



Economische verkenning strokenteelt met vaste rijpaden

SMARAGD - Werkpakket 1 - modellering

M.P.J. van der Voort | H.B. Schoorlemmer | J.A.L.M. Kamp | B. Veldhuisen & J. Booij



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Economische verkenning strokenteelt met vaste rijpaden

SMARAGD - Werkpakket 1 - modellering

M.P.J. van der Voort, H.B. Schoorlemmer, J.A.L.M. Kamp, B. Veldhuisen, J. Booij¹

¹ Wageningen University & Research

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

Wageningen, december 2020

Rapport WPR-850

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/533830>

In het SMARAGD-project is een economische verkenning uitgevoerd naar strokenteelt met lichtere mechanisatie. De verkenning is uitgevoerd voor drie verschillende scenario's, een referentie bedrijfsopzet (RTF) met uniforme percelen, een scenario met een onbereden bedbreedte van 1,50 meter en vaste rijpaden (CTF) en een scenario met een onbereden bedbreedte van 3,00 meter en vaste rijpaden (CTF). De twee scenario's met vaste rijpaden zijn beiden verkend met twee varianten. Een conservatieve variant met 5% meeropbrengst en 10% energiebesparing en een progressieve variant met 15% meeropbrengst en 20% energiebesparing. Uit de berekeningen blijkt dat de scenario's met vaste rijpaden economisch beter scoren dan het referentie (RTF) scenario. Dit met uitzondering van het conservatieve scenario voor 1,50 meter onbereden bedden.

Trefwoorden: verkenning, economie, onbereden beddenteelt, vaste rijpaden, SMARAGD

© 2020 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; www.wur.nl/plant-research

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

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

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

Rapport WPR-850

Foto omslag: Wageningen University & Research, BASIS, Fendt, Joost Rijk

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Introductie	7
	1.1 Achtergrond	7
	1.2 Introductie SMARAGD-project	7
	1.3 Modellerings strokenteelt met vaste rijpaden	8
	1.3.1 Achtergrond WP 1 - Modellerings	8
	1.3.2 Aanpak en doelverkenning	9
	1.3.3 Opzet van het rapport	9
2	Uitgangspunten bedrijfsopzet en bedrijfseconomische berekeningen	11
	2.1 Uitgangspunten bedrijfsopzet	11
	2.1.1 Oppervlakte effect vaste rijpaden	11
	2.1.2 Bouwplan en bedrijfsgrootte	13
	2.2 Uitgangspunten saldi en bewerkingen	13
	2.2.1 Uitgangspunten saldi	14
	2.2.2 Mechanisatie en loonwerk	14
	2.2.3 Arbeidskosten	15
3	Uitkomsten economische verkenning	17
	3.1 Brutogeldopbrengst en toegerekende kosten	17
	3.1.1 Brutogeldopbrengst	17
	3.1.2 Toegerekende kosten	17
	3.2 Effecten op diesilverbruik en arbeidsuren	18
	3.3 Effect op de arbeidskosten	19
	3.4 Effect op mechanisatiekosten	20
	3.5 Effect op bedrijfsniveau	20
	3.6 Analyse van de resultaten	21
4	Conclusie, discussie en aanbevelingen	23
	4.1 Discussie	23
	4.2 Conclusies	25
	4.3 Aanbevelingen	26
	Literatuur	27
	Bijlage 1 Gehanteerde mechanisatie	29

Samenvatting

Tijdens de voorbereiding van het SMARAGD-project werd met agrarisch bedrijfsleven, toeleveranciers, techniekbedrijven en kennisinstellingen verkend hoe en waar zware mechanisatie op akkerbouw-bedrijven vervangen zou kunnen worden door lichtere autonome systemen. De optie van teelt in stroken (al dan niet met mengteelten) op onbereden grond met vaste rijpaden werd voor de middellange termijn het meest perspectiefvol ingeschat. Het sluit het meest aan bij de huidige landbouwpraktijk en biedt oplossingen voor verschillende duurzaamheidsuitdagingen.

Een belangrijk vraagstuk daarbij ging over de dimensionering van dit systeem. Enerzijds is er bij vaste rijpaden sprake van verlies aan beteembare oppervlakte, anderzijds kan er een hogere opbrengst verwacht worden in de onbereden bedden. Dat resulteerde in vragen over de optimale breedte van de bedden. Dit rapport gaat in op deze vragen.

Voor het verkennen van de impact op de financiële bedrijfsresultaten van een vast rijpadensysteem op de bedrijfsvoering zijn drie verschillende bedrijfsopzetten gehanteerd.

1. Referentie bedrijf (RTF) – gangbare teeltwijze
 2. Vaste rijpaden (CTF) met teelt op 1,50 meter onbereden bedden – gangbare teeltwijze
 3. Vaste rijpaden (CTF) met teelt op 3,00 meter onbereden bedden – gangbare teeltwijze
- (RTF – Random Traffic = geen vaste rijpaden, CTF – Controlled Traffic = vaste rijpaden).

Uit internationale literatuur blijkt een opbrengststijging voor onbereden beddenteelt, maar cijfers voor de Nederlandse situatie zijn beperkt voor handen. Daarom zijn voor de beide scenario's met onbereden bedden twee varianten meegenomen. Dit is een conservatieve inschatting met 5% meeropbrengst en een progressieve met 15% meeropbrengst. Tevens is bepaald welke oppervlakteverlies wordt verwacht. In alle scenario's is dit voor kopakkers en perceelzijde gedaan. Vervolgens is het verlies aan beteembare oppervlakte berekend van de vaste rijpaden voor de 1,50 en 3,00 meter onbereden beddenteeltscenario's. Daarnaast zijn voor de onbereden beddenteeltscenario's de uitgangspunten voor de gehanteerde mechanisatie bepaald. Gekozen is voor mechanisatie die direct dan wel met beperkte aanpassingen is toe te passen waardoor de mechanisatie aansluit bij wat voor een akkerbouwer binnen bereik is en niet afhankelijk is van ontwikkelingen in autonome mechanisatie die de komende jaren te verwachten is. De keuzes in mechanisatie hebben invloed op de arbeids- en energiekosten. In teeltsystemen met vaste rijpaden blijkt uit literatuur een besparing in energieverbruik haalbaar. Per variant is daarom een besparing op het energieverbruik meegenomen: 10% voor de conservatieve variant en 20% voor de progressieve variant.

De modelberekeningen geven als resultaat dat beide scenario's met vaste rijpaden en 3,00 meter brede bedden economisch beter scoren dan het referentie (RTF) scenario. Bij de 2 scenario's met bedden van 1,50 meter scoort alleen de variant met de progressieve inschatting van de meeropbrengst beter dan het referentie scenario.

De aanpassingen in mechanisatie en dan met name in de werkbreedte en het hiervoor benodigde vermogen zorgen voor verschillen tussen de scenario's in energie-, arbeids- en mechanisatiekosten. De arbeidsbehoefte stijgt voor alle onbereden beddenteeltscenario's. De werkbreedte speelt hierbij de belangrijkste rol. Met name de 1,50 meter scenario's kennen een aanzienlijk hogere arbeidsbehoefte. De smallere werkbreedte zorgt wel voor een besparing op energiekosten. De smallere werkbreedte zorgt tevens voor lichtere en goedkopere mechanisatie. Hierdoor liggen de mechanisatiekosten voor de 1,50 meter scenario's lager dan de 3,00 meter scenario's. Maar door de hogere arbeidskosten scoren de 1,50 meter scenario's minder goed dan de 3,00 meter scenario's. Ook bij de 3,00 meter scenario's zijn de mechanisatiekosten lager dan het referentie (RTF) scenario.

Er is een wisselwerking tussen mechanisatie-, arbeids-, en energiekosten. De komst van nieuwe technieken maakt dat het economische resultaat opnieuw moeten worden verkend. In de aanbevelingen wordt gesteld dat aanvullend onderzoek naar robotisering, effecten op de bodem van niet berijden en de perspectieven van strokenteelt onder Nederlandse omstandigheden nodig is.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

In de akkerbouw is al jaren sprake van schaalvergroting. De steeds grotere en zwaardere mechanisatie begint haar tol te eisen: teruglopende bodemkwaliteit en -biodiversiteit, bodemverdichting, een toegenomen kwetsbaarheid en achterblijvende opbrengsten. Technologische ontwikkelingen bieden kansen om tot kleinschalige/slimmere oplossingen te komen, die de bodem sparen en arbeid besparen. Denk hierbij aan toepassing van meerdere autonome, kleinschalige en lichte voertuigen (swarms), rijpadensysteem, sensing technieken (o.a. onkruid- en ziekteherkenning) en plaats specifieke behandeling.

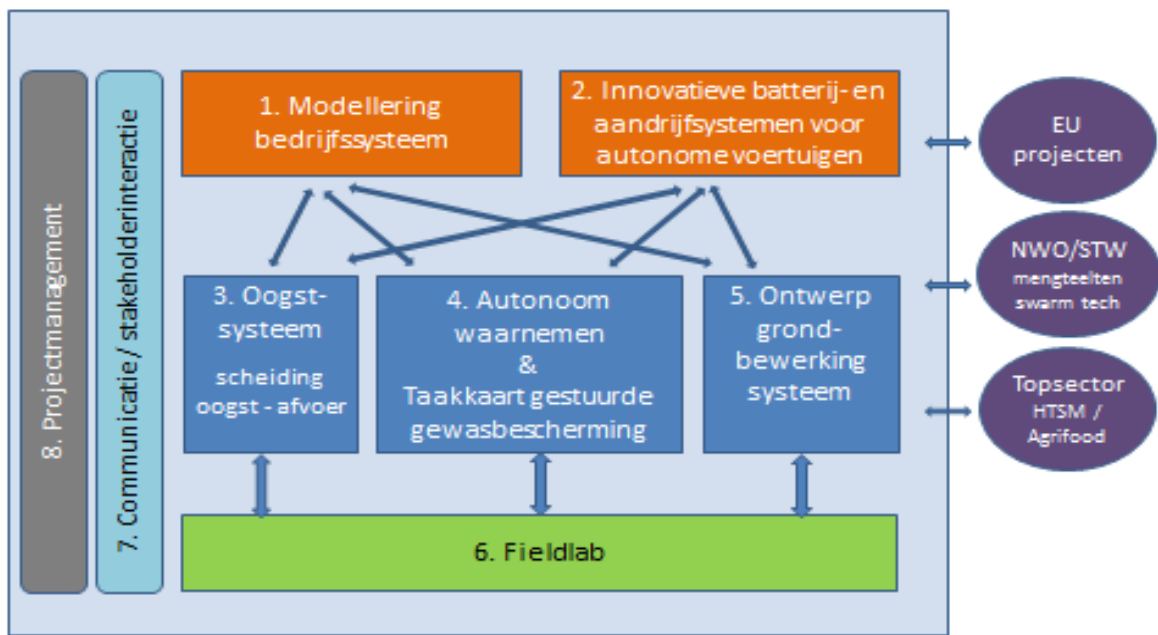
Een andere ontwikkeling is het gebruik van meng- en strokenteelten (mixed cropping). Bij meng- en strokenteelten wordt niet meer op één uniform perceel één enkel gewas geteeld, maar staan gewassen in stroken door elkaar op het perceel of tezamen in rijen op (bij voorkeur onbereden) bedden. De hierdoor verbeterde benutting van licht, water en mineralen en kansen voor ziekte- en plaagbeheersing leiden tot hogere opbrengsten. In een recente meta-analyse van de internationale literatuur door WUR (Wageningen University & Research) en INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) over intercropping komt een gemiddelde opbrengstverhoging naar voren van maar liefst 22% (Yu *et al.*, 2015).

De zoektocht in de PPS SMARAGD (Slimme Mechanisatie – Automatisering – Robotisering voor een Akkerbouw met Groei en Duurzaamheid) is de combinatie van de teelttechnische aanpassingen in combinatie met de eerdergenoemde kleinschalige lichte en autonome technologieontwikkeling. De combinatie van het fijnmazige in de teelt die toch toepasbaar is op grootschalige professionele akkerbouwbedrijven. Dit gericht op opbrengstverhoging, verlaging van milieuschade door gewasbeschermingsmiddelen, verbetering van nutriënten-efficiëntie, energiebesparing en arbeidsoptimalisatie.

1.2 Introductie SMARAGD-project

In het SMARAGD-project werken bedrijven en onderzoekers aan de ontwikkeling van hightech systemen, waarmee potentieel een nieuw landbouwconcept gerealiseerd kan worden. Dit concept moet een oplossing bieden voor de verslechtering van bodemkwaliteit en de kansen benutten die mixed cropping potentieel biedt. Het richt zich op de teelt van hoog salderende akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen waarin zware grootschalige mechanisatie vervangen wordt door lichte, autonome, innovatieve technologieën.

De werkpakketstructuur van SMARAGD is weergegeven in figuur 1 (www.smaragd-smartfarming.nl). Dit rapport is onderdeel van het werkpakket modellering. Naast modellering wordt gewerkt aan innovaties in elektrische aandrijfsystemen en batterijmanagementsystemen ten behoeve van autonome voertuigen, het ontwerpen en realiseren van een systeem voor de oogst binnen een rijpadensysteem, het ontwikkelen van autonoom waarnemen van onkruiden en ziekten, taakkaart gestuurde gewasbescherming en het ontwikkelen van een kerende grondbewerking passend binnen een rijpadensysteem. De prototypes en ontwikkelingen worden getest, geëvalueerd en doorontwikkeld onder praktijkomstandigheden in een Field Lab.



Figuur 1 Samenhang werkpakketten in SMARAGD.

1.3 Modellering strokenteelt met vaste rijpaden

1.3.1 Achtergrond WP 1 - Modellering

Het SMARAGD-project is het resultaat van het Seed Money Project Lasting Fields. In dit Seed Money Project werden met het agrarisch bedrijfsleven, toeleveranciers, techniekbedrijven en kennisinstellingen drie scenario's uitgewerkt voor een nieuw teeltsysteem waar zware mechanisatie vervangen zou kunnen worden door lichtere autonome systemen (Van der Voort *et al.*, 2017). De uitgewerkte scenario's voor de akkerbouw waren:

- teelt op grote uniforme percelen met lichtere mechanisatie;
- teelt in stroken (met mengteelten) waarbij vaste rijpaden worden gehanteerd;
- teelt waarbij er sprake is van individuele plantbehandeling.

De tweede variant werd voor de middellange termijn het meest perspectiefvol ingeschat om enerzijds in te spelen op verschillende duurzaamheidsontwikkelingen en anderzijds aansluiting te behouden met de ontwikkelingen in de praktijk.

Een belangrijk vraagstuk daarbij ging over de dimensionering van dit systeem. Enerzijds is er bij vaste rijpaden sprake van verlies aan beteelbare oppervlakte, anderzijds kan er een hogere opbrengst verwacht worden in de onbereide bedden. Dat resulteerde in vragen over de optimale breedte van de bedden. En hoe breed moeten de rijpaden zijn? Hoe zit het met de gewasvolgorde in plaats en tijd?

Wat is vervolgens de relatie met de gewichten en grootte van de te ontwerpen machines voor bijvoorbeeld de oogst. Deze vragen zijn in werkpakket 1 opgepakt door via modellering meer helderheid te krijgen in ontwerpcriteria van dit landbouwsysteem.

De resultaten van de modellering dienen als input voor de ontwerpen in de andere werkpakketten. In werkpakket 1 zijn tevens andere modelleringsstudies uitgevoerd met medewerking van studenten. Omdat die veel raakvlakken vertonen met het vraagstuk hoe oogst en transport bij mengteelten te organiseren, zullen die terugkomen in werkpakket 3, dat hier speciaal op gericht is. De resultaten van deze modelleringen zijn daarom niet in dit rapport opgenomen.

1.3.2 Aanpak en doelverkenning

In een modelmatige bedrijfsopzet wordt het bedrijfseconomische effect van een standaard (referentie) bedrijfsopzet met grote uniforme percelen vergeleken met twee varianten met strokenteelt op onbereden grond met vaste rijpaden. De varianten met vaste rijpaden zijn onderverdeeld in twee werkbreedtes, namelijk stroken van 1,50 meter en 3,00 meter. De breedtes betreft de breedte van de onbereden teeltbedden.

De 3,00 meter sluit aan bij de praktijkinitiatieven. Een praktijkinschatting is dat er in 2020 ongeveer 6 tot 10 akkerbouwbedrijven met vaste rijpaden zijn. Daarnaast wordt in het concept Lasting Fields (Steverink Techniek B.V., 2014) uit gegaan van 1,50 meter onbereden bedden die bewerkt zouden moeten worden met lichte autonome mechanisatie. In het concept Lasting Fields is door Steverink Techniek voor 1,50 meter bedden gekozen om de bodem te sparen én energie te besparen. Dit maakt inzet van kleinere, lichtere en energiezuinige mechanisatie beter mogelijk.

De gemodelleerde bedrijfsopzetten zijn dus:

- Een referentie bedrijfsopzet (grote percelen, geen vaste rijpaden);
- Een 1,50 meter onbereden beddenteelt bedrijfsopzet;
- Een 3,00 meter onbereden beddenteelt bedrijfsopzet.

De 2 systemen met onbereden bedden hebben vaste rijpaden tussen de bedden. Deze rijpaden worden niet beteeld.

De modelstudie is gericht op het helder krijgen van de bedrijfseconomische perspectieven waarbij per variant gekeken wordt naar verschillen in betaalbare oppervlakte, brutogeldopbrengst, toegerekende kosten, bewerkingskosten, arbeid en energiegebruik. Om aansluiting te houden met de reguliere praktijk is uitgegaan van een representatieve bedrijfsomvang en gewaskeuze.

1.3.3 Opzet van het rapport

Dit rapport bestaat uit twee hoofdonderdelen, namelijk als eerste de beschrijving van de bedrijfsopzet en gehanteerde uitgangspunten en als tweede onderdeel de uitkomsten van de doorrekening van de bedrijfsopzet.

In hoofdstuk twee zijn de gehanteerde uitgangspunten onderverdeeld in bedrijfsopzet en saldi en bewerkingen. In de bedrijfsopzet worden de gehanteerde oppervlaktes en de uitgangspunten met betrekking tot het verlies aan teeltoppervlakte van rijpaden benoemd. In de paragraaf saldi en bewerkingen worden de gehanteerde uitgangspunten met betrekking tot opbrengsten, teeltinputs en bewerkingen. Dit laatste betreft onder andere de gehanteerde mechanisatie.

In hoofdstuk drie zijn de economische resultaten uitgewerkt, dit op saldo- en bedrijfsniveau. Daarnaast is, naast economie, gekeken naar de verschillen tussen de bedrijfsopzetten in arbeidsinzet, energieverbruik en mechanisatie.

2 Uitgangspunten bedrijfsopzet en bedrijfseconomische berekeningen

Voor het verkennen van de impact van strokenteelt en een vast rijpadensysteem op de bedrijfsvoering zijn drie verschillende bedrijfsopzetten genomen.

1. Referentie bedrijf (RTF) – gangbare teeltwijze
 2. Vaste rijpaden (CTF) met teelt op 1,50 meter onbereden bedden – gangbare teeltwijze
 3. Vaste rijpaden (CTF) met teelt op 3,00 meter onbereden bedden – gangbare teeltwijze
- (RTF – Random Traffic = geen vaste rijpaden, CTF – Controlled Traffic = vaste rijpaden)

Onderstaand worden de uitgangspunten beschreven van het modelbedrijf met bouwplan en beteelbare oppervlakte, vervolgens wordt ingegaan op de uitgangspunten voor de saldi en bedrijfsbegroting van de 3 varianten.

2.1 Uitgangspunten bedrijfsopzet

Als standaard bedrijfsopzet is een representatief gangbare akkerbouwbedrijf in Flevoland als uitgangspunt gehanteerd. Het bouwplan met consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe, zaaiuien en winterpeen wordt geacht representatief te zijn voor Flevoland. De bedrijfsgrootte is gesteld op 112 hectare.

De methodiek voor de opzet van de saldo- en bedrijfsbegrotingen is gebaseerd op het bedrijfseconomisch advies en bedrijfsbegroten voor akkerbouw en tuinbouw (Janssens et al., 1989 en Schoorlemmer et al., 1997). De gehanteerde (financiële) gegevens zijn afkomstig van of gebaseerd op de Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenten 2018 (KWIN-AGV 2018).

2.1.1 Oppervlakte effect vaste rijpaden

2.1.1.1 Bepaling nettoperceelsoppervlakte

Twee van de drie gemodelleerde bedrijfsopzetten kennen vaste rijpaden. Door het permanent karakter van het rijpad is het rijpad als niet beteelbare oppervlakte meegenomen. Er ontstaat hierdoor een verschil in het netto beschikbare teeltoppervlakte per bedrijfsopzet. Voor de uitwerking van bruto- naar nettoteeltoppervlakte per bedrijfsopzet is gekozen voor eenzelfde startpunt voor elk bedrijfssysteem. Hiervoor is gekozen een kavel in Flevoland. Als uitgangspunt is kavel en meetkaart van kavel G104 genomen. De kavel heeft een bruto-oppervlakte van 28 hectare. In de praktijk is de kadastrale oppervlakte groter, maar dat betreft onder andere de sloten en slootkanten.

In alle drie de bedrijfsopzetten is rekening gehouden met kopakkers en perceelzijden. De grootte van de kopakkers is per scenario gelijk. De breedte van 6 meter is aangehouden voor de kopakker, ook wel wendakker genoemd. De keuze van de 6 meter hangt samen met de gemiddelde afstand achteras en rooierbek van een aardappelrooier. Voor de perceelzijde is de teeltvrije zone als uitgangspunt genomen. Bij gebruik van drift reducerende doppen is dat 1 meter. Verder is uitgegaan van teeltbedden over de breedte van de kavel.

Het hiermee samenhangende oppervlakte, van kopakker, perceelzijden, wordt in mindering gebracht op de beteelbare oppervlakte. Dit geeft een restant perceel of ook wel effectief beschikbaar voor de teelt van gewassen.

Voor een landbouwkavel in Flevoland geeft dit een volgend beeld:

Perceels- hoek	Kopakker/ wendakker	Perceels- hoek
Perceels- zijde	Restant perceel (effectief beschikbaar voor de teelt)	Perceels- zijde
Perceels- hoek	Kopakker/Wendakker	Perceels hoek

Figuur 2 Perceel en effectief beschikbaar voor de teelt.

Voor alle scenario's zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd voor perceelzijden, perceelhoeken en kopakkers, namelijk 6,00 meter kopakker en 1,00 meter perceelzijde. Alle scenario's komen hiermee op een gelijke 'restant perceel' voor de teelt van gewassen. Per kavel was 28 hectare bruto oppervlakte beschikbaar.

Scenario	Restant perceelgrootte (in ha)	% van bruto kavelgrootte
Alle scenario's	26,84	96%

De volgende stap is het berekenen van het verlies aan oppervlakte door de vaste rijpaden op dit effectief beschikbare teeltoppervlakte per kavel. Dit specifiek voor de scenario's met onbereden beddenteelt.

2.1.1.2 Bepaling netto-oppervlakte na aftrek vaste rijpaden

Een volgende stap, voor de scenario's met vaste rijpaden, is het bepalen van het oppervlakteverlies van de permanente rijpaden. Het gebruik van vaste rijpaden betekent een verdere vermindering van het 'restant perceel', oftewel het effectief beschikbare oppervlakte voor de teelt van gewassen. De breedte van het onbereden bed en de breedte van het benodigde spoor bepalen gezamenlijk het verlies in beteelbare oppervlakte. De onbereden bedbreedte ligt vast per opzet op 1,50 of 3,00 meter. Voor de breedte van het rijpad is aangesloten op de praktijk, BASIS (Broekemahoeve Applied Soil innovation Systems) en de ontwerpstudie van Boerderij van de Toekomst (Visser *et al.*, 2020). De rijpadensystemen in de praktijk zijn 3,15 meter. Dit betekent 3,00 meter onbereden bed en 0,15 cm aan rijpad. In deze studie is ditzelfde uitgangspunt gehanteerd voor beide rijpadensystemen. Dus zowel bij een bed van 3,00 meter, als een bed van 1,50 meter komt een rijpad van 15 cm. Dit leidt tot de volgende netto oppervlaktes na aftrek oppervlakte voor rijpaden.

Scenario	Restant perceelgrootte (in ha)	% van bruto kavelgrootte
1,50 meter	24,37	87%
3,00 meter	25,55	91%

De spoor-/bandbreedte leidt tot een lager teeltoppervlakte voor het 1,50 scenario. Dit is te verklaren door het extra aantal rijpaden van het systeem.

Tabel 1 Beteelbare oppervlaktes per kavel en per bedrijfsopzet per scenario.

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Beteelbare oppervlakte per kavel	26,84 ha	24,37 ha	25,55 ha
Totale beteelb. oppervlakte bedrijf	107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha

Een bedrijf met 4 kavels met een bruto-oppervlakte per kavel van 28 hectare komt op 112 hectare bruto-oppervlakte. Na aftrek van kopakkers en perceelzijden resteert 26,84 per kavel of 107,55 hectare per bedrijf. Dit is het netto beteelbare oppervlakte. Deze oppervlakte is het startpunt voor het referentie bedrijfsscenario. Voor de onbereden beddenteeltscenario's is een extra aftrek doorgerekend voor de vaste rijpaden. Hiermee komt het 1, 50 meter scenario op 97,46 hectare en het 3,00 meter scenario op 102,21 hectare netto teeltoppervlakte.

Er zijn variaties te maken in kopakker/wendakker en spoorbreedte. Het 1,50 meter systeem zou mogelijk toe kunnen met een smallere kopakker. Tevens zou bij het 3,00 meter systeem de spoor-/bandbreedte groter kunnen. Het machinegewicht en eventuele bunker inhoud zal mede bepalen welke bandbreedte nodig is om bodemverdichting te voorkomen. Toekomstige onderzoek zal onder andere in beeld moeten brengen of de gehanteerde spoorbreedtes passen bij de onbereden bedden scenario's.

2.1.2 Bouwplan en bedrijfsgrootte

Voor de beoordeling van de effecten van de twee rijpadensystemen ten opzichte van het referentie systeem is voor de drie scenario's een en hetzelfde bouwplan gehanteerd. In de opzet zijn de volgende gewassen opgenomen, inclusief het aandeel in het totale bouwplan.

1. Consumptie aardappelen 12,5%
2. Pootaardappelen 12,5%
3. Suikerbieten 25%
4. Wintergraan 25%
5. Zaaiuien 12,5%
6. Winterpeen (grove B-peen) 12,5%

Als basis zijn KWIN-AGV 2018 saldi gehanteerd voor de regio Centrale Zeeklei. De bedrijfsgrootte is gesteld op 4 bovengenoemde kavels van 28 hectare bruto oftewel totaal bruto 112 ha. Het effect van het nettoteeltoppervlakte en de aftrek aan vaste rijpaden geeft per gewas de onderstaande oppervlaktes.

Tabel 2 Oppervlaktes per gewas per scenario op basis van netto beteelbare oppervlakte.

	Aandeel	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Cons.aard.	12,5%	13.42 ha	12,18 ha	12,78 ha
Pootaard.	12,5%	13.42 ha	12,18 ha	12,78 ha
Suikerbieten	25%	26.84 ha	24,37 ha	23,01 ha
Wintertarwe	25%	26.84 ha	24,37 ha	23,01 ha
Zaaiuien	12,5%	13.42 ha	12,18 ha	12,78 ha
Winterpeen	12,5%	13.42 ha	12,18 ha	12,78 ha

2.2 Uitgangspunten saldi en bewerkingen

Voor de beoordeling van het effect van vaste rijpaden is gekozen dit voor bedrijfseconomie, arbeid en energie te verkennen. In het voortraject voor deze verkenning is wisselwerking tussen arbeid, energie en kosten reeds benoemd. De verkenning moet inzicht geven in de effecten op deze thema's.

2.2.1 Uitgangspunten saldi

De gehanteerde saldi zijn afkomstig uit de KWIN-AGV 2018. Per onderdeel wordt benoemd welke uitgangspunten zijn gehanteerd. Een aantal uitgangspunten wordt op het netto effectief beschikbare teeltoppervlakte berekend en een deel op het bruto beschikbare teeltoppervlakte.

In de modellering is vaste rijpaden met onbereden bedden als uitgangspunt gehanteerd. Strokenteelt is niet meegenomen. De reden hiervoor is dat in de praktijk er geen gangbare strokenteelt plaatsvindt. Er is daarom onvoldoende inzicht in meeropbrengsten en besparingen in bijvoorbeeld gewasbescherming voor de modellering.

2.2.1.1 Opbrengsten, prijzen en brutogeldopbrengst

De brutogeldopbrengst is bepaald op basis van betaalbare oppervlakte en het bouwplan. In Gasso *et al.* (2013) wordt een range van meeropbrengsten tussen de 4% en 14% voor bol- en knolgewassen benoemd. Voor graangewassen is de spreiding groter, zowel omlaag met -9% als omhoog 21% (Gasso *et al.*, 2013). De meeropbrengst wordt onder andere verklaard door het niet meer berijden van de bedden. Voor de specifieke Nederlandse context ontbreekt het aan goed onderbouwde informatie met op basis van meerjarige opbrengstmetingen voor de verschillende gewassen. In deze studie zijn daarom twee varianten door gerekend. Dit zijn een conservatieve en een progressieve variant, met respectievelijk 5% en 15% meeropbrengst.

2.2.1.2 Bemesting, gewasbescherming en overige inputs

De bemesting, gewasbescherming en overige teel gerelateerde inputs zijn bepaald op basis van netto betaalbare oppervlakte en bouwplan.

2.2.1.3 Energieverbruik

Het energieverbruik is gebaseerd op de bewerkingen welke tevens voor de KWIN-AGV 2018 worden gehanteerd. Per scenario wijken mechanisatie en werkbreedte af. De gehanteerde mechanisatie per scenario is in bijlage 1 weergegeven. De taaktijd en het benodigde vermogen (kW) per bewerking bepalen het energieverbruik. In de KWIN-AGV 2018 worden de IMAG-gegevens gehanteerd (N.N., 1973). Het energieverbruik is gerelateerd aan het oppervlakte restant perceel.

Op basis van praktijksignaleringen en Gasso *et al.* (2013) waarin tot 23% reductie aan energiebehoefte door onbereden beddenteelt wordt genoemd. In onderzoek in de jaren '70 en '80 bleek dat tot 15% tot 50% minder energie nodig was voor de grondbewerking (Vermeulen *et al.*, 1990). De verminderde rolweerstand in relatie tot de vaste rijpaden en betere bewerkbaarheid van de grond spelen hierbij een grote rol (Lamers *et al.*, 1986). Het energieverbruik is tevens in conservatief en progressief opgesplitst, in respectievelijk 10% en 20% lager energieverbruik.

De energiekosten zijn bepaald over het bruto perceeloppervlakte. De overweging hiervoor is de inschatting dat onbereden beddenteelt niet direct leidt tot minder bewegingen op het veld met mechanisatie. Verder onderzoek zal dit in de toekomst duidelijk moeten maken. Tevens zou berekening op basis van netto perceeloppervlakte tot een dubbelure in relatie tot het lagere energieverbruik van respectievelijk 10% en 20% kunnen leiden.

2.2.2 Mechanisatie en loonwerk

De mechanisatie is per scenario uitgewerkt (zie bijlage 1). Hierbij zijn de jaarkosten gebaseerd op de KWIN-AGV 2018. Voor het referentie scenario is op basis van expertkennis een representatieve passende mechanisatie opgesteld. Voor elk van de rijpadenscenario's is gekozen voor mechanisatie met een werkbreedte van 3 meter dan wel 1,50 meter afhankelijk van het scenario.

Voor de onbereden beddenteelt is gekozen voor bestaande mechanisatie die zoveel mogelijk past bij onbereden beddenteelt. Of er is voor mechanisatie gekozen welke met kleine aanpassingen past binnen een teeltsysteem op vaste rijpaden. Dit sluit aan bij een overgang van een referentie bedrijfsopzet naar een onbereden beddenteeltsysteem, zoals dat op korte termijn zou kunnen.

Er is mechanisatie in ontwikkeling, zoals autonome werktuigen, een voorloze ploeg en oogstsystemen, maar deze mechanisatie is niet meegenomen. Deze mechanisatie wordt op dit moment ontwikkeld of slechts ingezet in proeven en experimenten en is nog niet of nauwelijks beschikbaar voor de praktijk. Daarom is gekozen deze niet mee te nemen in de modelberekening.

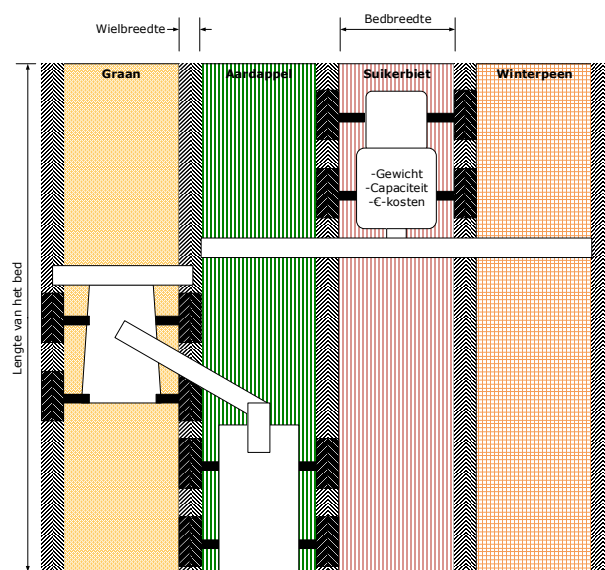
In Lasting Fields project, de voorloper van het SMARAGD-project, is oogst als knelpunt benoemd bij teeltsystemen met vaste rijpaden (Van der Voort *et al.*, 2017). Dit is meer uitgewerkt in het ontwerp van de Boerderij van de Toekomst (Visser *et al.*, 2020).

In figuur 3 wordt het knelpunt visueel weergegeven. In 3,00 meter onbereden beddenteelt is het bijrijden een knelpunt. De transportunit rijdt te veel naar achteren of er moet een grote afstand tot het volgende onbereden bed worden overbrugd. Dit knelpunt speelt met name bij gewassen met een groot volume per hectare, zoals aardappelen, uien en winterpeen. Voor de oogst van aardappels is gekozen voor bunkerrooiers. Voor zowel 1,50 en 3,00 meter is gekozen voor een twee-rijige bunkerrooier. Voor 3,00 meter betekent dit dat twee werkgangen nodig zijn om een onbereden bed van 3,00 te oogsten. Voor zaaiuien is gekozen voor een wagenrooier in het 1,50 meter scenario en een bunkerrooier voor het 3,00 meter scenario. De gekozen mechanisatie sluit hiermee aan bij de projecten Akker van de Toekomst en Boerderij van de Toekomst. Beide projecten hanteren een twee-faseoogst met een voorraadrooier en bunkerrooier, dit voor aardappelen en uien. Voor winterpeen zijn wel wagenrooiers gehanteerd.

Uit Visser *et al.* (2020) blijkt hier op dit moment nog geen passende oplossing voor te bestaan. Er zijn partijen die werken aan passende mechanisatie, maar die is nog in ontwikkeling. In geen van alle scenario's is loonwerk meegenomen. Alle werkzaamheden worden met eigen mechanisatie uitgevoerd. Dit om de scenario's voldoende vergelijkbaar te maken. De werkwijze sluit tevens aan op eerdere studies zoals de 'Bedrijfseconomische evaluatie van lagedruk-berijdingssysteem' (Janssens, 1991). Deze studie had tevens een onbereden beddenteeltsysteem scenario. Zover bekend wordt er in de huidige praktijk geen loonwerk aangeboden specifiek voor onbereden beddenteelt. De bewerkingen die in de KWIN-AGV 2018 per gewas als loonwerk zijn opgenomen, zijn in alle scenario's vervangen door gedeelde mechanisatie. Uitgangspunt hierbij was dat deze mechanisatie gedeeld wordt tussen ondernemers met rijpaden. Het zelf uitvoeren van bewerkingen die anders in loonwerk zouden plaatsvinden, een direct effect op de mechanisatiekosten op bedrijfsniveau. Om dit te ondervangen is gekozen de mechanisatiekosten voor deze werkzaamheden tegen de onderlinge verrekenprijzen van de KWIN-AGV 2018 op te nemen. Het toepassen van onderlinge verrekenprijzen verdeelt de mechanisatiekosten hiermee over de bedrijven op hectare of uur basis. De verrekenprijzen voor de mechanisatie en jaarkosten voor mechanisatie zijn opgenomen in de bijlage. Een belangrijke kanttekening bij deze aanpak is dat verondersteld wordt dat de mechanisatie altijd 100% wordt benut tegen de benutting per jaar in hectares of uren genoemd in de KWIN-AGV 2018.

2.2.3 Arbeidskosten

De arbeidskosten zijn uitgesplitst in teeltgerelateerde en bedrijfsgelateerde arbeidskosten. De arbeidsbehoefte voor de teelt is gebaseerd op de taaktijden van de bewerkingen. Deze gegevens zijn afkomstig van de KWIN-AGV 2018 database, gebaseerd op IMAG-gegevens (N.N., 1973). De taaktijd bestaat uit zuivere werktijd op het land, keren, potentiële stilstand en aan- en afrijdtijd. In de arbeidskosten op bedrijfsniveau is voor algemene uren gerekend met 400 basisuren per bedrijf en een toeslag van 5 uur per hectare. De toeslag van 5 uur per hectare is berekend op het bruto oppervlakte van 112 hectare. Dit op basis van de methodiek voor bedrijfsbegroten in de akkerbouw van Schoorlemmer *et al.* (1997). Dit betekent dat er additioneel per bedrijfsopzet een 960 uur nodig is. De arbeidskosten zijn gebaseerd op de CAO-Open Teelten. Uitgangspunt is een bedrijfshoofd en een vaste medewerker voor alle scenario's. De uren van de ondernemer en de arbeidskosten voor een 'allround medewerker' (functiegroep F) zijn beiden berekend. In alle scenario's is een tekort aan arbeid. Hiervoor wordt een hoogwaardige arbeidskracht op uurbasis ingehuurd à EUR 25,- per uur.



Figuur 3 Perceel en effectief beschikbaar voor de teelt.

3 Uitkomsten economische verkenning

Op basis van de uitgangspunten uit hoofdstuk 2 worden in dit hoofdstuk de belangrijkste economische uitkomsten van de modelberekening gepresenteerd. De resultaten zijn, zoals benoemd, uitgesplitst in conservatief en progressief. De resultaten zijn verdeeld over brutogeldopbrengst, energie, arbeid, mechanisatie en bedrijfsniveau. Hiermee worden specifieke effecten van de verkenning in beeld gebracht.

3.1 Brutogeldopbrengst en toegerekende kosten

3.1.1 Brutogeldopbrengst

De brutogeldopbrengst is bepaald op basis van beteelbare oppervlakte en bouwplan. Voor de beide onbereden beddenteelt varianten is voor alle gewassen een 5% (conservatief) en 15% (progressief) meeropbrengst gerekend door het telen op onbereden grond in de 2 rijpadenscenario's.

Tabel 3 Meeropbrengst, oppervlakte en brutogeldopbrengst op bedrijfsniveau per scenario.

Scenario	Meeropbrengst	Netto beteelbare oppervlakte	Brutogeldopbrengst
Referentie (RTF)	0%	107,55 ha	€ 639.400,-
1,50 mtr. conservatief	+5%	97,46 ha	€ 613.400,-
3,00 mtr. conservatief	+5%	102,21 ha	€ 643.300,-
1,50 mtr. progressief	+15%	97,46 ha	€ 671.820,-
3,00 mtr. progressief	+15%	102,21 ha	€ 704.565,-

De verkenning laat zien dat een 5% meeropbrengst voor het 3,00 meter variant met vaste rijpaden het verlies aan oppervlakte compenseert. Dit geldt niet voor het 1,50 meter systeem met vaste rijpaden. Bij een 15% toename in opbrengst scoren beide rijpadenvarianten 1,50 en 3,00 hoger als het referentie bedrijf. De terugval in netto beteelbare oppervlakte wordt dus in 3 van de vier scenario's gecompenseerd door de meeropbrengst op onbereden grond.

3.1.2 Toegerekende kosten

De toegerekende kosten zijn gerelateerd aan het netto beteelbare oppervlakte en het bouwplan. Dit met uitzondering van het energieverbruik. Voor beide vaste rijpaden scenario's is een potentiële besparing van brandstof meegenomen, van respectievelijk 10% bij conservatief en 20% bij progressief. Er is geen loonwerk opgenomen voor de scenario's. Daarom is alleen het saldo eigen mechanisatie opgenomen. De verschillen in bijvoorbeeld bemesting en gewasbescherming komen voort uit de verschillen in nettoperceeloppervlakte.

Tabel 4 Saldoberekening op bedrijfsniveau per scenario (5% meeropbrengst, 10% minder energie).

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte	107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Brutogeldopbrengst ¹	€ 639.400,-	€ 613.400,-	€ 643.300,-
Uitgangsmateriaal	€ 73.080,-	€ 66.725,-	€ 69.975,-
Bemesting	€ 31.815,-	€ 28.885,-	€ 30.295,-
Gewasbescherming	€ 51.750,-	€ 46.985,-	€ 49.275,-
Energie ²	€ 40.475,-	€ 33.225,-	€ 37.455,-
Overige grond- en hulpstoffen	€ 1.210,-	€ 1.095,-	€ 1.150,-
Afzetkosten	€ 43.440,-	€ 39.445,-	€ 41.365,-
Overige productgebonden kosten	€ 8.950,-	€ 8.130,-	€ 8.525,-
Toegerekende kosten	€ 250.720,-	€ 224.490,-	€ 238.040,-
Saldo Eigen Mechanisatie	€ 388.680,-	€ 388.910,-	€ 405.260,-

¹ Bij de brutogeldopbrengst is met een 5% meeropbrengst voor de onbereden beddenteelt scenario's gerekend.

² De energiekosten zijn gerelateerd aan het beteelbare oppervlakte. Voor energiekosten is gerekend met 10% reductie in kosten door betere berijdbaarheid paden.

Tabel 5 Saldoberekening op bedrijfsniveau per scenario (15% meeropbrengst, 20% minder energie).

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte	107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Brutogeldopbrengst ¹	€ 639.400,-	€ 671.820,-	€ 704.565,-
Uitgangsmateriaal	€ 73.080,-	€ 66.725,-	€ 69.975,-
Bemesting	€ 31.815,-	€ 28.885,-	€ 30.295,-
Gewasbescherming	€ 51.750,-	€ 46.985,-	€ 49.275,-
Energie ²	€ 40.475,-	€ 29.535,-	€ 33.290,-
Overige grond- en hulpstoffen	€ 1.210,-	€ 1.095,-	€ 1.150,-
Afzetkosten	€ 43.440,-	€ 39.445,-	€ 41.365,-
Overige productgebonden kosten	€ 8.950,-	€ 8.130,-	€ 8.525,-
Toegerekende kosten	€ 250.720,-	€ 220.800,-	€ 233.875,-
Saldo Eigen Mechanisatie	€ 388.680,-	€ 451.020,-	€ 470.690,-

¹ Bij de brutogeldopbrengst is met een 15% meeropbrengst voor de onbereden beddenteelt scenario's gerekend.

² De energiekosten zijn gerelateerd aan het beteelbare oppervlakte. Voor energiekosten is gerekend met 20% reductie in kosten door betere berijdbaarheid paden.

In de modelmatige verkenning scoort, op basis van saldo op bedrijfsniveau, het referentie scenario het slechtste van alle scenario's.

De toegerekende kosten zijn op basis van netto beteelbare oppervlakte bepaald. De toegerekende kosten vallen hierdoor lager uit. Een aspect wat dit versterkt zijn de lagere energiekosten.

3.2 Effecten op dieselverbruik en arbeidsuren

De energie- en arbeidsbehoefte per scenario is berekend. Het energieverbruik en de arbeidsbehoefte zijn gebaseerd op de taaktijden en energieverbruik van de mechanisatie per scenario. Deze gegevens zijn afkomstig van de KWIN-database, gebaseerd op IMAG-gegevens (N.N., 1973). De taaktijd bestaat uit zuivere werktijd op het land, keren, potentiële stilstand en aan- en afrijdtijd. Het energieverbruik vloeit voort uit de taaktijd en het benodigd vermogen voor de bewerking.

Tabel 6 *Energieverbruik en arbeidsbehoefte per scenario (5% meeropbrengst, 10% minder energie).*

Scenario		Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte		107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Energiebehoefte ¹	p/bedrijf	28.219 liter	22.480 liter	26.335 liter
	p/ha	263 liter	231 liter	258 liter
Arbeidsbehoefte ²	p/bedrijf	3.310 uur	4.045 uur	3.790 uur
	p/ha	31 uur	41 uur	37 uur

¹ De energiekosten zijn gerelateerd aan het beteelbare oppervlakte. Voor de energiekosten is gerekend met 10% reductie in kosten door betere berijdbaarheid paden.

² Arbeidsuren betreffen de uren gerelateerd aan de geteelde gewassen. Dit is exclusief de algemene bedrijfsuren.

Tabel 7 *Energieverbruik en arbeidsbehoefte per scenario (15% meeropbrengst, 20% minder energie).*

Scenario		Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte		107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Energiebehoefte ¹	p/bedrijf	28.219 liter	19.980 liter	23.410 liter
	p/ha	263 liter	205 liter	229 liter
Arbeidsbehoefte ²	p/bedrijf	3.310 uur	4.045 uur	3.790 uur
	p/ha	31 uur	41 uur	37 uur

¹ De energiekosten zijn gerelateerd aan het beteelbare oppervlakte. Voor de energiekosten is gerekend met 20% reductie in kosten door betere berijdbaarheid paden.

² Arbeidsuren betreffen de uren gerelateerd aan de geteelde gewassen. Dit is exclusief de algemene bedrijfsuren.

In geen van de scenario's is loonwerk opgenomen. Het energieverbruik en de arbeidsbehoefte liggen daardoor hoger als normaal in de praktijk. De energiebehoefte in onbereden beddenteeltsystemen is in alle scenario's lager als het referentie scenario. Zichtbaar in de cijfers wordt het verschil tussen 1,50 meter en 3,00 meter onbereden. De teelt op 3,00 meter bespaart arbeidsuren ten opzichte van 1,50 meter, maar heeft een hoger energieverbruik. De smallere werkbreedte van 1,50 meter zorgt voor lichtere mechanisatie en hierdoor is minder vermogen nodig. Minder vermogen vertaalt zich in een lager energieverbruik. Daar tegenover staat de extra tijd (taaktijd) welke nodig is voor de bewerking. Uit de berekeningen vertaalt dit zich, op bedrijfsniveau, in een lager energieverbruik met een hogere arbeidsbehoefte.

Voor beide onbereden teeltsystemen geldt een hogere arbeidsbehoefte ten opzichte van het referentie scenario.

3.3 Effect op de arbeidskosten

De arbeidsuren in 3.1.2 betreffen de uren gerelateerd aan de gewashandelingen. Voor de totale arbeidskosten zijn de algemene en de teeltgebonden uren meegenomen. De arbeidskosten zijn gebaseerd op de totale arbeidsuren. De arbeidsuren zijn voor conservatief en progressief gelijk. Er is daarom geen onderscheid gemaakt in de onderstaande tabel.

Tabel 8 *Arbeidskosten op bedrijfsniveau per scenario.*

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte	107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Algemene uren	960 uur	960 uur	960 uur
Teeltgebonden uren	3.310 uur	4.045 uur	3.790 uur
Totale arbeidsuren	4.270 uur	5.005 uur	4.750 uur
Arbeidskosten (per jaar)	€ 77.040,-	€ 95.335,-	€ 89.015,-

De uitwerking in de verkenning van arbeidsuren naar arbeidskosten geeft een beeld van het effect in arbeidskosten.

3.4 Effect op mechanisatiekosten

De mechanisatiekosten zijn per scenario uitgewerkt op basis van de bewerkingen. De mechanisatiekosten zijn nu bepaald op basis van vervangingswaarde en jaarkosten uit de KWIN-AGV 2018. Er is geen loonwerk opgenomen. De bewerkingen die hiervoor in de plaats zijn gekomen, zijn tegen onderlinge verrekenprijzen meegenomen. In de onderstaande tabel zijn de totale mechanisatiekosten opgenomen. De mechanisatiekosten zijn tevens uitgesplitst naar eigen mechanisatie en gedeelde mechanisatie met collega akkerbouwers.

Tabel 9 *Mechanisatiekosten op bedrijfsniveau per scenario.*

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte	107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Mechanisatiekosten (per jaar)	€ 121.910,-	€ 107.145,-	€ 117.870,-
Eigen mechanisatie	€ 85.440,-	€ 65.815,-	€ 82.100,-
Gedeelde mechanisatie	€ 36.470,-	€ 41.330,-	€ 35.765,-

De mechanisatiekosten voor 1,50 meter zijn lager als voor beide andere scenario's. De kleinschaligere mechanisatie heeft een lagere vervangingswaarde resulterend in lagere jaarkosten. De verschillen tussen het referentie scenario en het 3,00 meter scenario hangen samen met het verschil in gehanteerde mechanisatie per scenario.

De keuze van de mechanisatie heeft als neveneffect dat de benodigde tijd voor oogst toeneemt. Als voorbeeld is de oogst van consumptieaardappelen genomen. Hiervoor zijn alle gerelateerde teelthandelingen opgenomen. Dit betekent van loofklappen tot en met inschuren. Voor referentie scenario en het 1,50 scenario is beide een 1,5 meter twee-rijige bunkerrooier gehanteerd. Voor 3,00 meter is een twee-faseoogststelsel gehanteerd. De oogst in twee fasen zorgt voor een extra bewerking met voorraadrooien.

Tabel 10 *Effect mechanisatie op oogsttijd consumptieaardappelen per scenario.*

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Oppervlakte cons. aardappelen	13,42 ha	12,18 ha	12,78 ha
Arbeidsuren oogst aardappelen	220 uur	213 uur	226 uur
Arbeidsuren per hectare	16,40 uur	17,50 uur	17,70

De benodigde tijd per hectare laat zien dat voor onbereiden bedden extra tijd nodig is. In de verkenning is tevens een alternatieve variant in het referentie scenario doorgerekend. Het alternatief betreft een zelfrijdende rooier met een werkbreedte van 3,00 meter. Uit het alternatieve scenario blijkt dat hiermee de tijd daalt naar 207 uur en dus 15,42 uur per hectare. De capaciteit in mechanisatie voor de oogst stijgt hiermee. De beschikbare capaciteit is een aandachtspunt in de mechanisatiekeuze. Er is geen analyse uitgevoerd naar de relaties tussen capaciteit van de mechanisatie, werkbare dagen en gewichten van mechanisatie. Uit Hokke *et al.* (1978) blijkt dat het weer en de bodemgesteldheid, met name bodemvocht, bepalend zijn voor de werkbare dagen. De draagkracht van de bodem hangt samen met het gewicht van de mechanisatie. Het effect van kleinere en lichtere mechanisatie en inzet van vaste rijpaden vraagt daarom aanvullend onderzoek.

3.5 Effect op bedrijfsniveau

De laatste stap betreft het beoordelen van het resultaat op bedrijfsniveau. Het beeld hierop zou niet compleet zijn zonder grondkosten. De grondkosten kunnen sterk verschillen tussen bedrijven. Als uitgangspunt is gekozen om de pacht prijs 2018 van € 1.125,- per hectare te hanteren voor alle bedrijfsopzetten. Deze grondkosten zijn op het brutobedrijfsoppervlakte. Daarmee zijn de grondkosten voor alle scenario's gelijk.

Tabel 11 Resultaat op bedrijfsniveau per scenario (5% meeropbrengst, 10% minder energie).

Scenario	Referentie	1,50 mtr.	3,00 mtr.
Totale beteelb. oppervlakte	107,55 ha	97,46 ha	102,21 ha
Brutogeldopbrengst ¹	€ 639.400,-	€ 613.400,-	€ 643.300,-
Toegerekende kosten	€ 250.720,-	€ 224.490,-	€ 238.040,-
Loonwerkkosten	€ 0,-	€ 0,-	€ 0,-
Arbeidskosten	€ 77.040,-	€ 95.335,-	€ 89.015,-
Mechanisatiekosten	€ 121.910,-	€ 107.145,-	€ 117.870,-
Grondkosten	€ 126.325,-	€ 126.325,-	€ 126.325,-
Totale kosten	€ 575.995,-	€ 553.295,-	€ 571.250,-
Bedrijfseconomisch resultaat	€ 63.405,-	€ 60.105,-	€ 72.050,-

NB een aantal vaste en algemene kosten zijn niet meegenomen zoals kosten voor gebouwen, kavelpaden, etc. Het gaat hierbij om de kosten die niet variëren tussen de scenario's en dus geen invloed hebben op de onderlinge verschillen tussen deze scenario's.

Op bedrijfsniveau blijkt het 1,50 meter conservatieve onbereden beddenteeltscenario's minder te presteren als een huidige akkerbouwbedrijf van dezelfde omvang. Het 3,00 meter conservatieve scenario en de twee progressieve scenario's vallen wel beter uit dan het uitgangspunt.

3.6 Analyse van de resultaten

Met de brutogeldopbrengst van het referentie bedrijf als uitgangspunt valt op dat van alle varianten alleen het conservatieve 1,50 meter onbereden beddenteeltsysteem slechter scoort dan de referentiesituatie. Bij 5% meeropbrengst op de onbereden bedden wordt het verlies aan oppervlakte door het rijpad niet gecompenseerd bij een teeltstrook van 1,50 meter. In de varianten met 5% én 15% meeropbrengst bij 3,00 meter onbereden bedden wordt het verlies aan beteelbare oppervlakte ruimschoots gecompenseerd.

Het saldo eigen-mechanisatie op bedrijfsniveau ligt voor alle scenario's gelijk als of hoger dan de referentie bedrijf (RTF).

De bedrijfseconomische doorrekening voor het gehele bedrijf laat zien dat beide CTF-scenario's met vaste rijpaden en 3,00 meter brede bedden beter scoren dan het referentie (RTF) scenario. Ditzelfde geldt voor het scenario met 1,50 meter brede bedden en progressieve inschatting van meeropbrengst en energiebesparing. Het conservatieve scenario voor 1,50 meter onbereden beddenteelt scoort enigszins lager dan de uitgangssituatie. Het verlies aan teeltoppervlakte, de extra arbeid en de aanpassingen in mechanisatie zorgen voor stijgende kosten op bedrijfsniveau met lagere bruto-geldopbrengsten. De berekeningen laten zien dat, met uitzondering van 1,50 meter, de conservatieve inschatting van een opbrengststijging van 5% ruim voldoende is om op bedrijfsniveau financieel positief uit te komen.

4 Conclusie, discussie en aanbevelingen

4.1 Discussie

In de verkenning is de volledige bedrijfsopzet meegenomen. Op verschillende aspecten van het bedrijf zijn een aantal opvallende zaken te benoemen. Deze worden per thema bediscussieerd.

Teeltinputs

In deze studie is geen rekening gehouden met wijzigingen in bemesting, gewasbescherming, etc. door het telen op bedden met vaste rijpaden. In Gasso *et al.* (2013) worden besparingen voor bemesting en gewasbescherming van 1% tot 26% genoemd en voor uitgangsmateriaal 11% tot 36%. In deze verkenning zijn besparingen op bemesting en gewasbescherming niet meegenomen. De buitenlandse studie met andere teeltomstandigheden en andere gewassen maken het lastig de resultaten te vertalen naar een Nederlandse situatie. Het lijkt aannemelijk dat door betere mineralenbenutting en ziekte- en plaagbeheersing er bespaard kan worden op teeltinputs wat een groter voordeel zou kunnen betekenen voor onbereden beddenteelt.

Van Oort *et al.*, (2020) benoemt een lagere ziektedruk voor dezelfde gewassen in een mengteeltsysteem, omdat er minder ziektedruk is en naar verwachting een beter mineralenefficiëntie. Dit heeft ook effect op de economie van de teelt. De mengteelten betreft mengen van gewassen, intercropping, binnen dezelfde strook of veld. Dit veelal op stroken van bijvoorbeeld 25 centimeter.

Opbrengsteffecten

Aanvullend op het bovengenoemde laat een onbereden beddenteeltsystemen zich goed lenen voor strokenteelt. Uit onderzoek in bedrijfssystemen met strokenteelt wordt een opbrengststijging van 25% gerapporteerd (Yu *et al.*, 2015). De strokenteelt geeft een opbrengststijging. Dit aanvullend op de opbrengststijging van de onbereden bedden. Er is geen literatuur beschikbaar waarin het opbrengsteffect in het de strookbreedte is onderzocht.

Milieukundige voordelen

Deze verkenning belicht slechts één deel van de beoogde impact van onbereden beddenteelt, namelijk de economische. Diverse milieukundige voordelen zijn niet aan de orde gekomen. In verschillende studies worden verschillende voordelen van onbereden beddenteelt (CTF: Controlled Traffic Farming) benoemd. In Gasso *et al.* (2013) worden de volgende reducties benoemd: lachgas-emissie (21-45%), methaan-emissie (372-2100%, door CH₄ vastlegging in de bodem), waterafspoeling/-uitspoeling (27-42%), effecten van bemesting en gewasbescherming (1-26%), effect op uitgangsmateriaal (11-36%) en brandstof (23%). De wateruitspoeling, lachgas- en methaanemissies zijn relevante milieukundige aspecten die geen invloed hebben op de economische prestaties zolang er op deze emissies niet wordt afgerekend. Deze effecten dragen wel bij aan de duurzaamheid en zijn dus het perspectief van de akkerbouw in het algemeen.

Klimaatverandering

Dat het klimaat verandert, is inmiddels geen vraag meer. De intensivering van extreem weer is het meest opvallend en boeren krijgen steeds meer te maken met de gevolgen daarvan.

De klimaatscenario's van het KNMI laten niet alleen zien dat deze weersextremen intensiveren, maar dat ze ook verschuiven: zo neemt de kans op hittegolven (warm en droog) in de zomer toe (Klein Tank *et al.*, 2015). Verstand *et al.* (2020) geeft via risicoberekeningen voor Nederlandse akkerbouwbedrijven aan dat hittegolven, hevige regenval en warme winters de klimaatfactoren zijn die een grote impact hebben en die in de toekomstscenario's vaker voor gaan komen.

Brinkworth (2013) benoemt dat voor onbereden beddenteelt in Australië de verwachte meeropbrengst tussen de 10% en 15% ligt, maar onder droge omstandigheden stijgt deze naar 50% hogere opbrengsten. Het is te verwachten dat in Nederland door berekening dit verschil kleiner is. In verschillende literatuurbronnen wordt de verbeterde vochthuishouding genoemd. De verbeterde vochthuishouding kan daarmee een toegevoegde waarde worden in de toekomst. Hierdoor zouden teeltsystemen met rijpaden beter bestand zijn tegen droogte.

Dit zou betekenen dat onbereden beddenteelt niet alleen een meeropbrengst geeft, maar tevens een grotere opbrengstzekerheid. De schommelingen in opbrengst door bijvoorbeeld klimaatverandering worden verkleind.

Beteelbare oppervlakte

Voorafgaand aan deze verkenning bleek dat in veel literatuur niet of nauwelijks te herleiden is of onderzoeks- en proefresultaten zijn bepaald op het netto of het bruto beteelbare oppervlakte. In deze verkenning is daarom uitgebreid aandacht voor de bepaling van het netto beteelbare oppervlakte. Tijdens de berekeningen bleek onder ander dat het oppervlakteverlies een sterk effect heeft op de uitkomsten. Aanpassingen in bijvoorbeeld spoorbreedte van de vaste rijpaden werkt sterk door in het beteelbare oppervlakte. Dit heeft direct effect op de hoeveelheid geoogst producten en hiermee de brutogeldopbrengst.

De gekozen mechanisatie is gebaseerd op in de praktijk beschikbare machines. In diverse projecten wordt mechanisatie ontwikkeld die kleiner, lichter en wendbaarder is. Potentieel kan bijvoorbeeld de kopakker hierdoor kleiner worden, wat een gunstig effect heeft op het beteelbare oppervlakte. Met name voor het 1,50 meter scenario kan dit verbetering geven. Voor het 1,50 meter scenario is het eerste te verwachten dat kleinschaligere en wendbare mechanisatie zijn intrede doet.

De breedte van het spoor is in beide onbereden beddenteeltscenario's 15 centimeter. In de praktijk zijn de banden breder, gemiddeld 30 centimeter. Dit heeft effect op de randen van het onbereden bed. Het effect op het beteelbare oppervlakte en met name de gewasopbrengst is onvoldoende bekend uit de literatuur. Het is wel een aspect om rekening met te houden.

Mechanisatie

De hier gekozen scenario's passen bij de doelen van het SMARAGD-project, namelijk de ontwikkeling van kleine, lichte en autonome mechanisatie om bodemverdichting te voorkomen. Er is gekozen voor de mechanisatie passend bij onbereden beddenteelt of mechanisatie die met zeer beperkte aanpassingen geschikt te maken is. Er zijn daarnaast verschillende oplossingen in ontwikkeling. Een aantal benoemde knelpunten, zoals ploegen en de oogst en transport in een beddenteeltsysteem zijn mogelijk binnen enkele jaren opgelost. Dan ontstaat een volledig onbereden bed. Dit zal een verbetering van de bodemkwaliteit met zich meebrengen. Een betere bodemkwaliteit vertaalt zich in betere opbrengsten.

De keuze van de mechanisatie is tevens sterk bepalend voor de resultaten. De mechanisatiekosten zijn een aanzienlijk deel van de totale kosten (tussen de 19% en 21%). Een opvallende uitkomst is dat mechanisatie voor 1,50 meter aanzienlijk goedkoper is ten opzichte van 3,00 meter mechanisatie. De mechanisatie heeft een direct verband met arbeidskosten en energieverbruik. Zolang er nog geen sprake is van een autonome oplossing geldt dat bij grotere mechanisatie de arbeidskosten dalen en het energieverbruik stijgt.

In de verkenning is gekozen voor in de praktijk beschikbare mechanisatie. Voor een aantal gewassen, onder andere winterpeen, is de mechanisatie niet passend voor vaste rijpaden. Door een aantal partijen wordt gewerkt aan nieuwe passende mechanisatie. In de verkenning is daarom voor de aardappeloogst op 3,00 meter gekozen voor het oogststelsel van Akker van de Toekomst en Boerderij van de Toekomst. De beide projecten werken samen met het voorraadrooien van aardappels en vervolgens het opladen met een twee-rijige bunkerrooier. In een verkenning bleek dit goedkoper dan een zelfrijdende vier-rijige bunkerrooier. In werkpakket 3 van het SMARAGD-project zijn een aantal aardappeloogstmethodes onderling vergeleken (Dalfsen *et al.* (in prep.)).

Robotisering leidt tot andere uitkomsten. De arbeidskosten vervallen voor een deel door robotisering. Daarnaast is nog niet bekend wat er met de mechanisatiekosten gebeurt. De arbeids- en mechanisatiekosten spelen een grote rol in de uitkomsten. Met deze nieuwe ontwikkelingen blijven verkenningen in de toekomst relevant, om onder andere de effecten op arbeids- en mechanisatiekosten te bepalen. Met name de 1,50 meter scenario's kunnen hiervan profiteren. In deze scenario's liggen de arbeidskosten hoger door de kleinere mechanisatie.

Voor mechanisatie in het 3,00 meter scenario speelt tevens dat vervoer over de weg een knelpunt kan zijn. Op basis van de (Europese) Wegenverkeerswet is het te verwachten dat alle mechanisatie binnen 2,25 meter breedte moet blijven (Visser *et al.*, 2020).

Bodem

In de gangbare of referentie akkerbouw is er nauwelijks meer sprake van opbrengststijging. Er zijn in de praktijk signalen die een opbrengstdaling in verband brengen met toenemende bodemverdichting. Van den Akker *et al.* (2013) geeft aan dat bij een groot deel van de landbouwgrond het risico op ondergrondverdichting matig tot groot is. Brus *et al.* (2018) geeft aan dat 43% van de landbouwgrond is verdicht. Deze studie geeft tevens aan dat gangbare wiellasten tevens ondergrondverdichting geven dieper als 40 cm (Brus *et al.*, 2018). De bodemverdichting wordt dus mede veroorzaakt door grote en zware mechanisatie. Brus *et al.* (2018) benoemt dat berijden van slechts een deel van het perceel ondergrondverdichting kan beperken. In de praktijk geeft dit voor onbereden beddenteelt een beter perspectief. Uit Brus *et al.* (2018) blijkt tevens het natuurlijk herstel tijd vraagt. Op basis van Håkansson *et al.* (1994) wordt gesteld dat herstel van de bovengrond tot een diepte van 40 cm een periode van 10 jaar vergt. Håkansson *et al.* (1994) geeft tevens aan dat verdichting in diepere grondlagen dieper dan 50 cm zich niet meer herstelt.

Zoals eerder benoemd blijkt uit onderzoek in de jaren '70 en '80 dat 15% tot 50% minder energie nodig was voor de grondbewerking (Vermeulen *et al.*, 1990). De verminderde rolweerstand in relatie tot de vaste rijpaden en betere bewerkbaarheid van de grond spelen hierbij een grote rol (Lamers *et al.*, 1986). Een punt van aandacht is de ondergrondse dijkvorming. Er zijn signalen uit de praktijk dat de dijkvorming diep in de bodem doorwerkt. Wat potentieel tot nadelige effecten kan leiden. In de praktijk wordt bij hevige regenval verschil in bedden met en zonder drainage gesignaleerd. Een ander nadeel dat in de praktijk wordt gesignaleerd is dat wanneer de trekker naast het rijpad raakt, de trekker direct ver wegzakt in het bed.

4.2 Conclusies

De modelstudie is gericht op het helder krijgen van de bedrijfseconomische perspectieven van onbereden beddenteelt en de dimensionering hiervan (1,50 en 3,00 meter onbereden bedden). Waarbij per variant gekeken wordt naar verschillen in het beteelbare oppervlakte, de bruto-geldopbrengst, de toegerekende kosten, de bewerkingskosten, arbeid en energiegebruik en het bedrijfsresultaat.

Financieel resultaat

Een belangrijke vraag in het onderzoek was of het lagere beteelbare oppervlakte kan worden gecompenseerd door de meeropbrengsten van onbereden beddenteelt.

Uit de economische verkenning blijkt dat omschakeling naar een 3,00 meter onbereden beddenteeltsysteem in alle varianten financieel aantrekkelijk is. In het conservatieve scenario is 5% meeropbrengst en 10% energiebesparing voldoende om het verlies in beteelbare oppervlakte door de vaste rijpaden op te vangen. In het progressieve scenario met 15% meeropbrengst en 20% energiebesparing is dit ruimschoot het geval.

Voor de 1,50 meter scenario's ligt dit genuanceerder. In het conservatieve scenario is 5% meeropbrengst en 10% energiebesparing onvoldoende om het verlies in beteelbare oppervlakte door de vaste rijpaden op te vangen. Hiermee is dit het enige scenario wat niet financieel beter scoort als referentie (RTF). In het progressieve scenario met 15% meeropbrengst en 20% energiebesparing is er wel sprake van een positief financieel verschil ten opzichte van de uitgangssituatie.

Geconcludeerd kan worden dat het wegvallen van teeltoppervlakte aan vaste rijpaden gecompenseerd wordt door de meeropbrengst. Dit met uitzondering van het conservatieve scenario voor 1,50 meter onbereden bedden.

Energie, arbeid en mechanisatie

De aanpassingen in mechanisatie en dan met name in de werkbreedte en het hiervoor benodigde vermogen zorgt voor verschillen tussen de scenario's in energie-, arbeids- en mechanisatiekosten.

Deze drie aspecten hangen nauw met elkaar samen en worden gecombineerd in deze conclusie.

De arbeidsbehoefte stijgt voor alle onbereden beddenteeltscenario's. De werkbreedte speelt hierbij de belangrijkste rol. Met name de 1,50 meter scenario's kennen een aanzienlijk hogere arbeidsbehoefte.

De geringere werkbreedte zorgt wel voor een besparing op energiekosten. Wat wordt versterkt door 10% en 20% besparing op energie voor respectievelijk het conservatieve en het progressieve scenario.

De mechanisatiekosten hangen hier tevens mee samen. De beperktere werkbreedte zorgt voor lichtere en tevens goedkopere mechanisatie. Oftewel de mechanisatiekosten voor de 1,50 meter scenario's liggen lager dan de 3,00 meter scenario's. De 3,00 meter scenario's liggen lager qua mechanisatiekosten dan het referentie (RTF) scenario. De effecten in de arbeids- en mechanisatiekosten wegen sterker dan de energiekosten. Dit door het grotere aandeel in de totale kosten. De verandering in arbeidskosten is groter dan de verandering in mechanisatiekosten. Hierdoor scoren de 1,50 meter scenario's minder goed dan de 3,00 meter scenario's.

4.3 Aanbevelingen

Onderzoek naar de termijn waarop de opbrengstverbetering behaald wordt

Op basis van deze verkenning zijn een aantal aanbevelingen te formuleren. Het verbeteren van de opbrengst is daarbij een belangrijk aspect. De opbrengst moet stijgen om het verlies van rijpaden te compenseren. Hierbij spelen twee aspecten een rol. Allereerst de vraag hoe lang het duurt voordat de aanpassing van het systeem leidt tot verbetering van de bodemstructuur en aansluitend tot een beter opbrengend vermogen. Uit literatuur blijkt dat dit tot 10 jaar kan duren. De omschakeling naar onbereden bedden met vaste rijpaden zou onderzocht moeten worden op langetermijneffecten. Naast de termijn zou tevens de mate van de opbrengstverbetering bepaald moeten worden. Dergelijk onderzoek zou bij voorkeur ook andere effecten in bodemkwaliteit moeten meenemen. Om bijvoorbeeld de genoemde milieukundige voordelen tevens helder te krijgen.

Onderzoek naar effect strokenteelt op verlaging inputs of zonder vaste rijpaden

In de verkenning is uitgegaan van vaste rijpaden. Potentieel zou met kleinere en lichtere mechanisatie bijvoorbeeld strokenteelt zonder vaste rijpaden mogelijk kunnen worden. In de discussie is aangegeven dat vast rijpaden zich goed lenen voor strokenteelt. De strokenteelt biedt ecologische voordelen. Verschillende studies naar onbereden beddenteelt en strokenteelt benoemen milieukundige en ecologische voordelen. Het combineren van beide maakt potentieel het teeltsysteem robuuster. De 20-75% lagere ziektedruk welke in biologische teeltsystemen wordt waargenomen, zou in gangbare teeltsystemen tevens tot een lagere ziektedruk leiden. Hierdoor kan mogelijk op gewasbescherming worden bespaard en zou mogelijk de opbrengstzekerheid stijgen. Deze effecten zouden tevens elkaar kunnen versterken. Er is nog weinig onderzoek, onder Nederlandse omstandigheden, naar de effecten van strokenteelt in gangbare bedrijfssystemen. Hiervoor geldt tevens de aanbeveling voor meer langjarig onderzoek naar strokenteelt, zowel in biologisch als gangbare teeltsystemen.

Verken de invloed van de mechanisatie keuze en autonome toepassingen

Een andere aanbeveling hangt samen met de conclusie voor de mechanisatie, het energieverbruik en de arbeidsbehoefte. De keuze van mechanisatie blijkt kritisch in de uitkomsten per scenario. Een goede keuze biedt economische voordelen. De capaciteit loopt in veel gevallen terug. Onderzoek naar werkbare dagen in relatie tot klimaatverandering en tevens naar werkbare dagen in rijpadensystemen zijn aan te bevelen. Dit om meer inzicht te krijgen in de samenhangende elementen die een rol spelen in de keuzes van de mechanisatie.

Het vergaande automatiseren, ofwel robotisering, verlaagt de arbeidskosten. Uit deze verkenning blijkt dat kleinschalige mechanisatie zorgt voor extra arbeidskosten. De robotisering is daarom nodig om het potentieel van kleine, lichte en energiezuinige mechanisatie te realiseren. De combinatie van arbeids-, energie- en mechanisatiekosten zullen in dat geval in samenhang moeten worden beoordeeld. Meer onderzoek naar robotisering van bewerkingen en pilots hiermee in de praktijk zijn daarom aan te bevelen.

Literatuur

- Akker, J.J.H. van den, Vries, F. de, Vermeulen, G.D., Hack-ten Broeke, M.J.D., Schouten, T., 2013, Risico op ondergrond verdichting in het landelijk gebied in kaart, Alterra-rapport 2409, Alterra, Wageningen University & Research.
- Ablas, J., 1990, De invloed van een berijdingssysteem met lagedrukbanden op de gewasopbrengst, Proefstation voor akkerbouw en groenteteelt in de vollegrond, Lelystad
- Brinkworth, B., 2013, Lessons from Australia on Controlled Traffic Farming, Meristem Land & Science, January 2013
- Brus, D.J., Akker, J.J.H. van den, 2018, How serious a problem is subsoil compaction in the Netherlands? A survey based on probability sampling, *Soil*, no. 4, p. 37-45, February 2018
- Dalfsen, P., Booij, J., Voort, M. van der, 't Ooster, B. van, Veldhuizen, B., Nieuwenhuizen, A., Kamp, J., in prep. Modelling potato harvester, Design parameters for lightweight, autonomous potato harvest strategies by means of model experiments, Wageningen University & Research, in preparation.
- Gasso, V., Sørensen, C.A.G., Oudshoorn, F.W., Green, O., 2013, Controlled Traffic Farming: A review of the environmental impacts, Aarhus University, *European Journal of Agronomy*, no. 48, p. 66-73
- Håkansson, I., Reeder, R.C., 1994, Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response, *Soil & Tillage Research*, no. 29, p. 277-304, 1994
- Hokke, G., Tanis, T., 1978, Onderzoek naar werkbare dagen voor veldwerkzaamheden op akkerbouw-bedrijven, Instituut voor mechanisatie, arbeid en gebouwen (IMAG), publicatie nummer 109
- Janssens, S.R.M., 1991, Rentabiliteit van een verminderde bodembelasting, bedrijfseconomische evaluatie van een lagedruk-berijdingssysteem, PAGV Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Verslag nr. 127, juli 1991
- Janssens, S.R.M., Krikke, A.T., 1989, Bedrijfseconomisch advies, Achtergrondinformatie en – documentatie bij de spreadsheettoepassingen voor de akkerbouw en groenteteelt in de vollegrond, Proefstation voor akkerbouw en groenteteelt in de vollegrond, Lelystad
- Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., van den Hurk, B., Lenderink, G., 2015, KNMI 2015: KNMI'14 - klimaatscenario's voor Nederland, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), De Bilt, 34 pp.
- KWIN 2018, Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt, 2018, Wageningen University & Research, business unit Open Teelten, publicatienummer 776, ISSN 1571-3059
- Lamers J.G., Perdok U.D., Lumkes L.M., Klooster J.J., 1986, Controlled traffic farming in the Netherlands, *Soil & Tillage Research* 8, 1986, p 65-76
- Meeteren, M.D., Korevaar, H., 2010, Klimaat en Landbouw, Risico's en kansen, Rapportage Vooronderzoek Klimaatadaptatie en Agrobiodiversiteit, Aequator Groen & Ruimte B.V.
- N.N., 1973, Taaktijden voor de Landbouw, deel 2, Uitgave IMAG-Wageningen
- Oort, P.A.J. van, Gou, F., Stomph, T.J., Werf, W. van der, 2020, Effects of strip width on yields in relay-strip intercropping: A simulation study, *European Journal of Agronomy*, 112 (2020), 125936
- Schoorlemmer, Ir. H.B., Krikke, drs. A.T., 1997, Bedrijfsbegroten in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt, Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, publicatie nr. 84, september 1997
- Steверink Techniek B.V., Publicatie van het nieuwe landbouwsysteem Lasting Fields, 11 maart 2014
- Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., de Wolf, P., van Balen, D., Verhagen, J., 2020, Klimaatadaptatie in de open teelten. Inventarisatie van klimaatrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven in de open teelten. Wageningen Research, rapport WPR-824
- Visser, C. de, Sukkel, W., Kempenaar, C. Wal, T. van der, Wolf, P. de, Visser, A., Smit, B., Schoorlemmer, H., Schoutsen, M. Klompe, K., Veldhuisen, B., Selin-Noren, I., Dijk, C. van, Hol, S., Voort, M. van der, Janssens, B., 2020. Ontwerp Boerderij van de Toekomst; ontwerp. Wageningen Research, Rapport WPR-823

-
- Voort, M.P.J. van der, Schoorlemmer, H.B., Kamp, J.A.L.M., 2017, Grootschalige landbouw met kleinschalige mechanisatie, Uitwerking Seed Money Project Lasting Fields, Wageningen Research, Praktijkonderzoek AGV, Vertrouwelijk rapport, Lelystad, januari 2017
- Werf, W. van der, Li, C., Cong, W. F., Zhang, F., 2020, Intercropping enables a sustainable intensification of agriculture, *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, no. 7(3), p. 254-256
- Yu, Y., Stomph, T.J., Makowski, D., van der Werf, W., 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crops Research* 184, p. 133–144.

Bijlage 1 Gehanteerde mechanisatie

Mechanisatie referentie scenario	Jaarlijkse kosten o.b.v. vervangingswaarde
4wd trekker, 100-120 kW	€ 13,358
4wd trekker, 70-80 kW	€ 7,398
4wd trekker, 50-60 kW	€ 6,165
Forklift truck, 3 ton	€ 2,836
Wentelploeg, 2,40m (6-sch), hydr.verst.snijbreedte	€ 3,749
Cultivator vaste tand met rol, 3,00m	€ 759
rotorkoep, 3.00 mtr	€ 2,211
Hakenvrees, 3.00 mtr	€ 1,704
Schoffelbalk, 3 mtr	€ 702
Zaaibedcombinatie gedragen 3,00m	€ 612
veldspuit, trailed, 3.200 ltr, 36.00 mtr	€ 6,552
snarenpootmachine (4-rijig),	€ 5,325
kipper, 12 ton, hydr. Tandem as	€ 1,850
kipper, 12 ton, hydr. Tandem as	€ 1,850
Bunkerrooier, 2-rijig	€ 18,717
zaaimachine mechanisch, 3.00 mtr	€ 885
centrifugaalstrooier gedragen, 12-24 mtr, 1800 ltr	€ 959
Haspelinstallatie, 110 mm/300mtr, 80 m3/h	€ 6,000
Loofklapper, front, 3,00mtr	€ 2,592
Stortbunker, 2.00 mtr	€ 5,558
transporteur telescopisch, 2x6 mtr	€ 1,458
Hallenvuller, 14.50 mtr	€ 4,095
mengmesttank, 16m3, tandem as	€ 5,343
Voorraadrooier, 1.50mtr (onions)	€ 2,573
Wagenrooier, 1.50 mtr, (onions+potatoes)	€ 17,430
Loofklapper, front, 1.50 mtr (uien)	€ 1,920
Granulaatstrooier	€ 2,329
Ronde balen pers, 1.80 mtr	€ 6,035
Landbouwwagen 3-asser tandem	€ 1,153
Gedeelde mechanisatie	Verrekenprijs per ha
Combine, maaidorser (120-150 kW), 3.6-7.5 mtr	€ 132
Zelfrijdende bieterrooier, 6-rijig	€ 531
Bunkerrooier, getr., 2-rijig	€ 165
Voorraadrooier, 1.50mtr (uien)	€ 55
Wagenrooier, 1.50 mtr, (uien)	€ 370
Loofklapper, front, 1.50 mtr (uien)	€ 55
Peen klembandrooier getrokken, afvoerband, 2-rijig	€ 162
Peen kistenwagen	€ 54
Ronde balen pers	€ 108
zaaimachine pneumatisch 1.000ltr, 3.00 mtr	€ 39

Mechanisatie 1,50 meter scenario	Jaarlijkse kosten o.b.v. vervangingswaarde
4wd trekker, 80-100 kW	€ 10,412.00
4wd trekker, 50-60 kW	€ 6,165.00
2wd trekker, 34-46 kW	€ 3,356.50
Vorkheftruck (elektrisch 3500 kg)	€ 2,835.50
Wentelploeg, 1,60m (4-sch), hydr.verst.snijbreedte	€ 2,572.50
Cultivator vaste tand met rol, 3,00m	€ 789.75
rotorkoep, 1.50 mtr	€ 1,419.00
Hakenvrees, 1.50 mtr	€ 1,100.50
Schoffelbalk, 1.5 mtr	€ 517.50
Zaaibedcombinatie gedragen 1,50m	€ 459.00
veldspuit, trailed, 3.200 ltr, 24.00 mtr	€ 3,334.50
snarenpootmachine (2-rijig), getrokken	€ 4,437.50
kipper, 10 ton, hydr. Tandem as	€ 1,695.40
kipper, 10 ton, hydr. Tandem as	€ 1,695.40
zaaimachine mechanisch, 3.00 mtr	€ 663.00
centrifugaalstrooier gedragen, 12-24 mtr, 1600 ltr	€ 959.00
Haspelinstallatie, 110 mm/300mtr, 80 m3/h	€ 6,000.00
Loofklapper, front, 1,50mtr	€ 1,920.00
Stortbunker, 2.00 mtr	€ 5,557.50
transporteur telescopisch, 2x6 mtr	€ 1,458.00
Hallenvuller, 14.50 mtr	€ 4,095.00
mengmesttank, 12m3, tandem as	€ 3,219.50
Landbouwwagen 3-asser tandem	€ 1,152.75
Gedeelde mechanisatie	Verrekenprijs per ha
Combine, maaidorser (120-150 kW), 3.6-7.5 mtr	€ 197
Bunkerrooier, getr., 2-rijig	€ 165
Voorraadrooier, 1.50mtr (onions)	€ 68
Wagenrooier, 1.50 mtr, (onions)	€ 462
Loofklapper, front, 1.50 mtr (uien)	€ 51
Edenhall 753 bietenrooier 3-rijig	€ 606
Peen klembandrooier getrokken, afvoerband, 2-rijig	€ 130
Peen kistenwagen	€ 54
Ronde balen pers	€ 162
zaaimachine pneumatisch 1.000ltr, 3.00 mtr	€ 28

Mechanisatie 3,00 meter scenario	Jaarlijkse kosten o.b.v. vervangingswaarde
4wd trekker, 100-120 kW	€ 13,357.50
4wd trekker, 70-80 kW	€ 7,398.00
4wd trekker, 50-60 kW	€ 6,165.00
Forklift truck, 3 ton	€ 2,835.50
Wentelploeg, 2,40m (6-sch), hydr.verst.snijbreedte	€ 3,748.50
Cultivator vaste tand met rol, 3,00m	€ 789.75
rotorkoep, 3.00 mtr	€ 2,211.00
Hakenvrees, 3.00 mtr	€ 1,704.00
Schoffelbalk, 3 mtr	€ 690.00
Zaaibedcombinatie gedragen 3,00m	€ 612.00
veldspuit, trailed, 3.200 ltr, 36.00 mtr	€ 6,552.00
snarenpootmachine (4-rijig),	€ 5,325.00
kipper, 12 ton, hydr. Tandem as	€ 1,849.75
kipper, 12 ton, hydr. Tandem as	€ 1,849.75
zaaimachine mechanisch, 3.00 mtr	€ 884.85
centrifugaalstrooier gedragen, 12-24 mtr, 1800 ltr	€ 959.00
Haspelinstallatie, 110 mm/300mtr, 80 m3/h	€ 6,000.00
Loofklapper, front, 3,00mtr	€ 2,592.00
Stortbunker, 2.00 mtr	€ 5,557.50
transporteur telescopisch, 2x6 mtr	€ 1,458.00
Hallenvuller, 14.50 mtr	€ 4,095.00
mengmesttank, 16m3, tandem as	€ 4,315.50
Landbouwwagen 3-asser tandem	€ 1,152.75
Gedeelde mechanisatie	Verrekenprijs per ha
Combine, maaidorser (120-150 kW), 3.6-7.5 mtr	€ 197
Bunkerrooier, getr., 2-rijig	€ 165
zaaimachine pneumatisch 1.000ltr, 3.00 mtr	€ 20
Vorraadrooier, 3.00mtr (onions+potatoes)	€ 99
Wagenrooier, 3.00 mtr, (onions+potatoes)	€ 880
Loofklapper, front, 3.00 mtr (uien)	€ 85
Grimme FM 300 ontbladeraar	€ 98
Grimme Rootster 603, bunkerrooier	€ 353
Peen klembandrooier getrokken, afvoerband, 4-rijig	€ 162
Peen kistenwagen	€ 54
Ronde balen pers, 1.80 mtr	€ 108

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-850

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, 6.500 medewerkers en 12.500 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.
