9	x	x	x	11.4 a	14.9 b	14.6 b *	11.3	11.0	12.1	x	x	x
Cabbage ^a	marketable cabbage	x	x	x	x	x	x	85.6	84.0	81.1	x	x	x	51.3 b	52.7 b	46.1 a *	39.3	42.5	40.1
Pumpkin	marketable pumpkins	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spring wheat	moisture content 16%	4.8 a	5.2 b	5.1 ab *	x	x	x	x	x	x	5.9	6.5	6.3	x	x	x	5.8	6.3	6.2
Oats	moisture content 15%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Carrot	50-250 gr	68.5	61.5	54.2	78.3 b	65.7 a	67.4 a *	x	x	x	x	x	x	66.4 b	48.9 a	47.3 a ***	x	x	x
Wheat/faba bean	moisture content 16%	x	x	x	5.1 b	-	4.3 a **	5.2 a	5.7 b	5.8 b ***	x	x	x	x	x	x	4.8 a	5.2 b	4.8 a *
CONVENTIONAL																			
Seed potato	28-60 mm	x	x	x	x	x	x	32.7	31.0	31.0	40.1	40.3	40.4	x	x	x	x	x	x
Sugar beet	sugar yield	18.8	18.9	18.7	x	x	x	x	x	x	16.9	17.1	17.4	17.7	17.0	16.8	x	x	x
Spring barley	moisture content 15%	9.1	9.2	9.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6.7	6.3	7.1	7.6	7.6	7.6
Winter wheat	moisture content 16%	x	x	x	11.4	12.0	11.9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Onion	40-80 mm	x	x	x	-	-	-	84.0	82.3	76.6	x	x	x	x	x	x	58.9	56.1	56.7

^a 2011: White cabbage, industry
2013: White cabbage, fresh market
2014: Red cabbage, fresh market
x not cultivated
- not measured

		2015			2016			2017			2018			Average					relative yield %		
	quality	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	s.e.m.	F.prob	sign.	RTS/CT	RT/CT
ORGANIC																					
Potato	28-60 mm	37.1	37.0	36.5	x	x	x	41.2	38.5	37.8	34.8	33.2	38.2	34.2	33.2	33.8	0.44	0.191	ns	97	99
Grass clover	total dry matter	x	x	x	13.9	14.7	15.1	x	x	x	14.3	15.0	14.6	12.7 a	13.9 b	14.1 b	0.23	0.001	**	109	111
Cabbage ^a	marketable cabbage	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	58.8 b	59.7 b	55.8 a	1.28	0.012	*	102	95
Pumpkin	marketable pumpkins	x	x	x	x	x	x	53.4	54.1	54.6	x	x	x	53.4	54.1	54.6	1.28	0.832	ns	101	102
Spring wheat	moisture content 16%	5.7	5.5	5.6	4.0 a	4.6 b	5.0 b **	4.6 b	3.3 a	3.6 a *	x	x	x	5.0	5.1	5.1	0.08	0.623	ns	102	102
Oats	moisture content 15%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6.5 a	7.5 b	7.3 b *	6.5 a	7.5 b	7.3 b	0.16	0.011	*	115	112
Carrot	50-250 gr	39.9	43.2	45.0	40.0	34.4	34.8	x	x	x	x	x	x	58.6 b	50.8 a	49.7 a	3.65	0.00002	***	87	85
Wheat/faba bean	moisture content 16%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5.0	5.3	5.0	0.10	0.104	ns	106	99
CONVENTIONAL																					
Seed potato	28-60 mm	49.1	50.1	49.5	41.5 a	43.8 b	44.8 b **	x	x	x	x	x	x	40.9	41.3	41.4	0.34	0.414	ns	101	101
Sugar beet	sugar yield	x	x	x	15.9	16.0	15.9	21.6	21.8	21.7	x	x	x	18.2	18.2	18.1	0.16	0.922	ns	100	100
Spring barley	moisture content 15%	x	x	x	x	x	x	6.9	7.8	7.3	7.5	7.2	7.7	7.6	7.6	7.8	0.09	0.207	ns	101	103
Winter wheat	moisture content 16%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11.4	12.0	11.9	0.19	0.648	ns	105	105
Onion	40-80 mm	69.6	68.9	68.9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	70.9	69.1	67.4	1.12	0.086	ns	97	95

Aanvullende Tabel B.2. Absolute gemiddelde netto gewasopbrengsten (2009-2018) in BASIS. Netto opbrengst = totale opbrengst - grondtarra - rot - misvormd product. Een volledige lijst van opbrengstcategorieën en opnamecriteria staat in Tabel A.8, bijlage A. De gewasopbrengsten worden weergegeven in t ha-1.

quality	2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT
ORGANIC																		
Potato	> 0 mm excl product tare excl soil tare	40.1	38.5	39.4	x	x	x	32.5	32.2	31.0	22.0	22.1	22.1	x	x	x	x	x
Grass clover	total fresh matter = gross yield	x	x	x	67.1	-	73.5	x	x	x	66.9 a	93.7 b	87.4 b ***	59.2	56.2	63.0	x	x
Cabbage ^a	=marketable cabbage	x	x	x	x	x	x	85.6	84.0	81.1	x	x	x	51.3 b	52.7 b	46.1 a *	39.3	42.5
Pumpkin	=marketable pumpkins	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spring wheat	moisture content 16%	4.8 a	5.2 b	5.1 a *	x	x	x	x	x	x	5.9	6.5	6.3	x	x	x	5.8	6.3
Oats	moisture content 15%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Carrot	> 0 gr excl product tare excl soil tare	74.6	71.0	65.1	89.5 b	69.1 a	71.3 a **	x	x	x	x	x	x	82.7 b	65.8 a	63.1 a **	x	x
Wheat/faba bean	moisture content 16%	x	x	x	5.1 b	-	4.3 a **	5.2 a	5.7 b	5.8 b ***	x	x	x	x	x	x	4.8 a	5.2 b
CONVENTIONAL																		
Seed potato	> 0 mm excl product tare excl soil tare	x	x	x	x	x	x	34.6	31.8	32.9	42.0	44.4	43.5	x	x	x	x	x
Sugar beet	beet yield excl product tare excl soil tare	93.6	94.3	93.4	x	x	x	x	x	x	91.8	92.0	94.7	#### b	97.4 a	97.0 a *	x	x
Spring barley	moisture content 15%	9.1	9.2	9.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6.7	6.3	7.1	7.6	7.6
Winter wheat	moisture content 16%	x	x	x	11.5	12.1	12.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Onion	> 0 mm excl product tare excl soil tare	x	x	x	x	x	x	88.2	86.8	81.9	x	x	x	x	x	x	60.9	57.7

^a 2011: White cabbage, industry

2013: White cabbage, fresh market

2014: Red cabbage, fresh market

x not cultivated

- not measured

		2015			2016			2017			2018			Average					relative yield %	
quality		CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	s.e.m.F.prob	sign.	RTS/CT	RT/CT
ORGANIC																				
Potato	> 0 mm excl product tare excl soil tare	40.3	39.6	39.8	x	x	x	47.6	45.2	45.6	51.8	50.7	52.2	39.1 <i>b</i>	38.1 <i>a</i>	38.4 <i>at</i>	0.43	0.106 <i>ns</i>	97	98
Grass clover	total fresh matter = gross yield	x	x	x	92.7	87.5	85.9	x	x	x	77.3	75.8	76.8	74.0	78.3	78.3	1.49	0.054 <i>ns</i>	106	106
Cabbage ^a	=marketable cabbage	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	58.8 <i>b</i>	59.7 <i>b</i>	55.8 <i>a</i>	1.28	0.012 *	102	95
Pumpkin	=marketable pumpkins	x	x	x	x	x	x	53.4	54.1	54.6	x	x	x	53.4	54.1	54.6	1.28	0.832 <i>ns</i>	101	102
Spring wheat	moisture content 16%	5.7	5.5	5.6	4.0 <i>a</i>	4.6 <i>b</i>	5.0 <i>b</i> **	4.6 <i>b</i>	3.3 <i>a</i>	3.6 <i>a</i> *	x	x	x	5.0	5.1	5.1	0.08	0.623 <i>ns</i>	102	102
Oats	moisture content 15%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6.5 <i>a</i>	7.5 <i>b</i>	7.3 <i>b</i> *	6.5 <i>a</i>	7.5 <i>b</i>	7.3 <i>b</i>	0.16	0.010 *	115	112
Carrot	> 0 gr excl product tare excl soil tare	46.1	48.9	51.4	48.3 <i>b</i>	40.5 <i>a</i>	40.7 <i>a</i> *	x	x	x	x	x	x	68.3 <i>b</i>	59.2 <i>a</i>	58.3 <i>a</i>	4.01	0.00001 ***	87	85
Wheat/faba bean	moisture content 16%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5.0	5.3	5.0	0.10	0.104 <i>ns</i>	106	99
CONVENTIONAL																				
Seed potato	> 0 mm excl product tare excl soil tare	50.4 <i>a</i>	54.0 <i>b</i>	53.5 <i>b</i> **	44.5 <i>a</i>	46.0 <i>at</i>	47.1 <i>b</i> *	x	x	x	x	x	x	42.9 <i>a</i>	44.1 <i>b</i>	44.2 <i>b</i>	0.44	0.012 *	103	103
Sugar beet	beet yield excl product tare excl soil tare	x	x	x	89.8	90.8	90.5	####	####	####	x	x	x	98.7	98.8	98.8	0.68	0.994 <i>ns</i>	100	100
Spring barley	moisture content 15%	x	x	x	x	x	x	6.9	7.8	7.3	7.5	7.2	7.7	7.6	7.6	7.8	0.09	0.207 <i>ns</i>	101	103
Winter wheat	moisture content 16%	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11.5	12.1	12.0	0.18	0.627 <i>ns</i>	105	105
Onion	> 0 mm excl product tare excl soil tare	72.2	72.4	72.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	73.8	72.3	70.8	1.08	0.117 <i>ns</i>	98	96

Aanvullende Tabel B.3. Absoluut gemiddelde bruto gewasopbrengsten (2009-2018) in BASIS. Bruto-opbrengst = totale opbrengst - grondtarra. Een volledige lijst van opbrengstcategorieën en inclusiecriteria is opgenomen in Tabel A.8, bijlage A. De gewasopbrengsten zijn uitgedrukt in t ha-1.

		2009			2010			2011			2012			2013			2014		
quality		CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT
ORGANIC																			
Potato	total yield excl. soil tare	40.1	38.5	39.4	x	x	x	38.7	39.2	38.3	23.5	24.5	23.7	x	x	x	x	x	x
Grass clover	total fresh matter = net yield	x	x	x	67.1	-	73.5	x	x	x	66.9 a	93.7 b	87.4 b ***	59.2	56.2	63.0	x	x	x
Cabbage ^a	not measured	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Pumpkin	not measured	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spring wheat	yield with field moisture content	4.8	5.1	5.0	x	x	x	x	x	x	6.0	6.6	6.4	x	x	x	5.8	6.3	6.2
Oat	yield with field moisture content	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Carrot	total yield excl. soil tare	89.2	86.6	80.0	93.2	78.3	80.9	x	x	x	x	x	x	84.8 b	67.6 a	65.5 a **	x	x	x
Wheat/faba bean	yield with field moisture content	x	x	x	5.1 b	-	4.4 a **	5.2 a	5.7 b	5.8 b ***	x	x	x	x	x	x	5.0 a	5.4 b	4.9 a *
CONVENTIONAL																			
Seed potato	total yield excl. soil tare	x	x	x	x	x	x	38.7 b	35.0 a	35.9 a *	42.6 a	45.2 b	43.9 ab *	x	x	x	x	x	x
Sugar beet	total beet yield incl. producttare incl soiltare	99.2	####	99.5	x	x	x	x	x	x	94.4	96.6	98.6	106.3	102.9	102.5	x	x	x
Spring barley	yield with field moisture content	9.2	9.2	9.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Winter wheat	yield with field moisture content	x	x	x	11.5	12.1	12.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Onion	total yield excl. soil tare	x	x	x	x	x	x	88.4	87.0	82.2	x	x	x	x	x	x	61.4	58.6	59.5

^a 2011: White cabbage, industry
2013: White cabbage, fresh market
2014: Red cabbage, fresh market

x not cultivated
- not measured

		2015			2016			2017			2018			Average					relative yield %			
	quality	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	s.e.m.	F.	prob.	sign.	RTS/CT	RT/CT
ORGANIC																						
Potato	total yield excl. soil tare	40.9	40.4	40.6	x	x	x	47.7	45.5	46.0	54.6	54.1	53.8	40.9	40.4	40.3	0.42	0.266	ns		99	98
Grass clover	total fresh matter = net yield	x	x	x	92.7	87.5	85.9	x	x	x	77.3	75.8	76.8	74.0	78.3	78.3	1.49	0.054	ns		106	106
Cabbage ^a	not measured	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-		-	-
Pumpkin	not measured	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-		-	-
Spring wheat	yield with field moisture content	5.7	5.6	5.6	4.0 a	4.6 b	5.0 b **	4.6 b	3.4 a	3.6 a *	x	x	x	5.2	5.3	5.3	0.09	0.537	ns		102	103
Oat	yield with field moisture content	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6.5 a	7.5 b	7.3 b *	6.5 a	7.5 b	7.3 b	0.15	0.011	*		115	112
Carrot	total yield excl. soil tare	62.0	66.8	70.9	79.2	76.2	79.5	x	x	x	x	x	x	81.7 b	75.1 a	75.4 a	3.82	0.001	***		92	92
Wheat/faba bean	yield with field moisture content	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5.1	5.4	5.0	0.10	0.080	ns		106	99
CONVENTIONAL																						
Seed potato	total yield excl. soil tare	50.6 a	54.2 b	53.7 b **	45.0 a	46.3 a	48.0 b **	x	x	x	x	x	x	44.2	45.2	45.4	0.46	0.08	ns		102	103
Sugar beet	total beet yield incl. producttare incl soiltare	x	x	x	92.9	94.6	94.5	123.1	128.0	126.4	x	x	x	103.2	104.5	104.3	0.73	0.33	ns		101	101
Spring barley	yield with field moisture content	x	x	x	x	x	x	6.9	7.8	7.3	7.8	7.5	8.0	8.0	8.2	8.1	0.11	0.32	ns		102	102
Winter wheat	yield with field moisture content	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11.5	12.1	12.0	0.18	0.63	ns		105	105
Onion	total yield excl. soil tare	72.3	72.5	72.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	74.0	72.7	71.3	1.07	0.17	ns		98	96

Aanvullende Tabel B.4. Gemiddelde knolgrootte Aardappel, gewicht kool, bolgrootte ui, (2009-2018) in BASIS. Knolgrootte en bolgrootte is aangegeven in mm, koolgewicht in kg.

		2009			2010			2011			2012			2013			2014		
		CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT
ORGANIC																			
Ware potatoes		43.5 b	42.6 a	41.9 a **	x	x	x	50.0	50.3	50.7	37.9	37.7	37.9	x	x	x	x	x	x
Cabbage	average weight kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.8 b	1.6 b	1.4 a **	1.4	1.4	1.3
Carrot	average weight g	154.4 a	167.6 b	172.9 b *	135.1 a	149.6 b	145.7 b **	x	x	x	x	x	x	125.3 b	118.0 a	118.6 a *	x	x	x
CONVENTIONAL																			
Seed potatoes		x	x	x	x	x	x	49.1	48.0	48.2	48.5 a	50.6 b	50.2 b **	x	x	x	x	x	x
Onion		x	x	x	x	x	x	54.6 a	58.3 a	62.0 b ns	x	x	x	x	x	x	59.0	60.2	60.3

		2015			2016			2017			2018			Average					
		CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	s.e.m.	F.prob	sign.
ORGANIC																			
Ware potatoes		50.3	49.5	49.9	x	x	x	52.1	52.8	53.0	56.0	56.4	54.9	48.3	48.2	48.1	0.191	0.599	ns
Cabbage	average weight kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.6 b	1.5 b	1.4 a	0.029	0.001	***
Carrot	average weight g	141.7	138.1	142.5	133.2	136.5	140.0	x	x	x	x	x	x	137.9	142.0	143.9			
CONVENTIONAL																			
Seed potatoes		46.2 a	49.5 b	49.2 b **	44.6	44.2	44.0	x	x	x	x	x	x	47.1 a	48.1 b	47.9 b	0.23	0.0009	***
Onion		59.3 a	62.1 c	60.9 b **	x	x	x	x	x	x	x	x	x	57.6 a	60.2 b	61.1 b	0.49	0.0005	***

Aanvullende Tabel B.5. Gemiddelde plant/knol/bol dichtheid per gewas per jaar (2009-2018) in BASIS.

		2009			2010			2011			2012			2013			2014		
	quality	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT
ORGANIC																			
Potato	gross yield; n tubers m ⁻²	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Cabbage ^a	marketable yield; n cabbages m-2	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	2.9 a	3.3 b	3.2 b *	2.8	3.1	3.0
Pumpkin	plants; n m-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	marketable yield; n pumpkins m-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	pumpkins n plant-1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spring wheat	haulms n m-2	391.3	402.9	396.7	x	x	x	x	x	x	508.5	481.0	512.0	x	x	x	409.6	475.1	453.5
Oats	n haulms m-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Carrot	n carrots m-2	69.1	65.6	54.9	-	-	-	x	x	x	x	x	x	145.9	139.5	149.8	x	x	x
	gross yield; n carrots m-2	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x
Wheat/faba bean		x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-
CONVENTIONAL																			
Seed potatoes	gross yield; n tubers m ⁻²	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Sugar beet	n plants m-2	9.5	8.8	8.9	x	x	x	x	x	x	-	-	-	7.2 b	5.3 a	5.3 a **	x	x	x
Spring barley	n haulms m-2	399	433	428	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1166	1282	1275	660	819	792
Winter wheat	n haulms m-2	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Onion	gross yield; n bulbs m-2	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x	x	62.4	56.1	56.6

^a 2011: White cabbage, industry
2013: White cabbage, fresh market
2014: Red cabbage, fresh market
x not cultivated
- not measured

		2015			2016			2017			2018			Average						
quality		CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	CT	RTS	RT	s.e.	n F	prob	sign.
ORGANIC																				
Potato	gross yield; n tubers m ⁻²	-	-	-	x	x	x	-	-	-	54.7 a	53.4 a	56.7 b *	54.7 a	53.4 a	56.7 b	0.9	0.086	*	
Cabbage ^a	marketable yield; n cabbages m-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2.9	3.2	3.1	0.1	0.079	ns	
Pumpkin	plants; n m-2	x	x	x	x	x	x	1.4	1.4	1.4	x	x	x	1.4	1.4	1.4	0.0	0.370	ns	
	marketable yield; n pumpkins m-2	x	x	x	x	x	x	3.7 b	3.5 a	3.4 a	x	x	x	3.7 b	3.5 a	3.4 a	0.7	0.076	ns	
	pumpkins n plant-1	x	x	x	x	x	x	2.7 b	2.4 a	2.4 a *	x	x	x	2.7 b	2.4 a	2.4 a	0.1	0.032	*	
Spring wheat	haulms n m-2	247.6	258.1	277.9	-	-	-	-	-	-	x	x	x	389.2	404.3	410.0	8.8	0.241	ns	
Oats	n haulms m-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	274.9 a	361.3 b	334.3 b ***	274.9 a	361.3 b	334.3 b	8.1	0.0008	***	
Carrot	n carrots m-2	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	107.5	102.6	102.4	3.7	0.575	ns	
	gross yield; n carrots m-2	-	-	-	105.8	91.3	99.2	x	x	x	x	x	x	105.8	91.3	99.2	6.3	0.358	ns	
Wheat/faba bean		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-
CONVENTIONAL																				
Seed potatoes	gross yield; n tubers m ⁻²	-	-	-	61.1 a	65.4 a	70.3 b *	x	x	x	x	x	x	61.1 a	65.4 a	70.3 b	1.6	0.017	*	
Sugar beet	n plants m-2	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	8.3 b	7.1 a	7.1 a	0.3	0.001	***	
Spring barley	n haulms m-2	x	x	x	x	x	x	-	-	-	629	646	654	713	840	749	22.5	0.031	*	
Winter wheat	n haulms m-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-
Onion	gross yield; n bulbs m-2	71.8 b	61.9 a	65.4 a **	x	x	x	x	x	x	x	x	x	67.1 b	59.0 a	61.0 a	1.1	0.0009	***	

Aanvullende Tabel B.6. Grondtarra van suikerbieten (%) van de bruto opbrengst per jaar (2009-2018) in BASIS.

	CT	RTS	RT	sign.
2009	0.9 a	1.3 b	1.2 b	**
2010	x	x	x	
2011	x	x	x	
2012	2.7 a	4.7 b	4.0 b	*
2013	4.8 a	5.4 a	5.4 a	
2014	x	x	x	
2015	x	x	x	
2016	3.2	4.0	4.0	
2017	4.7 a	6.5 b	6.4 b	*
2018	x	x	x	
average	3.3 a	4.4 b	4.2 b	***

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

Rapport WPR-OT 993

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.
