

Langetermijn kosten en opbrengsten van koolstofvastlegging

Smit, A.B., Daatselaar, C.H.G., Knol, E.E., Bijker, J.W., Van der Burgt, E.A.P., Vervuurt, W.,
Janmaat, L., Wagenaar, J.P., van den Berg, L., Oltmer, K., Raoult J.E., Geerling-Eiff, F.A.

November 2024

Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen University & Research en Louis Bolk Instituut met subsidie van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend Programma Slim Landgebruik (BO-43.10-003).

Review door: van der Kolk, J.,¹ Kik, M.,¹ van der Scheer, B.,¹

November, 2024

Contact: Slimlandgebruik@wur.nl

Smit, A.B.,¹ Daatselaar, C.H.G.,¹ Knol, E.E.,¹ Bijker, J.W.,¹ Van der Burgt, E.A.P.,¹ Vervuurt, W.,¹ Janmaat, L.,¹ Wagenaar, J.P.,² van den Berg, L.,² Oltmer, K.,¹ Raoult J.E.,¹ Geerling-Eiff, F.A.,¹ (2024). Langetermijn kosten en opbrengsten van koolstofvastlegging.

¹Wageningen University & Research, ²Louis Bolk Instituut

Deze publicatie is beschikbaar via www.slimlandgebruik.nl

Inhoud

Samenvatting.....	6
1 Introductie	8
1.1 Achtergrond	8
1.1.1 Definitie maatregelen	8
1.1.2 Probleemstelling en hypothesen.....	10
1.2 Aanpak	10
1.2.1 Inzicht in de (middel)lange termijneffecten van maatregelen op bedrijfs- en sectorniveau	10
1.2.2 Inzicht in de (middel)lange termijneffecten van maatregelen op maatschappelijk niveau	11
1.2.3 Synthese van de (maatschappelijke) kosten en baten voor boer en maatschappij	11
1.3 Leeswijzer rapport.....	13
2 Kosten en baten van koolstofmaatregelen in de akkerbouw	14
2.1 Verbeterde gewasrotatie	15
2.1.1 Agronomisch en -technisch.....	15
2.1.2 Kosten & baten	15
2.1.3 Ecosysteemdiensten	19
2.2 Gewasresten achterlaten	20
2.2.1 Agronomisch en -technisch.....	20
2.2.2 Kosten en baten	20
2.2.3 Ecosysteemdiensten	21
2.3 Organische bemesting.....	22
2.3.1 Agronomisch en –technisch	22
2.3.2 Kosten & baten	23
2.3.3 Ecosysteemdiensten	25
2.4 Groenbemesters.....	27
2.4.1 Agronomisch en -technisch.....	27
2.4.2 Kosten & baten	28
2.4.3 Ecosysteemdiensten	28
2.5 Akkerranden.....	29
2.5.1 Agronomisch en -technisch.....	29
2.5.2 Kosten & baten	29
2.5.3 Ecosysteemdiensten	30
2.6 Vogelakkers	32
2.6.1 Agronomisch en -technisch.....	32
2.6.2 Kosten & baten	32

2.6.3	Ecosysteemdiensten	33
2.7	Niet-kerende grondbewerking	33
2.7.1	Agronomisch en -technisch.....	33
2.7.2	Kosten & baten	34
2.7.3	Ecosysteemdiensten	35
2.8	Effectbeoordeling ecosysteemdiensten van maatregelen	36
3	Kosten en baten van koolstofmaatregelen in de melkveehouderij.....	38
3.1	Blijvend grasland	39
3.1.1	Agronomisch en -technisch.....	39
3.1.2	Kosten & baten	39
3.1.3	Ecosysteemdiensten	41
3.2	Organische bemesting.....	43
3.3	Kruidenrijk grasland	43
3.3.1	Agronomisch en -technisch.....	43
3.3.2	Kosten & baten	44
3.3.3	Ecosysteemdiensten	44
3.4	Maïs-gras wisselteelt.....	45
3.3.1	Agronomisch en -technisch.....	45
3.3.2	Kosten & baten	45
3.3.3	Ecosysteemdiensten	45
3.5	Agroforestry	46
3.5.1	Agronomisch en -technisch.....	46
3.5.2	Kosten & baten	46
3.5.3	Ecosysteemdiensten	47
3.6	Niet-kerende grondbewerking (NKG) in maïs	48
3.7	Effectbeoordeling koolstofmaatregelen in de veehouderij	48
4	Berekeningen op bedrijfsniveau - beide sectoren	49
4.1	Materiaal en methoden	50
4.1.1	Inleiding	50
4.1.2	Netto-contante waarde-methode	50
4.1.3	Toepassing van de NCW-methode op koolstofvastlegging	51
4.2	Uitkomsten berekeningen akkerbouw.....	52
4.2.1	Uitkomsten NCW-berekeningen	52
4.2.2	Overige baten en ecosysteemdiensten	54
4.2.3	Uitkomsten overige baten en ecosysteemdiensten	57
4.3	Uitkomsten berekeningen melkveehouderij.....	59
4.3.1	Blijvend grasland/behoud grasland	59

4.3.2	Organische bemesting	60
4.3.3	Kruidenrijk grasland	60
4.3.4	Mais-gras wisselteelt	60
4.3.5	Agroforestry	60
4.3.6	Niet-kerende grondbewerking in maïs	61
4.4	Conclusie	61
5	Discussie	62
5.1	Kosten en baten van koolstofvastlegging op bedrijfsniveau en waarde voor de maatschappij	63
5.2	Onzekerheid rond inschatting van langjarige kosten en baten	63
5.3	Ruimte voor verbetering	65
6	Conclusies	67
7	Dankwoord	69
	Literatuurlijst	70
	Bijlage 1: Effectbeoordeling literatuurstudie	80
	Bijlage 2: Bouwplannen en maatregelpakketten uit Verstand <i>et al.</i> (2022) en lijst met afkortingen	92

Samenvatting

De centrale vraag in dit rapport was: 'Wat zijn de lange termijn kosten en (maatschappelijke) baten van koolstofvastlegging? Daartoe is de bestaande kennis over langetermijn kosten en baten (over een periode van ongeveer 10 jaar of langer) van de koolstofmaatregelen uit het Programma Slim Landgebruik samengebracht, met name uit literatuur. Ook zijn aanvullende berekeningen gedaan om het inzicht in met name de effecten van koolstofvastlegging op gewasopbrengsten te vergroten. Naast de kosten en baten op het niveau van het agrarisch bedrijf is ook aandacht besteed aan met name de maatschappelijke baten die koolstofvastlegging op kan leveren in de vorm van ecosysteemdiensten en de vergoeding die daaruit zou kunnen voortvloeien voor de kosten op bedrijfsniveau. De bestudeerde maatregelen zijn vermeld in Tabel 1.

Tabel 1. Bestudeerde koolstofmaatregelen in dit rapport.

Maatregel		Akkerbouw	Melkveehouderij
Verbeterde gewasrotatie		+	
Gewasresten achterlaten		+	
Organische bemesting	Drijfmest	+	+
	Vaste mest	+	+
	Compost	+	
Groenbemester		+	+
Akkerranden		+	
Vogelakkers		+	
Niet-kerende grondbewerking		+	In maïs
Blijvend grasland/behoud grasland			+
Kruidenrijk grasland			+
Maïs-gras wisselteelt			+
Agroforestry			+

Mogelijke verhoging van gewasopbrengsten door koolstofmaatregelen is de belangrijkste batenfactor op het agrarische bedrijf ter compensatie van de kosten die deze maatregelen met zich meebrengen. Daarover bleek echter slechts weinig literatuur beschikbaar. Experimenten duren meestal niet langer dan vier jaar, terwijl dit onderzoek gericht was op een periode van tien jaar of langer. Voor een aantal maatregelen in de akkerbouw is daarom met de Netto Contante Waarde-methode een inschatting gemaakt hoe groot de opbrengststijging zou moeten zijn om de kosten te compenseren. Die stijging bleek vooral groot te moeten zijn (minimaal 10%) bij verruiming van intensieve bouwplannen met meer graan, terwijl uit de literatuur bleek dat 0 - 7% wellicht mogelijk is.

Voor de akkerbouw waren de overige bevindingen:

- Relatief eenvoudige maatregelen als het telen van een groenbemester en het achterlaten en onderwerken van gewasresten daarentegen hebben op de langere termijn een positieve baten-kostenbalans. Deze maatregelen zijn al standaardpraktijk op veel bedrijven.
- Vogelakkers en akkerranden leveren veel koolstof op, maar draaien niet mee in de rotatie. Dat beperkt de mogelijkheden voor het telen van hoogsalderende gewassen. De ANLb-vergoeding voor deze maatregelen maakt ze economisch aantrekkelijk.
- Koolstofmaatregelen vormen een essentieel onderdeel van goede landbouwpraktijk c.q. duurzaam bodemmanagement. Ingrijpende maatregelen nemen puur voor koolstofvastlegging pakt economisch niet goed uit, ook niet op de lange termijn.

In onze aanvullende berekeningen voor de akkerbouw zijn de extra opbrengsten uit ecosysteemdiensten zoals waterkwaliteit en biodiversiteit beperkt (€162 per ha) en ook de vergoeding voor koolstofopslag via koolstofcertificaten van 100 euro per ton is te laag om de meerkosten van bouwplanverruiming te compenseren. Er zijn echter mogelijkheden om die extra opbrengsten te verhogen door gebruik te maken van het ANLb of de GLB-Ecoregeling. Er is een ontwikkeling dat meer ecosysteemdiensten vergoed gaan worden, ook vanuit de keten, bijvoorbeeld via een goede prestatie op de biodiversiteitsmonitor.

Bevindingen voor de melkveehouderij:

- De meeste maatregelen in Slim Landgebruik voor grasland en maïsland pakken kosten/baten-neutraal uit. Dit geldt bijvoorbeeld voor kruidenrijk grasland en wisselteelt gras-maïs. Deze wisselteelt vervangt monocultuur maïs en wordt verplicht, zoals de toepassing van groenbemesters na maïs nu al verplicht is op zandgrond en löss.
- Het verlengen van de levensduur van grasland pakt alleen goed uit als het lukt de graszode en de grasopbrengst en -kwaliteit in goede staat te handhaven. Als dat niet lukt, ligt graslandvernieuwing voor de hand om het productievermogen van grasland op peil te houden.
- Blijvend grasland kan qua bouwplansaldo niet concurreren met verhuur van of ruil van land met bloembollentelers en akkerbouwers voor de teelt van respectievelijk tulpen en aardappelen.
- De opbrengsteffecten van agroforestry vragen nader onderzoek. De eerste inschattingen zijn evenwel positief, mits de te oogsten vruchten of noten een goede prijs opleveren.

Algemeen:

- De toepassing van dierlijke mest, met name van drijfmest op zowel grasland als akkerland is bij de huidige mestmarkt voor zowel melkveehouders als akkerbouwers aantrekkelijk.
- Toepassing van vaste mest en compost kost meer en de toepassing is lastiger. Beide producten zijn ook lastiger te verkrijgen. Als de toepassing van vaste mest of compost een hoge vlucht neemt, zullen de prijzen en dus de kosten verder stijgen.
- Idealiter zou er in de CO₂Bodem (Slier *et al.*, meest recente versie 2024) een kolom verschijnen met voor elke koolstofmaatregel een getal of range van het bedrag 'netto baten minus kosten' voor klei- en zandgrond. Dat is op basis van de huidige inzichten nog niet mogelijk.

Aanbevelingen:

- Langetermijn experimenten zijn nodig om goed inzicht te krijgen in de gewasopbrengsteffecten als belangrijkste post aan baten op lange termijn van diverse koolstofmaatregelen. Deze effecten zouden ook opgenomen moeten worden in de BodemCoolstof Tool.
- Uitbreiding en verdieping van scenarioberekeningen met een bedrijfsmodel als Farmdyn kan het inzicht versterken en verbreden dat in deze studie met de NCW-methode is uitgevoerd.
- In de begeleiding van agrariërs is het aan te bevelen om het koolstofvastleggende effect van koolstofmaatregelen te plaatsen in een bredere context van onder andere klimaatadaptatie en ecosysteemdiensten, waaraan ook kosten en baten gekoppeld kunnen zijn of worden.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Het project Langetermijn Kosten en Baten van koolstofvastlegging in landbouwgronden beoogt de (middel-) langetermijncosten en -baten voor meerdere groepen van grondgebonden (akkerbouw, melkvee) bedrijven in kaart te brengen. In deze studie is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van beschikbare kennis en literatuur. Zo zijn de kortetermijncosten en baten van koolstofvastleggingsmaatregelen op grondgebonden bedrijven in beeld gebracht in een aantal studies uit het programma Slim Landgebruik (Hoogmoed, 2021a; Janmaat & Koopmans, 2020), met name in het in 2021 afgeronde project Kosten en Baten (Verstand *et al.*, 2022). Dit laatste project richtte zich op de kortetermijncosten voor koolstofmaatregelen voor de boer, gebaseerd op berekeningen voor één jaar voor een beperkt aantal voorbeeldbedrijven.

In dit vervolgproject is gekeken naar langetermijn maatschappelijke kosten en baten en effecten op productie voor landbouwbedrijven, bijvoorbeeld via bodemkwaliteit, watervasthoudend vermogen en waterdoorlatendheid. Dit kan bijdragen aan een weerbaarder teeltsysteem met beperking van irrigatiekosten en vermindering van kosten van chemische gewasbescherming. In dit project is daarnaast gekeken naar de uitkomsten van het project (BO-43-106-014) A6: Meekoppelen van koolstofvastleggende maatregelen met duurzaam bodembeheer.

De private kosten en baten voor meerdere onderscheiden groepen bedrijven zijn input voor een maatschappelijke kosten- en batenanalyse (MKBA), dus voor de maatschappij als geheel. De analyse op primaire agrarische bedrijven wordt daarin aangevuld met te verwachten kosten en opbrengsten voor de maatschappij. Deze diensten en effecten voor de maatschappij als geheel zijn verkend en zoveel als mogelijk gemonetariseerd (in geld uitgedrukt). Daarbij gaat het onder andere om:

- de waarde van koolstofvastlegging, in de vorm van een CO₂-prijs vanuit bijvoorbeeld de emissiehandel (ETS)
- de waarde van water vasthouden en daarmee het ontlasten van het watersysteem, en
- effecten op natuur en landschap (biodiversiteit en emissies naar het milieu).

1.1.1 Definitie maatregelen

In het project Langetermijncosten en opbrengsten van koolstofvastlegging zijn geselecteerde koolstofvastleggende maatregelen voor zowel de akkerbouw- als de veehouderijsector meegenomen. Tabel 2 geeft een overzicht van deze maatregelen, inclusief definitie.

Tabel 2. Definities van de maatregelen geïntegreerd in project Langetermijnkosten en opbrengsten van koolstofvastlegging.

Sector	Maatregel		Definitie	Bron
A K K E R B O U W	Verbeterde gewasrotatie		Verruiming van de vruchtwisseling met meer graan voor verbeterde bodemkwaliteit en mineralenbenutting.	Van der Kolk <i>et al.</i> (2021)
	Gewasresten achterlaten		Het achterlaten van stro op het perceel en het inwerken daarvan.	Slier <i>et al.</i> (2022); Van der Kolk <i>et al.</i> (2021)
	Organische bemesting	Drijfmest	Toepassen van drijfmest (mengsel van urine en vaste mest) voor de bemesting van gewassen.	Eurostat (2020)
		Vaste mest	Toepassing van vaste mest inclusief urine en strooisel dat voor minstens 20% uit droge stof (d.s.) bestaat.	Eurostat (2020)
		Compost	Toepassing van compost (relatief stabiele afgebroken organische materialen die het resultaat zijn van de versnelde biologische afbraak van organische materialen onder gecontroleerde, aerobe omstandigheden) voor verbetering van de organische stof toestand van de bodem.	Paulin & O'Mallay (2008)
	Groenbemester		Toepassing van een groenbemester als vanggewas dat wordt geteeld met als hoofddoelen stikstof vast te houden en organische stof in de bodem op te slaan nadat het hoofdgewas is geoogst. Dergelijke bodembedekkende gewassen helpen tevens om bodemerosie en onkruiden te voorkomen. Deze maatregel is verplicht in de maisteelt op zand- en lössgronden.	Slier <i>et al.</i> (2022). RVO
	Akkerranden		Op 2% van het volledige akkerbouw- en snijmaïsareaal worden permanente/meerjarige akkerranden toegepast waarop geen kunstmest wordt gebruikt.	Slier <i>et al.</i> (2022)
	Vogelakkers		Toepassing van meerjarige groenvoedergewassen of granen, afgewisseld met een strook natuurbraak.	Slier <i>et al.</i> (2022)
Niet-kerende grondbewerking		Toepassing van niet-kerende grondbewerking (NKG) als vorm van gereduceerde grondbewerking. Dat betekent dat de grond niet dieper dan 15 cm wordt losgemaakt.	Van Balen (2020)	
V E E H O U D E R IJ	Blijvend grasland/behoud grasland		Het behouden van grasland gedurende minstens 5 aaneengesloten jaren.	RVO (2022)
	Organische bemesting	Drijfmest	Toepassen van drijfmest (mengsel van gier en vaste mest) voor de bemesting van gewassen	Eurostat (2020)
		Vaste mest	Toepassing van vaste mest, dat voor minstens 20% uit droge stof (d.s.) bestaat.	Eurostat (2020)
	Kruidenrijk grasland		Grasland met een natuurlijke soortensamenstelling, met de focus op het behoud van gebiedseigen (agro)biodiversiteit en een positief effect op het landschap. Extensief kruidenrijk grasland bestaat uit meer dan 15 soorten grassen en kruiden per 25 m ² . Productief kruidenrijk grasland bestaat naast grassen uit minimaal acht soorten vlinderbloemigen en kruiden. In augustus is de bedekking van klaver en kruiden minimaal 25% om aan deze definitie te voldoen.	Van Eekeren & Visser (2019); Slier <i>et al.</i> (2022)
	Maïs-gras wisselteelt		60% permanent grasland en een rotatie van 3 jaar 20% snijmaïs en 3 jaar 20% tijdelijk grasland, bij voorkeur klaverrijk.	Slier <i>et al.</i> (2022)
	Agroforestry		Het combineren van bomen en struiken met eenjarige teelten, grasland en veehouderij of akkerbouw.	Schoutsen & Vijn (2021)

	Niet-kerende grondbewerking (NKG) in maïs ¹	Toepassing van niet-kerende grondbewerking als vorm van gereduceerde grondbewerking in maïs.	Van Balen (2020)
--	--	--	------------------

1.1.2 Probleemstelling en hypothesen

De centrale vraag is: *Wat bespaar je netto of wat kost het je als grondgebonden agrariër en als maatschappij als maatregelen voor koolstofvastlegging breed worden toegepast over een langere termijn?*

De achterliggende veronderstelling is dat dergelijke maatregelen op korte termijn voor private ondernemers mogelijk economisch onaantrekkelijk zijn, maar dat dit beeld kan kantelen als dergelijke maatregelen gedurende meerdere jaren worden voortgezet. Dit verschilt per bedrijf en per regio, afhankelijk van de bedrijfsstructuur, de financieel-economische en biofysische situatie van bedrijven maar ook van voorkeuren van ondernemers ten aanzien van maatregelen die goed bij hun bedrijf passen. Deze zogenoemde koolstofmaatregelen kunnen voor de maatschappij als totaal positief uitvallen, bijvoorbeeld door de bijdrage aan het verminderen van klimaatverandering en waterproblematiek en door neveneffecten op andere milieuthema's.

Het project is bedoeld om inzicht te geven in de langetermijnkosten en baten voor de grondgebonden agrariër en maatschappij als geheel die voortkomen uit toepassing van maatregelen om koolstof in de bodem vast te leggen. Dit geeft een beeld hoe aantrekkelijk of onaantrekkelijk het is om bepaalde maatregelen langdurig toe te passen voor de boer en/of de maatschappij. De resultaten zullen mede input zijn voor de CO₂-bodemtabel Slim Landgebruik.

1.2 Aanpak

De aanpak voor deze studie is onderverdeeld in drie fasen, die hieronder worden toegelicht.

1.2.1 Inzicht in de (middel)lange termijneffecten van maatregelen op bedrijfs- en sectorniveau

Het effect van koolstofvastleggende maatregelen op bedrijfsniveau wordt op (middel)lange termijn bepaald. Dit betreft een periode van ongeveer tien jaar². Deze effecten bestaan uit extra baten en extra kosten als gevolg van de genomen koolstofmaatregelen. De extra baten zijn uitgedrukt in een netto saldotoenname ofwel de extra kg-opbrengsten als gecombineerd effect van diverse aspecten (beter bodemleven, beter vasthoudend vermogen), aangevuld met een kostenverlaging bijvoorbeeld door minder beregening en minder gewasbeschermingsmiddelen. De langetermijnkosten zijn berekend op basis van Verstand *et al.* (2022), waar nodig aangevuld met investeringsbeslissingen en de economische aspecten (jaarkosten) daarvan. In principe bepaalt dan het verschil tussen de extra netto baten en de extra kosten van een koolstofmaatregel of die economisch aantrekkelijk is of niet. De grootste uitdaging hierbij is een schatting van de extra netto baten te maken. Met behulp van expertkennis is een inschatting gedaan van het te verwachten effect van de maatregelen op de netto baten. De inschatting heeft geleid tot een range voor netto saldooverhoging, waarmee scenario's zijn doorgerekend (0%, 2,5%, 5% en 10%), gebruikmakend van de Netto Contante Waarde (NCW)-methode. De vraag daarbij is bij welk scenario een koolstofmaatregel positief uitpakt.

¹ Omdat snijmaïs eigenlijk een akkerbouwgewas is, kunnen hier in principe alle akkerbouwmaatregelen staan. In elk geval moet groenbemester erbij worden vermeld, gezien de wettelijke verplichtingen op zand- en lössgronden.

² In dit verband wordt een periode van langer dan tien jaar als 'lang' beschouwd.

1.2.2 Inzicht in de (middel)lange termijneffecten van maatregelen op maatschappelijk niveau

Dit deel behelst een maatschappelijke kosten- en batenanalyse (MKBA), dat wil zeggen dat gekeken is naar de maatschappelijke kosten en baten van koolstofmaatregelen. Op basis van literatuurstudie is met name gekeken naar de positieve effecten van dergelijke maatregelen in de vorm van ecosysteemdiensten op het gebied van klimaatadaptatie, -mitigatie (koolstofvastlegging), waterbeheer en biodiversiteit.

Bij een MKBA wordt gekeken naar de effecten van een project of beleidsmaatregel op de welvaart en het welzijn van de samenleving als geheel (Rijksoverheid, 2012). Concreet worden bij een MKBA de volgende vragen beantwoord:

- Wat leveren verschillende beleidsalternatieven of -maatregelen op voor de maatschappij als geheel en wat kosten ze?
- Wie draagt de kosten en wie geniet de baten?

De grootste uitdaging bij een MKBA is het toekennen van een waarde aan kosten en baten van onderwerpen waar geen markt met duidelijke marktpartijen en -prijzen aanwezig is. Dit is vaak het geval bij vraagstukken rond natuur en milieu. Hoewel er voor koolstofvastlegging zelf inmiddels geëxperimenteerd wordt met een onzekere markt in de vorm van carbon credits, komen er nog andere effecten bij kijken waar nog geen marktwaarde aan gekoppeld kan worden. Hierbij gaat het om de verschillende ecosysteemdiensten die voort kunnen vloeien uit een verhoging van het koolstofgehalte in de bodem, zoals het effect op de waterkwaliteit en het watervasthoudend vermogen (*'indirect use value'*). Om de maatschappelijke waarde van maatregelen voor koolstofvastlegging in te kunnen schatten is het belangrijk om te kijken hoe de effecten van de maatregelen verder doorwerken richting de maatschappij. Afhankelijk daarvan kan worden bepaald welke methode voor de schatting van de maatschappelijke kosten en baten het meest geschikt is (*'valueing ecosystem services'*). Extra koolstofvastlegging kan leiden tot een groter watervasthoudend en -doorlatend vermogen van de grond, waardoor waterschappen minder kosten hoeven te maken voor wateraanvoer en -afvoer. De waardering van extra biodiversiteit als gevolg van koolstofvastlegging is geschat op basis van regelingen als ANLb³ en GLB-ecopakketten.

1.2.3 Synthese van de (maatschappelijke) kosten en baten voor boer en maatschappij

In dit deel zijn de bevindingen uit de aanpak volgens de twee voorgaande paragrafen met elkaar verbonden. De kosten en vooral de baten op bedrijfsniveau zijn aangevuld met die uit maatschappelijk oogpunt. Daaruit ontstaat een totaalbeeld, waarmee boeren, adviseurs, beleidsmakers en andere stakeholders hun voordeel kunnen doen.

De effecten van maatregelen werken door via verschillende niveaus (Figuur 1): aangenomen wordt dat een maatregel een positief effect heeft op het organischestofgehalte in de bodem, bijvoorbeeld de toediening van organische mest (dierlijke mest, compost) of het telen van een groenbemester (zie Tabel 2). Een verhoogd organischestofgehalte in de grond zorgt voor verbetering van de functies waarop het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL) gericht is: waterkwaliteit, bodemvruchtbaarheid, klimaatadaptatie, recycling van nutriënten en biodiversiteit. Deze hebben op hun beurt een positief effect op ecosysteemdiensten die het menselijk welzijn verbeteren, zoals voedselproductie en recreatieve waarde. Bepaalde maatregelen, zoals vogelakkers, akkerranden of agroforestry hebben daarnaast een direct effect op de mens. Ze zijn zichtbaar en hebben voor de mens een recreatieve waarde. Koolstofvastlegging is niet direct zichtbaar voor de mens en zelfs de afgeleide biofysische ecosysteemdiensten zijn voor de mens moeilijk op waarde te schatten. De maatschappelijke baten van verschillende soorten maatregelen vragen daardoor om verschillende evaluatiemethoden.

³ ANLb staat voor Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer.

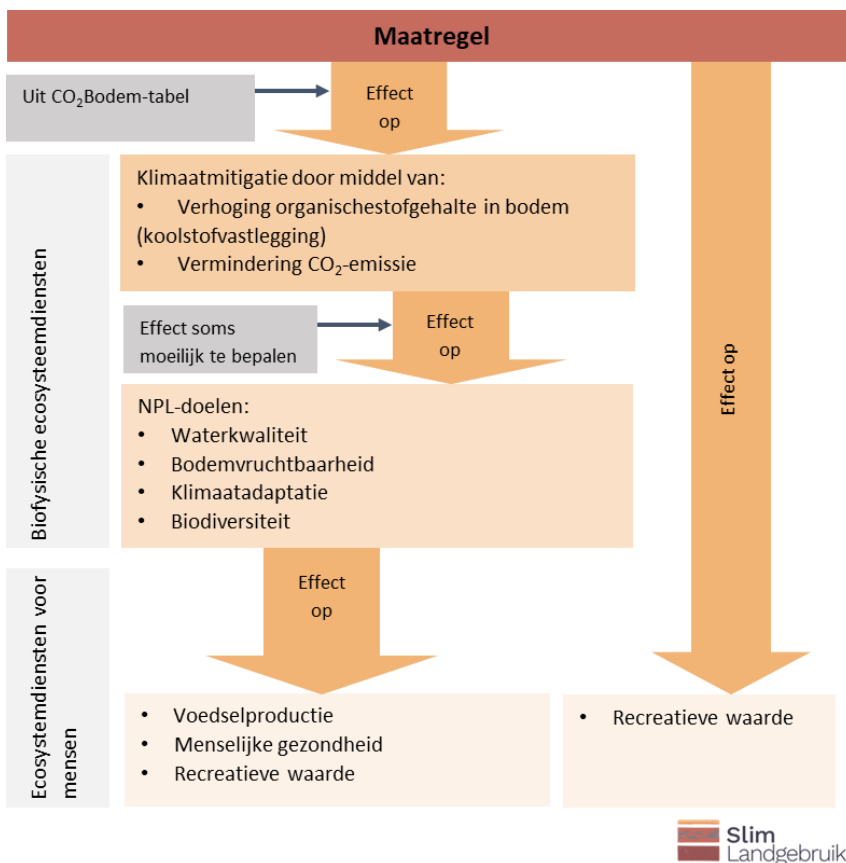
TEEB methode

De methode voor het bepalen van de Economie van Ecosystemen en Biodiversiteit (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB*) is een internationaal initiatief dat tot doel heeft de aandacht te vestigen op de extra voordelen die biodiversiteit kan bieden voor onder andere ecosystemen, soorten en meer. TEEB wordt als volgt omschreven (Kumar, 2012):

"Het TEEB-initiatief wil de aandacht vestigen op de onzichtbaarheid van de natuur in de economische keuzes die we maken in de domeinen van internationale, nationale en lokale beleidsvorming, openbaar bestuur en bedrijfsleven. TEEB ziet deze onzichtbaarheid als een belangrijke aanjager van de voortdurende uitputting van ecosystemen en biodiversiteit."

De TEEB-methode wordt geleid door drie basisprincipes:

- Het erkennen van waarde in ecosystemen en landschappen is een kenmerk van de menselijke samenleving;
- Het aantonen van waarde in economische termen is nodig voor besluitvormers om de kosten en baten van de natuur volledig te begrijpen;
- Het vastleggen van waarden vereist de introductie van een maatregel die deze waarden opneemt in de besluitvorming door middel van prikkels en prijsignalen.



Figuur 1. Mogelijke effecten van een koolstofvastleggende maatregel op biofysische ecosystemendiensten en ecosystemendiensten voor de mens.

TEEB classificeert koolstofvastlegging als een regulerende dienst, waaraan pas sinds kort een economische waarde wordt toegekend die volgens Figuur 8 in Bijlage 1 'indirecte gebruikswaarden' (*indirect use value*) worden genoemd

(Kumar, 2012). Deze waarden blijven grotendeels onzichtbaar in de dagelijkse boekhouding van de maatschappij. De rode omlijning in de figuur geeft aan waar koolstofvastlegging binnen de TEEB-methode kan worden geclassificeerd.

1.3 Leeswijzer rapport

In hoofdstuk 2 en 3 worden respectievelijk de resultaten van een uitgebreide literatuurstudie weergegeven voor de koolstofvastlegging in de akkerbouw en veehouderij, zowel voor de kosten en baten van koolstofmaatregelen op bedrijfsniveau als voor de maatschappij als geheel (MKBA). Op basis hiervan zijn kosten en baten berekend op bedrijfsniveau voor respectievelijk de akkerbouw en melkveehouderij inclusief ecosysteemdiensten in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat een discussie van de resultaten. De belangrijkste conclusies worden tot slot besproken in hoofdstuk 6. Het rapport wordt afgesloten met een referentielijst en enkele bijlagen.

2 Kosten en baten van koolstofmaatregelen in de akkerbouw



Leeswijzer hoofdstuk 2

Dit hoofdstuk is gebaseerd op literatuurstudie. We gaan in op de agronomische en technische aspecten, kosten en baten en mogelijke ecosysteemdiensten van koolstofvastleggende maatregelen in de akkerbouw voor de (middel)lange termijn, dat wil zeggen een periode van tien jaar. De maatregelen die verder worden toegelicht zijn: verbeterde gewasrotatie, gewasresten achterlaten, organische bemesting, groenbemesters, akkerranden, vogelakkers en niet-kerende grondbewerking.

2.1 Verbeterde gewasrotatie

Onder een verbeterde gewasrotatie verstaan we een verruiming van de vruchtwisseling met meer graan. Een verruiming van de vruchtwisseling met granen kan zorgen voor een verbetering van de kwaliteit van de bodem en de mineralenbenutting in de bodem (Van der Kolk *et al.*, 2021). De teelt van granen levert organische stof, zeker wanneer het stro achterblijft. Daarnaast biedt de teelt van granen ruimte voor groenbemesters na de oogst of groenbemester als onderzaai.

2.1.1 Agronomisch en -technisch

De maatregel bouwplanverruiming is in verschillende studies onderzocht aan de hand van een verruiming van het bouwplan met graan, gras of eventueel een ander rustgewas. De groenbemesters zijn in deze inventarisatie behandeld als een aparte maatregel; om die reden ligt de focus van de maatregel bouwplanverruiming op de resultaten die voortkomen uit het verhogen van het aandeel graan of gras in het bouwplan.

2.1.2 Kosten & baten

Er zijn verschillende studies die de kosten en baten van bouwplanverruiming met graan of gras hebben onderzocht. Kuhlman *et al.* (2014) analyseren bouwplanverruiming in de Veenkoloniën. Zij hebben verschillende scenario's uitgewerkt voor bouwplanverruiming met zowel een kosten-batenanalyse van het toevoegen van graan als een analyse op het toevoegen van gras als rustgewas. Uit beide analyses kwamen voor de implementatie van extra graan en gras in het bouwplan respectievelijk hogere directe kosten naar voren voor bemesting (+€49 en +€68), beregning (+€10 en +€9) en zaaien (+€31 en +€31) vergeleken met een bouwplan met 50% zetmeelaardappel, 25% suikerbiet en 25% graan (Kuhlman *et al.* 2014). Daarnaast vonden zij een besparing voor graan en gras respectievelijk op uitgangsmateriaal (€67 en €75), gewasbeschermingsmiddelen (€54 en €74) en energie (€35 en €56) per hectare per jaar vergeleken met het bouwplan met 50% zetmeelaardappel, 25% suikerbiet en 25% graan (Kuhlman *et al.* 2014). De totale kostentoeename was respectievelijk €90 en €108 per ha en de totale besparingen bedroegen €156 en €205 per ha. In totaal leverde dit een positief effect van respectievelijk €66 en €97 per ha op. Op de lange termijn gaan Kuhlman *et al.* (2014) ervan uit dat de maatregel hogere opbrengsten voor aardappel, suikerbiet en graan zal opleveren. De omvang daarvan hebben zij echter niet gekwantificeerd.

Janmaat en Koopmans (2020) en Spruijt *et al.* (2013) hebben saldi berekend die horen bij bouwplannen met verschillende maatregelen in verschillende regio's. De maatregelen die zij analyseerden zijn verschillende varianten van bouwplanverruiming. Er zitten per regio kleine verschillen in de geanalyseerde varianten. Over het algemeen worden de kosten en baten van bouwplanverruiming met verschillende verhoudingen graan en groenbemester in kaart gebracht. Deze berekeningen laten zien dat een 1 op 3 bouwplan in het Noordelijk zeeleigebied ca €3.500/ha saldo oplevert. Een minder intensief bouwplan van 1 op 4 met extra wintertarwe levert €2.935/ha op. Dit is een saldodaling van €565/ha. In de Flevopolders levert een 1 op 4 bouwplan met consumptieaardappelen, suikerbiet, wintertarwe, zaaiui en witlofwortel gemiddeld €2.757/ha op. Verruiming van het bouwplan naar 1 op 5 met extra wintertarwe levert €2.446/ha op. Dit betekent een daling van het saldo met €311/ha. Verder is gekeken naar het bouwplan voor de Noordoostelijke zand- en dalgronden met een bouwplan van 1 op 2 zetmeelaardappelen aangevuld met suikerbiet. Dit levert €1.102/ha op. Verruiming naar een 1 op 3 bouwplan met extra zomergerst geeft een opbrengst van €1.010/ha. Dat is een daling van €92/ha (Tabel 3).

Tabel 3. Saldi en saldoverandering door verruiming bouwplan, inclusief een groter aandeel graan (€/ha). Bron: Janmaat en Koopmans (2020) en Spruijt et al., (2013).

	Noordelijk zeekleigebied	Flevopolders	Noordoostelijke zand- en dalgronden
Saldo origineel bouwplan (€/ha)	€3.500	€2.757	€1.102
Saldo na verruiming bouwplan	€2.935	€2.446	€1.010
Saldoverschil	- €565	- €311	- €92

Hoogmoed *et al.* (2021a) bouwen voort op het werk van Janmaat en Koopmans (2020) en berekenen de marginale kosten van het vastleggen van koolstof via bouwplanverruiming in dezelfde varianten voor dezelfde regio's. Op die manier kan de vergelijking worden gemaakt tussen de varianten waarmee antwoord wordt gegeven op de vraag hoeveel het kost om één ton extra koolstof vast te leggen in de betreffende variant. De maatregelen die Hoogmoed *et al.* (2021a) meenemen, zijn dezelfde als in de studie van Janmaat en Koopmans (2020). In de regio Noordoostpolder leidt het (maximaal) toevoegen van groenbemester al dan niet in combinatie met (extra) graan tot de laagste marginale kosten van koolstofvastlegging/ha. De kosten van koolstofvastlegging door het toevoegen van extra graan in het bouwplan liggen aanzienlijk hoger dan de varianten met een extra groenbemester. Met name variant 4 (50% graan) heeft hoge marginale kosten vanwege de geringe vastlegging van koolstof en een sterke afname van het aandeel hoogsalderende gewassen in het bouwplan. De marginale kosten van het toevoegen van grasklaver lopen ondanks de geringe daling van het bouwplansaldo zeer hoog op, omdat deze variant nauwelijks meer koolstof vastlegt dan het referentiebouwplan. De regio Flevopolder is in Hoogmoed *et al.* (2021a) als een aparte regio behandeld. De resultaten zijn nagenoeg hetzelfde als in de regio Noordoostpolder.

Op Noordoostelijke zand- en dalgrond komt in Hoogmoed *et al.* (2021a) eveneens naar voren dat extra groenbemesters de laagste marginale kosten/ha voor koolstofvastlegging geven (Tabel 4). De vastlegging van koolstof ligt in deze regio bij bouwplanverruiming met graan lager dan elders waardoor de marginale kosten van variant 4 (50% graan) veel hoger liggen. Het toevoegen van extra graan gaf lagere koolstofvastlegging dan de referentie, waardoor deze marginale kosten niet berekend zijn ⁴.

Verstand *et al.* (2022) bouwen voort op werk van Janmaat en Koopmans (2020) en Hoogmoed *et al.* (2021a) en berekenen de kosten en baten van koolstofmaatregelpakketten. Groenbemesters zijn in combinatie met gewasresten achterlaten en met bouwplanverruiming in één pakket behandeld. Bouwplanverruiming is door Verstand *et al.* (2022) ook berekend als een verruiming met graan. Het verruimen van het bouwplan met graan waarvan al het stro wordt achtergelaten op het land is een kostbare maatregel vanwege de gemiste opbrengsten van hoger renderende gewassen en van de verkoop van stro (Verstand *et al.* 2022). Verstand *et al.* (2022) berekenen net als Hoogmoed *et al.* (2021a) de marginale kosten van het vastleggen van koolstof. Anders dan in de studie van Hoogmoed *et al.* (2021a) ligt de focus bij Verstand *et al.* (2022) op combinaties van maatregelen. Door de combinaties van maatregelen is het moeilijk te schatten in hoeverre de hoogte van de marginale kosten te koppelen is aan bouwplanverruiming met graan. Toch zegt een vergelijking tussen de pakketten 1 en 2 in hun studie wel iets over de marginale kosten van bouwplanverruiming. Pakket 1 omvat het optimaliseren van groenbemesters en het achterlaten van gewasresten. Pakket 2 omvat bouwplanverruiming, groenbemester optimalisatie en gewasresten achterlaten en inwerken. Pakket 2 bestaat uit twee varianten met verschillende bouwplannen. Vanwege het verschil tussen pakket 1 en 2, namelijk al dan niet toepassing van bouwplanverruiming, kunnen de resultaten tussen de pakketten vergeleken worden om de kosten en baten van de maatregel in kaart te krijgen.

⁴ Het rapport van Hoogmoed *et al.* (2021a) geeft geen verklaring waarom de koolstofvastlegging in de varianten 1 en 2 lager zou zijn dan in de referentie, zijnde een bouwplan met veel rooigewassen. Extra graan of een ander rustgewas geven eigenlijk per definitie meer koolstofvastlegging ten opzichte van rooigewassen, zeker wanneer het stro wordt ingewerkt.

Tabel 4. Overzicht van maatregelvarianten en marginale kosten van koolstofvastlegging door het verbeteren van de gewasrotatie op Noordoostelijke Zand- en Dalgrond (NON) (Hoogmoed et al., 2021a).

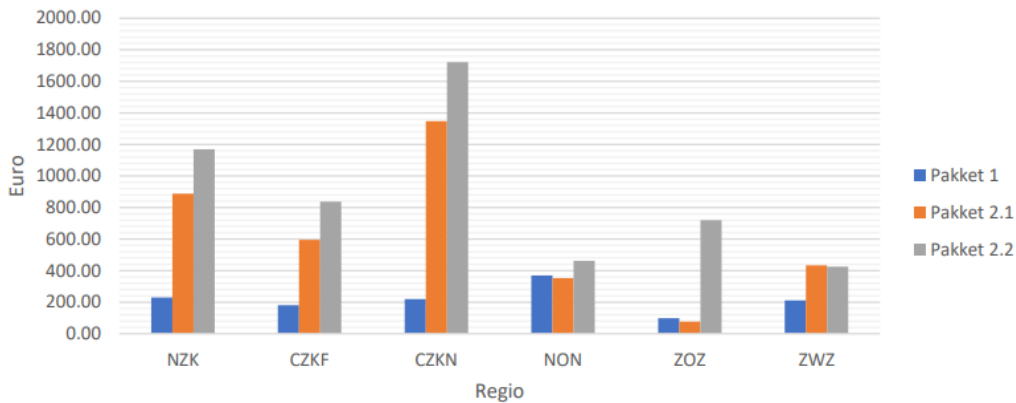
	Δ Koolstofvastlegging (ton/ha/jaar) t.o.v. referentie (A)	Bouwplansaldo (€/ha) (B)	Δ Bouwplansaldo t.o.v. referentie (C)	Marginale kosten koolstofvastlegging t.o.v. referentie (€/ton/jaar) (D = - (C/A))
Referentie		1.103		
Variant 1 - Extra graan	-0,55	1.027	-76	N.v.t.
Variant 2 - Extra groenbemesters	0,34	929	-174	59
Variant 3 - Rustgewas	-0,05	1.145	42	N.v.t.
Variant 4 - Graan en rustgewas	0,16	856	-247	1500

In Figuur 2 staan de kosten uiteengezet per pakket per regio die zijn berekend als het verschil in saldo ten opzichte van de referentie op basis van Verstand *et al.* (2022). Te zien is dat het bouwplansaldoverlies bij pakket 1 in iedere regio lager is dan bij pakket 2 behalve in ZOZ en NON⁵; daar is het verlies vrijwel even groot. Dus pakket 2, zowel 2.1 als 2.2, waarin het bouwplan wordt verruimd (naast dat groenbemesters worden geoptimaliseerd en gewasresten achtergelaten) geeft het grootste bouwplansaldoverlies, namelijk ca €400 in regio ZWZ en ca €1.700 ha/jaar in regio CZKN. In Figuur 3 staat de extra koolstofopslag ten opzichte van de referentie per pakket per regio. Te zien is dat de maatregelen in pakket 2 in alle regio's meer koolstof vastleggen dan in pakket 1. Figuur 2 en Figuur 3 komen samen in Figuur 4, waarin de marginale kosten van koolstofvastlegging zijn weergegeven. In de regio's NON en ZOZ liggen de marginale kosten van pakket 2.1 het laagst. In de resterende regio's, NZK, CZKF en CZKN, zijn de marginale kosten het laagste bij pakket 1. Die kosten bedragen in deze berekeningen minimaal €500 en maximaal €1.700/ton koolstof.

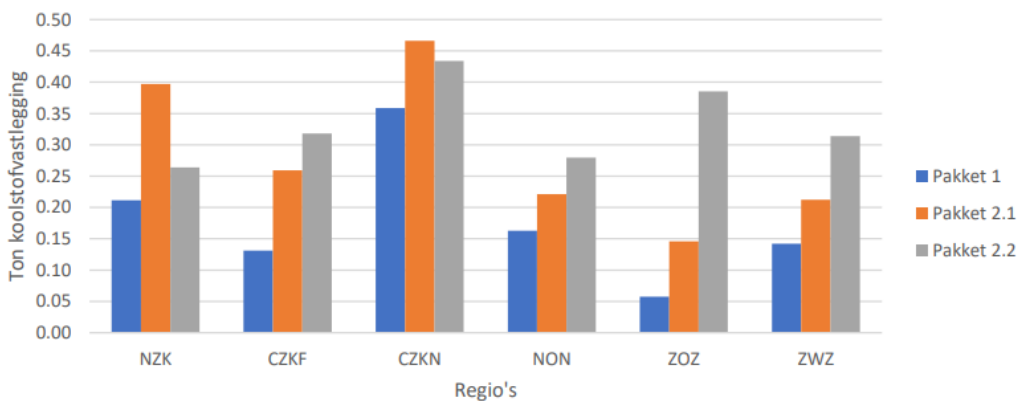
De marginale kosten per ton vastgelegde koolstof zijn in een aantal gevallen in pakket 2 lager dan in pakket 1 (in NON, ZOZ en ZWZ). In die gevallen is de extra koolstofvastlegging in pakket 2 duidelijk groter dan in pakket 1 terwijl tegelijkertijd het saldooverlies relatief klein is door een laag gemiddeld bouwplansaldo (in NON door de relatief lage saldi van zetmeelaardappelen, in ZOZ van snijmaïs en in ZWZ van een toch al groot aandeel granen in het bouwplan).

De resultaten van Verstand *et al.* (2022) liggen in lijn met de resultaten van Hoogmoed *et al.* (2021a). In beide studies liggen de marginale kosten van extra koolstofvastlegging door middel van bouwplanverruiming met graan hoger dan bij toepassing van extra groenbemesters. Dat komt doordat in veel gevallen het bouwplan niet aangepast hoeft te worden bij optimalisering van het gebruik van groenbemesters. De kosten van de teelt van een groenbemester zijn in het algemeen lager dan van bouwplanverruiming en de extra koolstofvastlegging is relatief hoger, mits de groenbemester tijdig gezaaid wordt en een behoorlijke ontwikkeling doormaakt.

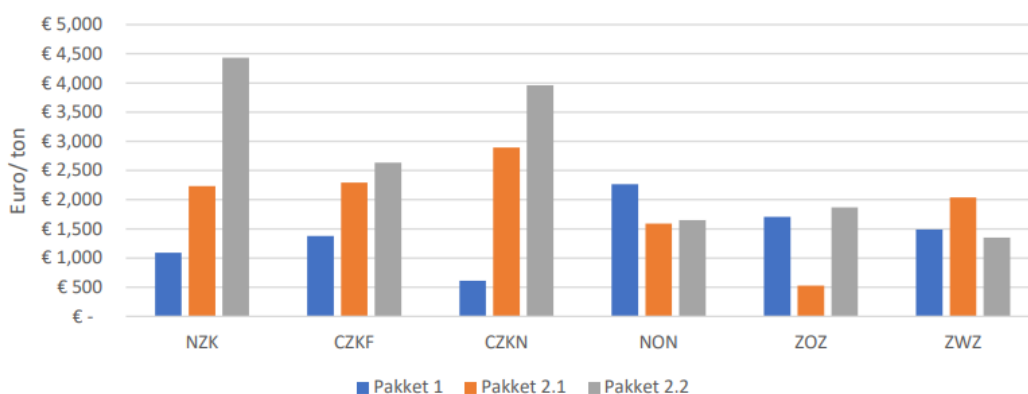
⁵ Zie voor de uitleg van de afkortingen de toelichting onder Figuur 2.



Figuur 2. Saldoverlies (€/ha/jaar) bij verschillende maatregelpakketten in verschillende regio's ten opzichte van een referentie (Verstand et al., 2022). De referentie is een opgesteld representatief bouwplan per regio. Pakket 1: Maximaliseren van groenbemesters en gewasresten, pakket 1.2: variant bouwplan + maximaliseren van groenbemester + gewasresten, pakket 2.2: andere variant bouwplan + maximaliseren van groenbemester + gewasresten. Regio's: NZK = Noordelijke Zeeklei, CZKF = Centrale Zeeklei Flevoland, CZKN = Noordoost Polder, NON = Noordoostelijke Zand- en Dalgronden, ZOZ = Zuidoostelijk Zand, ZWZ = Zuidwestelijke Zeeklei.



Figuur 3. Koolstofopslag in ton koolstof per hectare, per pakket, per regio ten opzichte van het referentiescenario (Verstand et al., 2022). De referentie is een representatief bouwplan per regio. Voor nadere toelichting op pakketten en regio's, zie onderschrift bij Figuur 2.



Figuur 4. Marginale kosten voor een ton extra koolstofvastlegging per jaar, per regio, per pakket (Verstand et al., 2022). Voor nadere toelichting op pakketten en regio's, zie onderschrift bij Figuur 2.

Van Dijk *et al.* (2012) rekenen de mineralenbenutting en bedrijfseconomische resultaten van meer graan in het bouwplan door in een scenario-studie. De conclusie die getrokken wordt uit de studie is dat bouwplanverruiming met graan gunstig is voor de bodemkwaliteit en vaak ook voor de mineralenbenutting maar ongunstig is voor het economisch bedrijfsresultaat. Uit de berekeningen van Van Dijk *et al.* (2012) kwam naar voren dat met name op bedrijven met poot aardappel forse opbrengststijgingen nodig zijn om het inkomensverlies te compenseren. Zij voegen daaraan toe dat die opbrengststijgingen op dit moment weinig realistisch lijken omdat de tot dan toe behaalde onderzoeksresultaten vooralsnog maar in beperkte mate aanwijzingen hebben gegeven dat verruiming leidt tot hogere opbrengsten. In proeven waarin wel opbrengststijgingen zijn gevonden lagen deze meestal tussen 0 en 5% (Van Dijk *et al.*, 2012).

Al met al zijn de kosten en baten op lange termijn voor de ondernemer hiermee nog niet in kaart gebracht. Zoals door Van Dijk *et al.* (2012) wordt benadrukt: het verschil in saldo betalen aan de boer vanuit milieuoverwegingen is te simpel. De boer heeft immers voordeel bij duurzamer bodembeheer. Een hoger organische stofgehalte levert voor een deel directe baten op, zoals het verbeteren van de bodemkwaliteit en in veel gevallen ook de mineralenbenutting van het gewas, die in een bijdrage aan de financiële opbrengst/ha kan worden uitgedrukt en in de cijfers zijn meegenomen (Van Dijk *et al.*, 2012). Voor een ander deel gaat het echter om baten op de langere termijn: ondergrondverdichting en winderosie zijn processen die jaar na jaar steeds meer schade veroorzaken, met een cumulatief effect (Van Dijk *et al.*, 2012). Alle boeren hebben er belang bij om deze processen tegen te gaan, maar hoe groot dat belang is, hangt af van de mate waarin de bedrijfsvoering gericht is op de lange termijn (Van Dijk *et al.*, 2012).

2.1.3 Ecosysteemdiensten

Bij vruchtwisseling worden de gewassen op een perceel afgewisseld om de opbouw van gewasspecifieke plaag- en ziekteproblemen te beperken of te verminderen. Een ruimere gewasrotatie op een perceel kan leiden tot de introductie van extra gewassen, zoals granen, wat op zijn beurt bijdraagt aan verschillende ecosysteemdiensten.

Allereerst vonden Hoogmoed *et al.* (2021b) dat bouwplanverruiming met een hoog aandeel graan vergeleken met een laag aandeel graan een significant positieve invloed had op de organische stofgehalten in de bodem. Bovendien vonden zij een lagere bodemdichtheid en een gemiddeld minder compacte structuur door bouwplanverruiming met extra graan. McConkey *et al.* (2002) melden dat percelen met een jaarlijkse vruchtwisseling van gewassen 27-430 kg C/ha/jaar meer opsloegen dan een vruchtwisseling met afwisselend kale braak en een gewas. Wel moet hier de kanttekening worden gemaakt dat de koolstofopslag in de studie van McConkey *et al.* (2002) plaatsvond in Canada op prairiebodems, waardoor deze exacte hoeveelheid koolstofvastlegging niet direct naar de Nederlandse context kan worden overgenomen. Echter geeft het wel aan dat een vruchtwisseling bij kan dragen aan extra koolstofvastlegging in landbouwbodems.

De manier waarop de vruchtwisseling ingevuld wordt, kan een aanzienlijke impact hebben op de bodemkwaliteit door verschillen in microbiële biomassa en het bijbehorende niveau van basale ademhaling, de hoeveelheden totaal organische en actieve koolstof, totaal stikstof en andere nutriënten (Aziz *et al.*, 2011). Uit een onderzoek in de VS, waarin naar drie soorten vruchtwisseling werd gekeken, bleek dat de bodemkwaliteit hoger was in een maïs-sojaboon-tarwe-kikkererwt-rotatie dan in een continue maïs- of maïs-sojabonenteelt (Aziz *et al.*, 2011).

Kuhlman *et al.* (2014) schatten in dat het verruimen van het bouwplan met bijvoorbeeld granen kan leiden tot 10% minder winderosie, door een verbeterd organische stofgehalte van de bodem. Hunt *et al.* (2020) ontdekten dat meer diverse vruchtwisselingssystemen voor 54% minder uitstoot van broeikasgassen zorgden. Daarbij kan diversificatie van gewassen een positieve impact hebben op de verspreiding van PM_{2,5} (fijnstof) (Hunt *et al.*, 2020).

Over het algemeen kan een verruimde gewasrotatie dus zorgen voor extra koolstofvastlegging in Nederlandse landbouwbodems, een verbeterde bodemkwaliteit, waaronder microbiële biomassa, de totaal organische en actieve koolstof, stikstof en andere nutriënten en het verminderen van winderosie. Daarbij kan een verbeterde gewasrotatie bijdragen aan een verminderde uitstoot van broeikasgassen en de verspreiding van fijnstof.

2.2 Gewasresten achterlaten

Met het achterlaten van gewasresten wordt bedoeld dat bijvoorbeeld stro op het perceel wordt achtergelaten en in de bodem wordt ingewerkt (Slier *et al.*, 2022; Van der Kolk *et al.*, 2021).

2.2.1 Agronomisch en -technisch

Gewasresten zijn materialen die na de oogst op cultuurgrond achterblijven. Wang *et al.* (2020) voerden een meta-analyse uit op 365 vergelijkingen uit 99 publicaties en ontdekten dat het achterlaten van gewasresten de bodemorganisch koolstof (SOC) met 11% verhoogde vergeleken met het verwijderen van de resten. Koopmans *et al.* (2021) evalueerden de maatregel 'gewasresten achterlaten' aan de hand van metingen van organische stof op verschillende momenten (Tabel 5).

Tabel 5. De gemiddelde gemeten effectieve organische stof in kg/ha van gewasresten (Koopmans *et al.* 2021).

Gewas	Gemiddelde effectieve organische stofvastlegging			
	Bovengronds	Ondergronds	Stro	Totaal
Suikerbieten	573	138	-	710
Zetmeelaardappelen	652	123	-	770
Consumptieaardappelen	328	188	-	520
Snijmaïs	134	381	-	520
Korrelmaïs	1.598	303	-	1.900
Graszaad - Engels raaigras	292	1.399	-	1.690
Wintergerst	1.917	496	945	2.410
Zomertarwe	2.045	949	1.053	2.990
Wintertarwe	1.949	772	1.518	2.720
Zomergerst	1.744	507	1.228	2.250
Zaaiuien	257	10	-	270

In de studie van Verstand *et al.* (2022) is naast de kosten en baten aandacht gegeven aan de implementatie in de praktijk. Het achterlaten van stro vindt in noordelijke regio's waar meer graan wordt geteeld minder animo omdat daar de stro-inkomsten een belangrijk deel uitmaken van het bedrijfssaldo en inkomen van de akkerbouwbedrijven.

2.2.2 Kosten en baten

De kosten en baten van het achterlaten van gewasresten worden behandeld in verschillende studies waarin de maatregel is afgebakend als het achterlaten van graanstro. Verstand *et al.* (2022) analyseerden de kosten en baten van het achterlaten van graanstro in combinatie met groenbemesters en in combinatie met bouwplanverruiming met graan. De kosten en baten van de maatregel zijn uitgewerkt voor zes verschillende regio's die ieder een regio-afhankelijk referentie bouwplan hebben. De combinatie van maatregelen die in de studie van Verstand *et al.* (2022) geanalyseerd is, maakt dat de opbrengstverhoging of -verlaging die enkel aan de maatregel te wijten is alleen te schatten is. Anders dan bij de maatregel bouwplanverruiming is het achterlaten van gewasresten meegenomen in beide koolstofmaatregelpakketten waardoor vergelijken alleen mogelijk is in combinatie met de andere maatregelen ten opzichte van de referentie. De marginale kosten van de maatregelpakketten staan uiteengezet in de eerder genoemde Figuur 4. De jaarlijkse kosten ofwel gemiste opbrengsten die de maatregel genereert, komen voort uit het niet verkopen

van het stro en die komen neer op gemiddeld €476/ha (KWIN) (Van der Voort, 2018). Echter ligt de prijs die een boer ontvangt voor het verkopen van stro in de praktijk vaak lager door de werkzaamheden, zoals het persen van stro en het afvoeren, wat vaak door een loonwerker of handelaar wordt uitgevoerd. Afvoer van stro betekent wel een lagere koolstofvastlegging, waarvan de omvang eenvoudig te berekenen is.

Kuhlman *et al.* (2014) hebben de kosten en de baten van de maatregel uitgewerkt voor de Veenkoloniën. Net als in Verstand *et al.* (2022) wordt er in de studie van Kuhlman *et al.* (2014) gekeken naar het inwerken van stro. De kosten die zij rekenen voor de maatregel, zijn gebaseerd op het onderploegen van gehakseld stro, geschat op €200 ha/jaar, zijnde de gemiste netto stro-opbrengst. Door de maatregel daalt de opbrengst met €96/ha in vergelijking met het referentiescenario bij een bouwplan met 50% zetmeelaardappel, 25% suikerbiet en 25% graan (Kuhlman *et al.*, 2014). De berekende kosten dalen met €27/ha. Hiermee ligt het door Kuhlman *et al.* (2014) berekende bouwplansaldo bij het achterlaten van stro €70/ha lager⁶ dan bij de verkoop van stro. Van het achterlaten van gewasresten is wel bekend dat op klei en zand respectievelijk 1.650 kg en 770 kg CO₂/ha/jaar kan worden vastgelegd (Schurer *et al.*, 2022).

Het aantal studies specifiek gericht op het achterlaten van gewasresten is lager dan het aantal studies gericht op bouwplanverruiming met (extra) graan. Het onderscheid tussen de twee maatregelen is gemaakt, omdat deze in de meeste studies apart behandeld worden. Desalniettemin is het goed mogelijk deze te combineren, zoals in Verstand *et al.* (2022) is gedaan waarmee de kosten hoger komen te liggen vanwege de gemiste stro-opbrengst van het extra graanareaal. De langetermijncosten en baten van het achterlaten van gewasresten zijn met deze informatie nog niet compleet. De literatuur is niet toereikend om iets te concluderen over de langetermijncosten en -baten. De kosten en de gemiste stro-opbrengsten zijn jaarlijks en veranderen niet sterk op de lange termijn⁷. De verwachting van bodemexperts is dat de baten op de lange termijn toenemen als door deze maatregelen de bodemkwaliteit ieder jaar beter wordt, met name op zandgrond, maar dat valt niet te concluderen uit deze literatuur.

2.2.3 Ecosysteemdiensten

Gewasresten hebben een aanzienlijk positief effect op de bodemkwaliteit en de waterkwaliteit, door de afstroming aan het oppervlak te verminderen en de waterinfiltratie en het grondwatergehalte te verbeteren (Fu *et al.*, 2021). Het aanvullende effect van het vergroten van de toevoer van voedingsstoffen in de bodem (N, P en K) was echter laag in een onderzoek van Ranaivoson *et al.* (2017). Smit *et al.* (2011) onderzochten maatregelen ter vermindering van nitraatuitspoeling, waaronder het achterlaten van gewasresten. Zij geven aan dat de reductie in nitraatuitspoeling naar verwachting beperkt is (5 kg/ha/jaar) (Smit *et al.*, 2011).

Ook de ecosysteemdienst 'biodiversiteit' kan enigszins worden beïnvloed door het achterlaten van gewasresten, maar dit verband blijft zwak. Liu *et al.* (2016) ontdekten echter dat het achterlaten van gewasresten uiterst effectief was in het vergroten van de bodembiodiversiteit, terwijl Ranaivoson *et al.* (2017) aangaven dat er weinig bewijs was voor een verband tussen gewasresten en een toename van de bodemfauna. Er bestaat geen sterk verband tussen gewasresten en de luchtkwaliteit of de menselijke gezondheid, maar de praktijk van het verbranden van gewasresten zoals in sommige landen wordt toegepast, kan leiden tot verhoogde uitstoot van luchtverontreinigende stoffen en een ernstige bedreiging vormen voor het menselijk welzijn (Lan *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022). Deze praktijk wordt echter in Nederland niet meer toegepast.

⁶ Exclusief de kosten van extra bemesting na het onderwerken van stro, om een goede C/N-balans te houden.

⁷ De opbrengsten van stroverkoop bedragen volgens KWIN 2018 (Van der Voort) voor wintertarwe €440 - €528 per ha, voor zomertarwe €440 per ha en voor zomergerst €420 per ha. De netto-opbrengsten hiervan worden berekend door de kosten van het persen en transport van het stro hiervan af te trekken, enkele honderden euro's per ha. Voor het hakselen van stro door de maaidorser zal daarnaast enige diesel nodig zijn. Wat betreft het constant blijven van de kosten, als meer boeren gaan hakselen daalt het aanbod en kan de prijs stijgen wat het potentieel weer interessanter maakt om stro te verkopen. De vraag naar stro wordt in Nederland overigens deels ingevuld met Frans product (Van der Spek, 2024).

2.3 Organische bemesting

Organische bemesting is bemesting met organisch materiaal zoals dierlijke mest of compost. Dierlijke mest omvat zowel vloeibare als ook vaste mest. Drijfmest is mest in vloeibare vorm en bestaat meestal uit een mengsel van uitwerpselen en urine van diverse landbouwhuisdieren, waaraan eventueel water is toegevoegd. Vaste mest daarentegen bevat minimaal 20% droge stof en slechts een kleine hoeveelheid urine. Vaste mest bestaat voor minstens 10% uit organische stof (CDM, 2017).

Compost kan worden gemaakt van plantaardige en dierlijke resten. Deze organische materialen breken onder aerobe omstandigheden tijdens het composteerproces versneld biologisch af (Paulin & Peter, 2008). In deze studie wordt zowel gekeken naar vaste organische mestsoorten (vaste dierlijke mest en compost) als naar drijfmest, dat in veel grotere hoeveelheden beschikbaar is dan vaste mest.

2.3.1 Agronomisch en –technisch

Voor de landbouwpraktijk is het belangrijkste effect van organische bemesting de verhoging van de bodemkwaliteit. Dit effect is onder andere bekeken door Hoogmoed *et al.* (2021b) en Schepens *et al.* (2022). Uit deze analyses blijkt dat organische bemesting een sterk effect heeft op het organische (kool)stofgehalte in de bodem, de bulkdichtheid, de stikstofvoorraad in de bodem, en in sommige gevallen op het bodemleven. Choudhary *et al.* (1996) constateren een toename van de nutriënten stikstof, fosfor, calcium en kalium. Selin Norén *et al.* (2022) geven aan dat bij grote hoeveelheden toegediende compost ook het fosfor- en kaliumgehalte in de bodem hoger is. Op bodemfysische aspecten (zoals de indringingsweerstand en scherpblokkige structuren) had de aanvoer van compost geen effect.

Vanuit agronomisch oogpunt is het belangrijk om te weten in hoeverre de nutriënten direct beschikbaar zijn voor het gewas of in welke mate deze nog gebonden zijn aan de bodem. Zo kunnen stikstof en fosfor gebonden zijn aan het organische materiaal in de bodem, fosfor aan ijzer en aluminium (bij een lage pH) of aan calcium (bij een hoge pH) en kalium en magnesium aan het klei-humus-complex. Op basis hiervan kan een op het te telen gewas afgestemd bemestingsplan worden opgesteld.

De beschikbaarheid van stikstof wordt doorgaans gemeten met het N_{min}-gehalte van de bodem. N_{min} is de gemineraliseerde stikstof (in de vorm van ammonium (NH₄⁺) of nitraat (NO₃⁻)), die direct kan worden opgenomen door het gewas.

Toediening van verse organische stof aan de bodem kan een bijdrage leveren aan de onderdrukking van plantparasitaire aaltjes, maar de effecten zijn evenals bij schimmels niet altijd positief (Postma *et al.*, 2010). Uit een literatuuroverzicht blijkt dat in de meeste gevallen na toediening van organische stof een actieve vermindering van het aantal plantparasitaire aaltjes optreedt, leidend tot een verminderde schade aan het gewas, of er werd geen effect gevonden. Er zijn echter ook studies gevonden waarin organische stof het aantal plantparasitaire aaltjes vermeerderd. Dit effect is afhankelijk van het soort aaltje; met name bij *Pratylenchus* leidt een toediening van organische stof vaak tot een vermeerdering van het aantal aaltjes. Geconcludeerd wordt dat de effecten van organischestoftoediening op pathogene aaltjes erg variabel zijn en uiteenlopen van een verlaging tot een toename van het aantal aaltjes. Een potentieel ziekteverend effect hangt van zeer veel factoren af, zoals het type organische stof, de aaltjessoort, de grondsoort, het gewas, de inwerktijd en -techniek, microbiële aspecten en omgevingsfactoren zoals temperatuur en vochtigheid. Ook de mechanismen die verantwoordelijk zijn voor een eventuele ziekteverende werking, kunnen uiteenlopen.

2.3.2 Kosten & baten

Het effect van het toepassen van vaste mest/compost op de kosten, baten en het bedrijfssaldo hangt van verschillende aspecten af, zoals de toegepaste hoeveelheid, de mate waarin is gecorrigeerd voor de werkzame nutriënten in de basisbemesting, de bemesting in het referentiescenario en de geteelde gewassen. Aan de kostenkant gaat het met name om de extra kosten die verbonden zijn aan een andere bemestingsstrategie dan de standaard bemesting. Aan de batenkant is het effect van extra bemesting op de gewasopbrengst van belang. In het vervolg van deze paragraaf kijken wij naar de volgende studies:

Kosten

- Vergelijking kosten tussen standaard organische bemesting en minerale bemesting (De Wolf et al., 2019);
- Vergelijking standaard bemesting en bemesting met schone compost/GFT-compost (De Wit, 2013);
- Vergelijking kosten tussen bemesting met dunne varkensdrijfmest en bemesting met rundveedrijfmest/potstalmest/GFT-compost (Janmaat en Koopmans, 2020);
- Marginale kosten van koolstofvastlegging door organische bemesting met rundveedrijfmest/potstalmest/GFT-compost (Hoogmoed et al. (2021a).

Baten

- Vergelijking gewasopbrengsten tussen organische bemesting en minerale bemesting (De Haan et al., 2018)
- Saldoberekeningen voor verschillende scenario's met compostaanvoer (De Wolf et al., 2019; Bijker et al., 2022; D'Hose et al (2012) en Selin Norén et al. (2022).

Kosten - De Wolf et al. (2019)

De Wolf et al. (2019) hebben gekeken naar het verschil tussen een standaard organische bemesting en een minerale bemesting. Op basis van de geanalyseerde gegevens stelden zij vast dat de kosten bij een standaard organische bemesting lager zijn dan bij een bemesting bestaande uit minerale meststofgiften. De kosten voor minerale bemesting kwamen neer op € 336/ha op bouwplanniveau, terwijl de kosten voor een standaard organische bemesting € 123/ha bedroegen. Extra compostgiften leidden tot hogere kosten, maar lagen met € 231/ha (inclusief werktuig- en arbeidskosten) nog steeds onder die voor bemesting met minerale meststoffen.

Kosten - De Wit (2013)

De Wit (2013) werkte de kosten en baten van drie scenario's uit: standaard bemesting (het referentiescenario), zeer schone compost en GFT-compost. De standaardbemesting bestaat uit rundveedrijfmest, aangevuld met stikstofkunstmest (KAS). In de standaardbemesting wordt dus ook al een organische meststof toegepast. Met een compostbemesting wordt de toevoer van organische stof echter nog verhoogd ten opzichte van een bemesting met alleen dierlijke mest. Het grote verschil tussen de referentie en de andere twee scenario's betreffen de bemestingskosten. Voor het aanwenden van dierlijke mest ontvangt de akkerbouwer geld van de veehouder terwijl hij voor compost moet betalen. Als de akkerbouwer dierlijke mest vervangt door compost moet hij dus niet alleen meer betalen, maar loopt daarnaast ook nog inkomsten mis omdat hij minder dierlijke mest ontvangt. In totaal zijn de kosten voor compost daarom aanzienlijk hoger, respectievelijk +€ 148/ha (voor GFT-compost) en +€ 516/ha (voor zeer schone compost). Zeer schone compost is duurder dan GFT-compost, omdat schone compost, zoals de naam al zegt, minder vervuild is en van betere kwaliteit is dan GFT-compost. Verder worden beperkte meerkosten gemaakt voor extra kunstmest om de N gebruikruimte op te vullen.

Kosten - Janmaat en Koopmans (2020)

Janmaat en Koopmans (2020) rekenden de economische effecten van drie varianten van bemesting door ten opzichte van de referentie. De referentiebemesting bestaat uit dunne varkensdrijfmest en de drie varianten zijn onbewerkte

rundveedrijfmest, potstalmest en GFT-compost. De auteurs merken op dat de drie varianten niet helemaal representatief zijn, omdat akkerbouwers in de meeste gevallen verschillende bemestingsvarianten combineren in hun bemestingsplan. Om een indruk te krijgen van het verschil in kosten tussen de varianten is het echter noodzakelijk om apart te kijken naar de verschillende varianten. Uit de resultaten komt naar voren dat bemesting met een combinatie van potstalmest en kunstmest met € 672/ha de meeste kosten met zich meebrengt, gevolgd door bemesting met een combinatie van GFT- en kunstmest met € 511/ha. In de referentiesituatie en de bemesting met rundveedrijfmest heeft de akkerbouwer negatieve kosten (hij ontvangt geld), namelijk -€ 277/ha voor dunne varkensdrijfmest en -€ 44/ha voor rundveedrijfmest, beide na correctie van de benodigde kunstmest. De kosten van de organische mest zelf bedragen -€440, -€200, €475 en €273 voor respectievelijk varkens- en runderdrijfmest, potstalmest en GFT-compost⁸.

Kosten - Hoogmoed et al. (2021a)

Hoogmoed et al. (2021a) bouwen voort op de analyse van Janmaat en Koopmans (2020). Op basis van de door Janmaat en Koopmans berekende kosten voor de verschillende bemestingsscenario's berekenen zij de kosten voor de opslag van 1 ton koolstof (C) in de bodem uit de aanvoer van organische stof. Zij definiëren deze kosten als marginale kosten van koolstofvastlegging door organische mest van verschillende bemestingsvarianten ten opzichte van het referentiescenario.

In het referentiescenario is de koolstofvastlegging 0,73 ton C/ha. In het scenario met rundveedrijfmest wordt 1,56 ton koolstof per ha vastgelegd, 0,83 ton C/ha meer dan in de referentie. Ten opzichte van het referentiescenario bedragen de kosten voor het extra vastleggen van 1 ton koolstof per ha dan € 280/ton C/jaar. In het scenario met potstalmest wordt 2,01 ton koolstof per ha vastgelegd, 1,28 ton C/ha meer dan in de referentie. Hier bedragen de marginale kosten voor koolstofvastlegging € 739/ton/jaar. In het scenario met GFT-compost wordt met 3,60 ton per ha de meeste koolstof vastgelegd, 2,87 ton C/ha meer dan in de referentie. De marginale kosten bedragen in dit scenario € 274/ton/ha.

Baten – De Haan et al. (2018)

De Haan et al. (2018) volgen de gewasopbrengsten van twee bemestingsstrategieën (organisch en mineraal) op de lange termijn. De proef is gestart in 2001 en de resultaten gaan over de jaren 2011 t/m 2016. Zij concluderen dat er geen significant verschil in marktbaar opbrengst optreedt.

Baten – De Wolf et al. (2019), Bijker et al. (2022), D'Hose et al (2012) en Selin Norén et al. (2022)

Op gronden waar gedurende een lange termijn niet organisch is bemest (~1000kg EOS ha/jaar) leidt de aanvoer van compost wel tot een opbrengstverhoging, tonen De Wolf et al. (2019) en Bijker et al. (2022) middels saldoberekeningen aan. Tabel 6 toont de directe kosten (aanschaffen van mest/compost en werktuig- en arbeidskosten) en baten (gewasopbrengsten).

⁸ In de hierboven weergegeven berekeningen van Janmaat en Koopmans is gerekend met een kostprijs van -€15, -€5, €20 en €10 per ton voor respectievelijk varkens- en runderdrijfmest, potstalmest en GFT-compost. Op de website van Goed Bodembeheer ([mest en compost \(goedbodembeheer.nl\)](http://mest.en.compost.goedbodembeheer.nl)) staan prijzen voor GFT-compost variërend van €3 tot €16 per ton. Voor runder- en geitenpotstalmest wordt ongeveer €5,50 betaald. Vergeleken met de situatie in 2024 zijn de leverprijzen voor drijfmest door Janmaat en Koopmans te laag ingeschat (dat wil zeggen dat akkerbouwers meer geld per ton mest verkrijgen) en die van potstalmest en GFT-compost te hoog, namelijk ongeveer het dubbele waarover ze in 2024 verkrijgbaar zijn. Deze lagere kosten nemen niet weg dat het verschil tussen drijfmest met geld toe ontvangen en investeren in stalment of compost tamelijk groot is.

Tabel 6. Het economische bedrijfsresultaat bij organische stof maatregelen (€/ha/jaar). Gebaseerd op de Wolf et al. (2019) en Bijker et al. (2022), overgenomen uit Selin Norén et al. (2022).

Grondsoort	Behandeling	Vershil kosten (€/ha/jr)	Vershil opbrengsten (€/ha/jr)	Totaal verschil (€/ha/jr)
Zand	Laag t.o.v. standaard	- €213	- €610	- €823
	laag + compost t.o.v. laag	- €92	€490	€398
	Standaard + compost t.o.v. standaard	- €108	€257	€149
Dalgrond	Compost t.o.v. standaard bemesting	- €121	€37	- €43

D'Hose et al. (2012) presenteren de resultaten van een proef met een looptijd van 4 jaar waarin compost is aangevoerd. Volgens hen heeft de jaarlijkse aanvoer van farm compost (compost afkomstig van agrarische bedrijven) geleid tot een verhoogde opbrengst van de vier gewassen in het bouwplan: aardappel, voederbiet, maïs en spruiten. Zij schrijven dit toe aan het langzaam vrijkomen van stikstof. Deze resultaten traden pas op in jaar 4 van de proef. Bij een proef op centrale klei met een looptijd van 5 jaar leidde de aanvoer van (grote hoeveelheden) compost tot een opbrengstverhoging in graan, erwten en pootaardappel. Hier is de standaardbemesting niet gecorrigeerd voor de compost. Ook hier worden de effecten grotendeels toegeschreven aan de verhoogde beschikbaarheid van stikstof (Selin Norén et al., 2022). In een proef van 4 jaar op Veenkoloniale dalgrond leidde het gebruik van compost tot een significant hogere opbrengst van suikerbiet van 3%. Op de overige gewassen was het effect niet significant (Selin Norén et al., 2022). In totaal leidde het gebruik van compost daar tot een verlaging van het bouwplansaldo van €43 ha/jaar (Tabel 6). Proefresultaten over een periode van 10 jaar of langer waren niet beschikbaar.

2.3.3 Ecosysteemdiensten

Organische bemesting kan er aan de ene kant voor zorgen dat ecosysteemdiensten door de boden verhoogd en/of verbeterd worden, aan de andere kant kan organische bemesting ook negatieve milieueffecten hebben. Hieronder kijken we zowel naar de ecosysteemdiensten koolstofvastlegging, biodiversiteit & bodemleven en bodemstructuur & waterhuishouding als ook naar de mogelijk negatieve effecten door uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater en emissie naar de lucht (luchtverontreiniging).

Koolstofvastlegging

Zowel drijfmest als vaste mest hebben het potentieel om het gehalte aan bodemorganische koolstof te verhogen en dus ook te zorgen voor meer koolstofvastlegging in de bodem, terwijl minerale meststoffen (kunstmest) dit potentieel niet hebben (Jones et al., 2006; De Los Rios et al., 2022; Liu et al., 2015; Maltas et al., 2018). Zavattaro et al. (2017) hebben in een meta-studie aangetoond dat de koolstofvastlegging door het gebruik van organische bemesting met vaste mest (stalmest) bijna twee keer zo hoog was als dat van vloeibare mest (drijfmest). Het effect op bodemorganische koolstof is eenvoudig(er) te moneteren via het systeem van carbon credits.

Bodemkwaliteit, bodemstructuur en waterhuishouding

Hoogmoed et al. (2021b) en Schepens et al. (2022) kijken naar het effect van organische bemesting op de bodemkwaliteit. Zij tonen aan dat organische bemesting een sterk effect heeft op de bodemorganische (kool)stof, de bulkdichtheid, de stikstofvoorraad in de bodem en in sommige gevallen op het bodemleven. Bij grote hoeveelheden toegediende compost is ook het fosfor- en kaliumgehalte in de bodem hoger. Op bodemfysische aspecten (zoals de indringingsweerstand en scherpblokkige structuren) had de aanvoer van compost geen effect (Selin Norén et al. 2022).

Bemesting met vaste of drijfmest zorgt voor een verbeterde bodemstructuur (Cooledge et al., 2022; Bosch-Serra et al., 2020). De langzame afbraak van organisch materiaal is effectief bij het verhogen van de organische stof in de bodem, waardoor de bodemvruchtbaarheid toeneemt en de bodemstructuur en voedingsstoffen behouden blijven (Kelbesa,

2021). Er ontstaan verdere positieve effecten op de waterkwaliteit naarmate de waterdynamiek van de bodem verbetert, naast de waterinfiltratie en het watervasthoudend vermogen. Dit heeft tot gevolg dat de irrigatiebehoeften afnemen.

Biodiversiteit en bodemleven

Vergeleken met kunstmest zorgt organische bemesting voor een bevordering van de bodembiodiversiteit (Königer *et al.*, 2021). Martinez-Blanco *et al.* (2013) geven aan dat compost een positieve invloed heeft op de biodiversiteit en dan met name op de bodembiodiversiteit op lange termijn. Wanneer compost op de bodem wordt aangebracht, neemt het aantal microben in de bodem toe. Hierdoor neemt de algehele gezondheid van de bodem toe en er is indicatie dat een divers bodemleven de bodemweerbaarheid tegen ziektes positief beïnvloed (Postma *et al.*, 2020). Extra microben in de bodem helpen ook de koolstofvastlegging te vergroten. De vastgestelde effecten op de bodemvruchtbaarheid en het bodemleven zijn (nog) niet gemonetariseerd.

Luchtverontreiniging

Zowel vaste als vloeibare organische mest kan leiden tot uitstoot van verschillende luchtverontreinigende stoffen, zoals ammoniak, lachgas of fijnstof. Ammoniakemissie kan leiden tot bodemverzuring in de omgeving wat een afname van de diversiteit van plantensoorten tot gevolg kan hebben (Guthrie *et al.*, 2018). Daarnaast hebben verschillende onderzoeken aangetoond dat verhoogde ammoniakemissies een negatief effect kunnen hebben op de ademhalingsgezondheid van degenen die met vee omgaan (Wyer *et al.*, 2022). Vaste mest, mits op de juiste manier opgeslagen, leidt tot minder uitstoot van luchtverontreinigende stoffen in vergelijking met natte mest zoals drijfmest. Aan de andere kant kan het uitrijden van vaste mest en het niet inwerken daarvan, zoals op bijvoorbeeld grasland, leiden tot een verhoogde ammoniakemissie. Ook compostering heeft negatieve gevolgen voor de luchtkwaliteit door de uitstoot van ammoniak, vluchtige organische stoffen (VOS) en fijnstof (PM_{2,5}) (Nordahl *et al.*, 2023).

Bos *et al.* (2017) keken ook naar de broeikasgasemissie bij toediening van organische mest. Vanuit broeikasgasperspectief is een maximale toename van 0,75 kg N₂O-N/100 kg extra koolstofvastlegging geoorloofd, omdat anders het totale effect op de broeikasgasemissie een netto toename in plaats van een afname is. Dan heeft het dus geen zin om organische mest toe te dienen met als doel klimaatmitigatie. Deze richtlijn werd alleen met de aanvoer van compost gehaald. Het effect van de koolstofvastleggende maatregelen op lachgasemissies wordt momenteel verder onderzocht binnen het programma Slim Landgebruik. Voorlopige resultaten daarvan zijn beschikbaar in CO₂Bodem (Slier *et al.*, 2024). Het alternatief is gebruik van kunstmest. Met name de productie van N-kunstmest gaat gepaard met een aanzienlijk gebruik van (meestal) fossiele brandstoffen en dus met broeikasgasemissies.

Over het algemeen kan (de opslag van) mest zorgen voor een verslechterde luchtkwaliteit. Maatregelen zoals het filteren van stallucht, het gebruik van bodembedekking in de stal en de afdekking van mestopslag, kunnen er echter voor zorgen dat mest een minder negatieve impact op de luchtkwaliteit heeft (Copeland, 2010).

Uitspoeling naar water

Met de aanvoer van organisch materiaal, zoals dierlijke mest en compost, worden nutriënten (met name stikstof in de vorm van nitraat) aan de bodem toegevoegd, die in principe ook weer uit kunnen spoelen naar grond- en oppervlaktewater. Hierbij speelt aanwezigheid van vegetatie een belangrijke rol. Het risico op uitspoeling is met name groot in periodes zonder gewasgroei omdat er dan geen nutriënten kunnen worden opgenomen door de planten. Aan de ene kant leidt een lagere aanvoer van organische stof en daarmee van organisch gebonden stikstof tot een lagere stikstofmineralisatie, waardoor het risico op vrijkomende stikstof in periodes zonder of weinig gewasgroei vermindert. Aan de andere kant leidt toevoer van nutriënten in periodes met vegetatie tot hogere gewasopbrengsten en daardoor

tot een hogere onttrekking van nutriënten. Van Eerten-Janssen *et al.* (2019) geven een aanzet tot het moneteriseren van de maatschappelijke kosten van nitraatuitspoeling.

Om in te schatten of een bodem gevoelig is voor uitspoeling kan worden gekeken naar het N_{min}-gehalte in de bodem. Dat is de hoeveelheid gemineraliseerde stikstof die direct kan worden opgenomen door het gewas of die uit kan spoelen. Met name het effect van compost op N_{min}-gehaltenes laat wisselende resultaten zien. Selin Norén *et al.* (2022) kijken naar N_{min}-metingen in het najaar, wat een indicatie is voor het risico op uitspoeling. Op zand leidden de standaard en de lage organischestofaanvoer niet tot verschillende N_{min}-gehaltenes in het najaar en ook niet in de gemeten nitraatuitspoeling. Bij de aanvoer van groencompost werd wel een hogere nitraatuitspoeling gemeten (een toename van ongeveer 12 mg NO₃/l). Op klei werden bij toepassing van compost eveneens significant hogere N_{min}-gehaltenes gemeten in het najaar. Ook D'Hose *et al.* (2012) hebben nitraatresiduen gemeten na het gebruik van compost. Zij concluderen dat er geen consistent effect van de aanvoer van compost op nitraatuitspoeling was. Smit *et al.* (2011) evalueren maatregelen om nitraatuitspoeling te beperken in de zandgebieden, waaronder het vervangen van drijfmest door stalmest of compost. Volgens hen levert het aanvoeren van stalmest een reductie van de stikstofuitspoeling tussen de 5-20 kg/ha/jaar op en met compost van meer dan 20 kg/ha/jaar.

Over het algemeen kan (de opslag van) mest zorgen voor een verslechterde luchtkwaliteit. Maatregelen zoals het filteren van stallucht of gebruik van bodembedekking in de stal, kunnen er echter voor zorgen dat mest een minder negatieve impact op de luchtkwaliteit heeft (Copeland, 2010). Daarnaast zorgen zowel bemesting met vaste mest als drijfmest voor een verbeterde bodemstructuur (Cooledge *et al.*, 2022; Bosch-Serra *et al.*, 2020). Vergeleken met kunstmest zorgt organische bemesting voor een bevordering van de bodembiodiversiteit (Königer *et al.*, 2021).

2.4 Groenbemesters

Een groenbemester wordt geteeld om organische stof in de grond te brengen, om aaltjes te bestrijden of de bodem bedekt te houden. Wat het hoofddoel ook is, een geslaagde groenbemester draagt bij aan de vastlegging van koolstof in de vorm van organische stof, zowel door het wortelstelsel als door het onderwerken van bovengrondse biomassa.

2.4.1 Agronomisch en -technisch

Het effect van een groenbemester op gewasopbrengsten wordt in meerdere studies beschreven. Selin Norén *et al.* (2022) beschrijven de effecten van een groenbemester in een gewasrotatie op centrale zeeklei (looptijd proef: 10 jaar), zowel in een gangbaar als in een biologisch systeem. Het effect is bekeken voor zomergerst, conservenerwt, suikerbiet, consumptieaardappel, haver en peen. Bij geen van deze teelten leidde de teelt van een groenbemester tot een significant hogere of lagere opbrengst (Selin Norén *et al.*, 2022). De hypothese was hierbij dat de fosfaat en stikstof die de groenbemester op zou nemen, beschikbaar zou komen voor het volggewas en in percelen met een lage fosfaattoestand zou dat resulteren in een hogere productie (Van Wijk, 2014). Het volggewas nam na een groenbemester nagenoeg dezelfde hoeveelheid stikstof en fosfaat op als zonder groenbemester. Daaruit blijkt dat beide nutriënten op deze percelen niet beperkend waren voor de opbrengst.

Van Geel *et al.* (2007) deden op twee locaties onderzoek naar twee verschillende groenbemesters en het effect op twee verschillende volgteelten (looptijd proef: 1 jaar). In Lelystad vonden zij het volgende: de voorafgaande teelt van een groenbemester leidde tot minder vochtgebrek in de droge zomer en dat resulteerde in een 600 kg/ha hogere korrelopbrengst bij zomergerst. Een groenbemesterteelt met bladrammenas leidde bij bieten tot een hogere wortelopbrengst (0,7 - 6,8 ton per ha meer) en dat resulteerde in een financiële meeropbrengst van maximaal €400/ha. Na Engels raaigras was de financiële opbrengst per ha van de bieten niet duidelijk hoger dan zonder voorafgaande groenbemester. Deze resultaten verschilden van de resultaten uit de Kollumerwaard. De voorafgaande teelt van

bladrammenas leidde daar tot een 800 kg/ha hogere korrelopbrengst bij zomergerst door een hogere korrelzetting, waarschijnlijk als gevolg van een hogere stikstofmineralisatie in het voorjaar (nalevering uit de ondergewerkte bladrammenas). De teelt van bladrammenas leidde te Kollumerwaard niet tot een hogere bietenopbrengst of -kwaliteit (Van Geel *et al.*, 2007).

Barel *et al.* (2018) onderzochten verschillende groenbemester(mengsels) op een zandgrond (looptijd proef: 2 jaar). De teelt van chicorei profiteerde van vrijwel alle groenbemester(mengsels), terwijl haver enkel profiteerde van vlinderbloemigen als voorvrucht. Buishand en Snoek (1982) geven aan dat vlinderbloemigen juist een nadelig effect hebben op de teelt van peen, en ook Phacelia kan een nadelig effect hebben op de peen. Voor fijnzadige gewassen (zoals peen) is het belangrijk dat gewasresten goed zijn ondergewerkt en verteerd.

2.4.2 Kosten & baten

Verstand *et al.* (2022) berekenden de kosten en baten van koolstofmaatregelpakketten. Groenbemesters zijn in combinatie met gewasresten achterlaten en met bouwplanverruiming in één pakket behandeld. De opbrengsten zijn uit deze studie niet los van elkaar besproken. De directe kosten van een groenbemesterteelt bestaan uit de aanschaf van zaaizaad, grondbewerking en het zaaien van de groenbemester en het doodspuiten/klepelen en onderwerken van de groenbemester. De kosten voor zaaizaad variëren tussen €100 en €300 ha/jaar (Handboek Groenbemesters, 2019). De Wit *et al.* (n.d.) concluderen uit de PPS Beter Bodembeheer dat de teelt van een groenbemester rond de €200/ha kost op zowel zand- als kleigrond.

Het goed onderwerken van de groenbemester kan echter extra werkgangen (en dus meer arbeid en diesel) betekenen. Aangenomen wordt dat een opbrengstverhoging van 2% nodig is om de kosten van de groenbemesterteelt te compenseren (Haagsma & Klasse Bos, 2019). Smit *et al.* (2011) schatten de besparing op de stikstofbemesting door groenbemesters op 10-30 kg/ha/jaar. In het [Handboek Bodem & Bemesting](#) is een uitsplitsing gemaakt in categorieën groenbemesters en inwerkdatum, waarbij de besparing uiteenloopt van 0 tot 60 kg N/ha. De teelt van een groenbemester geeft mogelijk een verlaging van de onkruiddruk; hier is (nog) geen financiële waarde aan toegekend. Het effect van verschillende groenbemesters op grondgebonden ziekten en plagen is redelijk tot goed in beeld. De effecten van groenbemesters op bodemweerbaarheid en eventuele financiële consequenties (kosten en baten) daarvan zijn beperkt. Dit geldt ook voor de mogelijke effecten van groenbemesters op de bodemstructuur, vochtbeschikbaarheid en beregeningsbehoefte. Aangenomen kan worden dat de laatstgenoemde effecten en daarmee de financiële consequenties beperkt zijn. Maar dat hangt sterk af van de uitgangssituatie (Moinet *et al.*, 2023).

2.4.3 Ecosysteemdiensten

Groenbemesters zijn gunstig voor een aantal ecosysteemdiensten, met name voor de water- en bodemkwaliteit, omdat de afstroming en uitspoeling van het oppervlak worden verminderd en nutriënten zoals fosfor en stikstof worden vastgehouden. Over het effect van groenbemesterteelten op de nutriëntrecycling is relatief veel bekend (Selin Norén *et al.*, 2022; Dekkers *et al.*, 2021). Bij een groenbemesterproef op klei bleek dat groenbemesters 10-38 kg fosfaat/ha opnamen (van Wijk, n.d). Dekkers *et al.* (2023) vonden zelfs een opname tot 60 kg fosfaat/ha. De stikstofopname loopt uiteen tussen de 5 en 163 kg N/ha (Timmer *et al.*, 2021; Vos & Van der Putten, 2004). In hoeverre dit uitspoeling voorkomt en er stikstof beschikbaar komt voor de volgteelt hangt af van het type groenbemester en het tijdstip en de manier van onderwerken. Op een zuidelijke zandgrond vonden van Geel & Verstegen (2008) een lager N_{min}-gehalte in het najaar na een groenbemesterteelt. De reductie was 53 en 35 kg N/ha in de laag 0-90 cm respectievelijk voor winterrogge en -gerst bij een zaaidatum in september. Bij een zaaidatum in oktober was deze reductie lager. Deze resultaten betreffen het effect van één groenbemesterteelt. Ook Porre *et al.* (2020), Schröder *et al.* (1992), Van Dijk *et al.* (1995) en Fan *et al.* (2020) vonden een lagere uitspoeling bij de teelt van groenbemesters. De groenbemesters wikke en Phacelia vormen een uitzondering, waarbij een vergelijkbare uitspoeling werd gevonden als bij de referentie (Porre

et al., 2020). Smit *et al.* (2011) schatten de reductie van stikstofuitspoeling op meer dan 20 kg/ha/jaar bij de teelt van een stikstofvanggewas of een groenbemester, bij voorkeur een winterharde op zandgrond. Door minder verliezen kan de besparing op de N-gift oplopen tot 60 kg N/ha bij een goed ontwikkelde groenbemester (HBB, n.d.). Ook het omgekeerde kan gebeuren, bijvoorbeeld door immobilisatie na het onderwerken van stro (Van Balen & Haagsma, 2010).

Vanggewassen (en bodembedekkingsgewassen) hebben verder het potentieel om de koolstofvastlegging en het bodemorganisch koolstofgehalte te vergroten (Seitz *et al.*, 2022). Selin Norén *et al.* (2022) en Schepens *et al.* (2022) vonden echter geen meetbaar effect van de groenbemesterteelten op het bodemorganische koolstofgehalte (gemeten na respectievelijk 10 en 4 jaar). Porre *et al.* (2020) vonden een klein maar significant effect (gemeten na 4 jaar). Zoals Bos *et al.* (2016) ook aangeven, is het effect van een groenbemester op het vastleggen van koolstof in de bodem beperkt.

Er is in de literatuur geen duidelijk verband te vinden met verbeteringen in de luchtkwaliteit, recreatie of menselijke gezondheid. Vanggewassen hebben een zwak verband met een verbeterde biodiversiteit, aangezien een verbeterde bodemkwaliteit meer bronnen voor insecten en vogels oplevert. Drost *et al.* (2019) vonden echter verschillen in bodembiodiversiteit op zandgrond. Bij de teelt van een groenbemester nam de schimmelbiomassa toe. Ook vonden zij een hogere beschikbaarheid van nutriënten, vooral bij groenbemesters met een lage C/N verhouding. Op een Zuidelijke zandgrond is een proef aangelegd met onder andere haver en rogge als groenbemester. Martínez-García *et al.* (2018) concludeerden dat de teelt van groenbemesters leidde tot een verhoogde activiteit van het bodemleven, een andere samenstelling van bodemorganismen en een hogere kwaliteit van bodemorganischestof (gemeten na 10 jaar).

Per saldo is het lastig om concrete bedragen aan deze ecosysteemdiensten te verbinden.

2.5 Akkerranden

Akkerranden zijn stroken land tussen de akkergrens en het gewas. Daarbij zijn bufferstroken een van de meest populaire akkerranden die worden toegepast. Vogelakkers zijn percelen die in zijn geheel worden ingezet als schuilplek en voedingsbron voor met name vogels. De gewasopbrengst (voornamelijk luzerne) is daarbij van ondergeschikt belang, wat ook van toepassing is op akkerranden en bufferstroken. In 2.6 wordt nader ingegaan op vogelakkers; in deze paragraaf komen deze wel voor als onderdeel van vergelijkende berekeningen.

2.5.1 Agronomisch en -technisch

Akkerranden zijn vooral bekend als bloemstroken langs sloten. Ze geven kleur aan het landschap en dragen bij aan biodiversiteit. Door hun beperkte breedte is hun bijdrage aan de koolstofvastlegging van het perceel als geheel beperkt. Bij vogelakkers is dat anders, omdat het daar om gehele percelen gaat.

2.5.2 Kosten & baten

Hoogmoed *et al.* (2021a) hebben een economische analyse naar akkerranden uitgevoerd in vier regio's. In de resultaten wordt een vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde bouwplansaldi van een referentiebouwplan, een bouwplan met een vogelakker, een bouwplan met een eenjarige kruidenrijke akkerrand en een bouwplan met een meerjarige kruidenrijke akkerrand. In de kosten en baten zijn ANLb-subsidies, kosten voor het zaaien van de randen, besparing op bemesting en gewasbeschermingsmiddelen in de akkerrand, de brandstofkosten en arbeidsbehoefte voor het beheer van de akkerranden, de opbrengst bij de vogelakker (luzerne) en het verlies van productief gewas meegenomen. Dit zijn kosten en baten op de korte termijn. Een mogelijk effect van de akkerrand op het naastgelegen hoofdgewas is in deze studie niet meegenomen.

Een overzicht van de resultaten wordt gegeven in Tabel 7. Op centrale klei (Noordoostpolder) blijkt dat het bouwplan met de eenjarige kruidenrijke akkerrand (op 5% van het bedrijf) gemiddeld het hoogste saldo per hectare oplevert

(€4.302). Dit is te verklaren doordat de akkerrand in de plaats komt van een gedeelte van de lager salderende wintertarwe. De vogelakker (€4.225) en de meerjarige kruidenrijke akkerrand (€4.173) leveren het laagste gemiddelde saldo op ten opzichte van een referentiesaldo van €4.281. Op centrale klei (Oostelijk en Zuidelijk Flevoland) blijkt dat het bouwplan met de eenjarige kruidenrijke akkerrand (€2.939) en de vogelakker (€2.930) gemiddeld het hoogste saldo per hectare opleveren⁹. Voor de eenjarige kruidenrijke akkerrand komt dit doordat het in plaats komt van een gedeelte van de lager salderende wintertarwe. Voor de vogelakker is het gemiddelde saldo hoger dan het saldo van het referentiebouwplan door vergoeding voor natuurbeheer en de opbrengsten van luzerne. De meerjarige kruidenrijke akkerrand levert gemiddeld het laagste saldo op (€2.879). Dit komt doordat de opname van deze variant in het bouwplan ten koste gaat van het aandeel gewassen met hogere saldi. Door de meerjarigheid komt de akkerrand namelijk niet alleen op tarwepercelen te liggen. Het referentiesaldo is gesteld op €2.918. Op de Noordoostelijke zand- en dalgronden blijkt dat de varianten met natuurbeheer het hoogste gemiddelde saldo per hectare opleveren. De vogelakker heeft hier het hoogste gemiddelde saldo per hectare (€1.238) ten opzichte van de andere gewassen in het bouwplan. Hierop volgen de meerjarige en de eenjarige kruidenrijke akkerrand, met respectievelijk een gemiddeld saldo van €1.187 en €1.182. Het referentiebouwplan geeft het laagste saldo (€1.167). Voor het Zuidwestelijk zeekele gebied geldt dat het bouwplan met de vogelakker (€2.266) gemiddeld het hoogste saldo per hectare oplevert. Dit is te verklaren doordat het gemiddelde saldo hoger is dan van het referentiebouwplan (€2.239) door de vergoeding voor natuurbeheer en de opbrengsten van luzerne.

Tabel 7. Bouwplansaldo bij verschillende vormen van akkerrand. Het saldo wordt uitgedrukt in €/ha/jaar. Bron: Hoogmoed et al., 2021a.

	Referentie	Vogelakker ^a	Eenjarige kruidenrijke akkerrand	Meerjarige kruidenrijke akkerrand
Centrale zeelei Noordoostpolder	€4.281	€4.225	€4.302	€4.173
Centrale zeelei Oostelijk en Zuidelijk Flevoland	€2.918	€2.930	€2.939	€2.879
Noordoostelijk zand- en dalgebied	€1.167	€1.238	€1.182	€1.187
Zuidwestelijk zeekele gebied	€2.239	€2.266		

a) Een complicatie bij het aanleggen van een vogelakker is dat het meerdere jaren blijft liggen op een perceel (en niet alleen aan de rand zoals bij een akkerrand). Het betreffende perceel kan daardoor niet meedoen in de gebruikelijke rotatie, waardoor het areaal hoogsalderende gewassen in het bouwplan afneemt. Daarvoor is hier niet gecorrigeerd.

2.5.3 Ecosysteemdiensten

Verschillende soorten akkerranden hebben een verschillend potentieel voor koolstofvastlegging, waarbij boomstroken een hoger potentieel hebben dan bufferstroken of hagen (Falloon *et al.*, 2004). Horton *et al.* (2016) ontdekten dat akkerranden ook het potentieel hadden om luchtverontreinigende stoffen te absorberen en te verwijderen, waardoor ze ook bijdroegen aan een betere luchtkwaliteit (Syngenta *et al.*, 2018). Deze positieve relatie is niet zo sterk als te zien is bij koolstofvastlegging. Akkerranden, zoals bufferstroken, hebben een positieve impact op andere ecosysteemdiensten zoals bodemkwaliteit (door vermindering van bodemerosie) en waterkwaliteit (door vermindering van stikstofuitspoeling) (Stoate *et al.*, 2009).

Het sterkste positieve verband van akkerranden op ecosysteemdiensten in de literatuur is de impact op biodiversiteit, waarbij de agro-ecosystemen diverse flora creëren die op hun beurt hulpbronnen vormen voor een reeks vogels en insecten (Blaix & Moonen, 2020; Klaassen *et al.*, 2022). Akkerranden hebben verder een positieve impact op menselijke ecosysteemdiensten, zoals recreatie (waarbij akkerranden fungeren als voetpaden (Syngenta *et al.*, 2018)). Daarnaast wordt een minder sterke maar nog steeds positieve impact gevonden van akkerranden op de menselijke gezondheid in de bijdrage aan het welzijn van boeren en het verminderen van conflicten over eigendomsrechten.

⁹ In deze studie wordt onderscheid gemaakt tussen de Noordoostpolder (NOP) enerzijds en Oostelijk en Zuidelijk Flevoland (anders gezegd, de Flevopolder) anderzijds. In de Flevopolder is het bouwplan aanzienlijk extensiever dan in de NOP, waardoor er ook zonder akkerranden al een groot verschil in bouwplansaldo is.

Schepens *et al.* (2022) hebben de effecten van meerjarige akkerranden op de BLN-indicatoren (Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland) beschreven. De resultaten op de verschillende grondsoorten lopen echter uiteen. Veenkoloniale zandpercelen (dalgrond) worden bijvoorbeeld gekenmerkt door zeer hoge gehalten bodemorganische stof, namelijk meer dan 10%. Zulke gehalten vragen om een hoge input van organisch materiaal om het bodemorganisch koolstofgehalte te verhogen. De akkerranden worden elk jaar geklepeld en er vindt geen bemesting plaats. Daarnaast zijn de randen in dit gebied regelmatig omgewerkt en opnieuw ingezaaid. Dit verschrallende beheer kan verklaren waarom er in de akkerranden op dalgrond geen opbouw van koolstof plaatsvond en de gehalten aan fosfaat in de bodem afnamen. Ook nam de gemiddelde indringingsweerstand toe. De akkerranden worden veelal gebruikt als rijpad. Aangezien er geen grondbewerking plaats heeft gevonden om de grond weer los te maken, is het aannemelijk dat er verdichting heeft opgetreden en daardoor de gemeten indringingsweerstand toenam. Op overige aspecten (zoals organische stof, bodemleven, stikstof, kali) hadden de akkerranden geen effect. Op kleigrond in deze studie werd de bodem al meer dan 10 jaar niet bewerkt, behalve dat er bagger op de akkerranden was aangebracht. Dit verklaart mogelijk waarom er een positief effect op het bodemorganisch (kool)stofgehalte en het bodemleven is te zien maar dat daar ook hogere gehalten aan nutriënten zijn gemeten.

Van Alebeek (2015) heeft de duurzaamheidseffecten van akkerranden in beeld gebracht aan de hand van ervaringskennis en onderliggende literatuur. Hij geeft weer welke effecten wetenschappelijk onderbouwd zijn (Tabel 8). Bij akkerranden zijn een hogere diversiteit aan en aantallen van natuurlijke vijanden gevonden. Daarnaast zorgden akkerranden voor een lagere plaagdruk in gewassen. Dit heeft echter niet geleid tot minder schade aan gewassen of minder inzet van gewasbescherming.

Bufferzones, ook een soort akkerrand, werken met name positief op de belasting van het oppervlaktewater door gewasbeschermingsmiddelen. Dit komt met name door vermindering van directe emissies (zoals drift) (STOWA, 2010). Deze stroken hebben minder effect op indirecte emissies, zoals uitspoeling. De reductie zou slechts enkele procenten zijn. STOWA (2010) geeft daarbij wel aan dat het lastig is om het effect van akkerranden (of bufferstroken) te generaliseren: invulling, hydrologie en bodemsamenstelling zijn van belang. In praktisch opzicht is het onkruidvrij houden van een akkerrand een uitdaging. Wanneer het om een eenjarige strook gaat, kan dit problemen geven in het daaropvolgende jaar en leiden tot meer bewerkingen en/of bespuitingen (Willemse, 2015).

Tabel 8. Maatschappelijke diensten van akkerranden, geëvalueerd op de vraag in hoeverre doelen door wetenschappelijk onderzoek of praktijkervaringen zijn aangetoond (+ = aangetoond positief effect, ± soms wel en soms geen positief effect aangetoond, 0 niet onderzocht of gemeten. Gebaseerd op Bos *et al.* (2014), overgenomen uit Van Alebeek (2015).

Dienst	Tussendoelen	Aangetoond?		Eindoelen	Aangetoond?	
		Wetenschap	Praktijk		Wetenschap	Praktijk
Bufferfuncties	Minder af- en uitspoeling van nutriënten en sediment	+	0	Schoner oppervlaktewater	0	±
	Minder drift van pesticiden	+	0	Schoner oppervlaktewater	0	+
Gewasbescherming	Hogere diversiteit en aantallen natuurlijke vijanden in akkerranden	+	±	Lagere plaagdruk in gewassen	+	+
	Hogere diversiteit en aantallen natuurlijke vijanden in gewas	+	+	Minder schade aan gewassen door plagen	0	0
	Hogere predatie van plaagorganismen in gewas	+	0	Minder insecticidegebruik in gewassen	0	±
Gewasbestuiving	Hogere diversiteit en aantallen bestuivende insecten in akkerranden	+	+	Verbeterde oogst of zaadproductie	+	0
	Meer bloemenbezoek door bestuivende insecten	0	0	Verbeterde oogst of zaadproductie	+	0

	Meer vruchtzetting in gewas	0	0	Verbeterde oogst of zaadproductie	+	0
Natuurbescherming	n.v.t.			Grotere biodiversiteit flora en fauna	+	±
				Versterking populaties kwetsbare soorten	+	+
Landschapsbeleving	Verbeterde landschappelijke diversiteit	+	0	Grotere tevredenheid van omwonenden rond beleving landschap	0	0
	Verbeterde landschappelijke kwaliteit door visueel aantrekkelijke akkerranden	+	0	Meer (inkomen uit) recreatie	0	0

2.6 Vogelakkers

Een vogelakker is een meerjarige maatregel, waarin meerjarige groenvoedergewassen (waaronder rode klaver op zandgrond en luzerne op kleigrond) worden afgewisseld met natuur-braakstroken, waarin mengsels van gras, graan en kruiden worden ingezaaid (Schurer *et al.*, 2022; Wiersma *et al.*, 2019). Deze maatregel is in eerste instantie ontwikkeld om meer leefgebied te creëren voor de akkervogels, met name in het winterseizoen.

2.6.1 Agronomisch en -technisch

Een vogelakker wordt niet bemest, om de bodem te verschromen. Ook wordt geen gewasbescherming toegepast. Als neveneffect naast akkervogelbescherming mag daarom ook verbetering van de bodemgezondheid en koolstofvastlegging verwacht worden. Een complicatie bij het aanleggen van een vogelakker is dat het meerdere jaren blijft liggen op een perceel (en niet alleen aan de rand zoals bij een akkerrand). Het betreffende perceel kan daardoor niet meedoen in de gebruikelijke rotatie, waardoor het areaal hoogsalderende gewassen in het bouwplan afneemt. De vergoeding hiervoor vanuit het ANLb is aanzienlijk, maar daar staat dus een relatief grote daling van het gemiddelde gewassaldo per ha tegenover.

2.6.2 Kosten & baten

Hoogmoed *et al.* (2021a) beschrijven dat eenjarige en meerjarige kruidenrijke akkerranden ca. €700/ha kosten. Vogelakkers daarentegen kosten €350/ha, omdat de kruidenmengsels voor de natuurbraakstrook minder specifiek zijn dan die voor de kruidenrijke akkerrand.

Uit berekeningen van de bouwplansaldi blijkt dat de vogelakker op de Centrale Zeeklei Noordoostpolder, Centrale zeeklei Flevoland, Noordoostelijk zand- en dalgebied en Zuidwestelijk kleigebied gemiddeld €4.225, €2.930, €1.238 en €2.266 aan bouwplansaldo opleveren (Tabel 9) (Hoogmoed *et al.*, 2021). In deze berekeningen, waaronder de totale kosten van vogelakkers van € 350 per ha, zijn onder andere de kosten voor loonwerk (€94), diesel (€27), bemesting (€90) en uitgangsmateriaal (€77) meegenomen. Toepassing van de vogelakker lijkt in vergelijking met een referentie in de regio's Noordoostelijk zand- en dalgebied en Zuidwestelijk kleigebied, waarin de maatregel vogelakkers niet zijn toegepast, het meest positief naar voren te komen. In deze gebieden worden relatief weinig hoog salderende gewassen geteeld, waardoor het referentiebouwplan een relatief laag saldo heeft.

Tabel 9. Kosten- en batenanalyse van een hectare meerjarige vogelakker (Hoogmoed *et al.*, 2021a): bouwplansaldi (in euro/ha)

	Centrale Zeeklei Noordoostpolder	Centrale zeeklei Flevoland	Noordoostelijk zand- en dalgebied	Zuidwestelijk kleigebied
Referentie	€4.281	€2.918	€1.167	€2.239
Vogelakker	€4.225	€2.930	€1.238	€2.266

2.6.3 Ecosysteemdiensten

Hoewel vogelakkers vrij nieuw zijn voor Nederland, blijkt uit modelonderzoek van de teelt van luzerne door Slier *et al.* (2022) dat er aanzienlijke koolstofvastlegging plaatsvond op zand (1.864 kg CO₂/ha/jaar). Vogelakkers dragen daarnaast bij aan de bodemkwaliteit door heterogeniteit in de bodem te bewerkstelligen (Wiersma *et al.*, 2019). De gewassen op de vogelakkers hebben een positief effect op de bodemstructuur en -vruchtbaarheid. Grassen en vlinderbloemigen zorgen voor een diepere beworteling en produceren veel organisch materiaal. Ook zorgen vlinderbloemigen in de akkers voor extra opname van stikstof uit de lucht (Schurer *et al.*, 2022). Echter zijn deze effecten nog onvoldoende kwantitatief in beeld gebracht.

Wanneer wordt gekeken naar het aantal wormen is er een positieve invloed waarneembaar van de vogelakkers in vergelijking met maïsakkers (Wiersma *et al.*, 2019). Deze positieve invloed komt vooral tot uiting in een grotere diversiteit aan bodemleven (Valkonet *et al.*, 2022).

2.7 Niet-kerende grondbewerking

Niet-kerende grondbewerking (NKG) houdt in dat de grond niet of slechts ondiep geploegd wordt; spitten, cultivatoren en andere oppervlakkige bewerkingen zijn wel mogelijk. Onder Niet-Kerende Grondbewerking wordt in deze studie 'gereduceerde grondbewerking' verstaan en niet een systeem waarin gereduceerde grondbewerking wordt gecombineerd met verruiming van het bouwplan en de teelt van groenbemesters.

2.7.1 Agronomisch en -technisch

Door grondbewerking wordt extra mineralisatie van organische stof in de bodem gestimuleerd. Hierdoor kunnen forse verliezen van koolstof of stikstof ontstaan (De Wolf *et al.*, 2017). Met name door diep te ploegen kan de koolstofhoeveelheid in de bodem met 6% afnemen in vergelijking met gereduceerde grondbewerking (Savage *et al.*, 2021; Lal, 1974). Verder zorgt niet-kerende grondbewerking voor een reductie in verliezen van nutriënten richting het oppervlaktewater (Tan *et al.*, 2002), resulterend in een positief effect op de waterkwaliteit. Zo verloor een traditioneel systeem over een looptijd van vijf jaar 82,3 kg N/ha en een perceel met gereduceerde grondbewerking 63,7 kg N/ha.

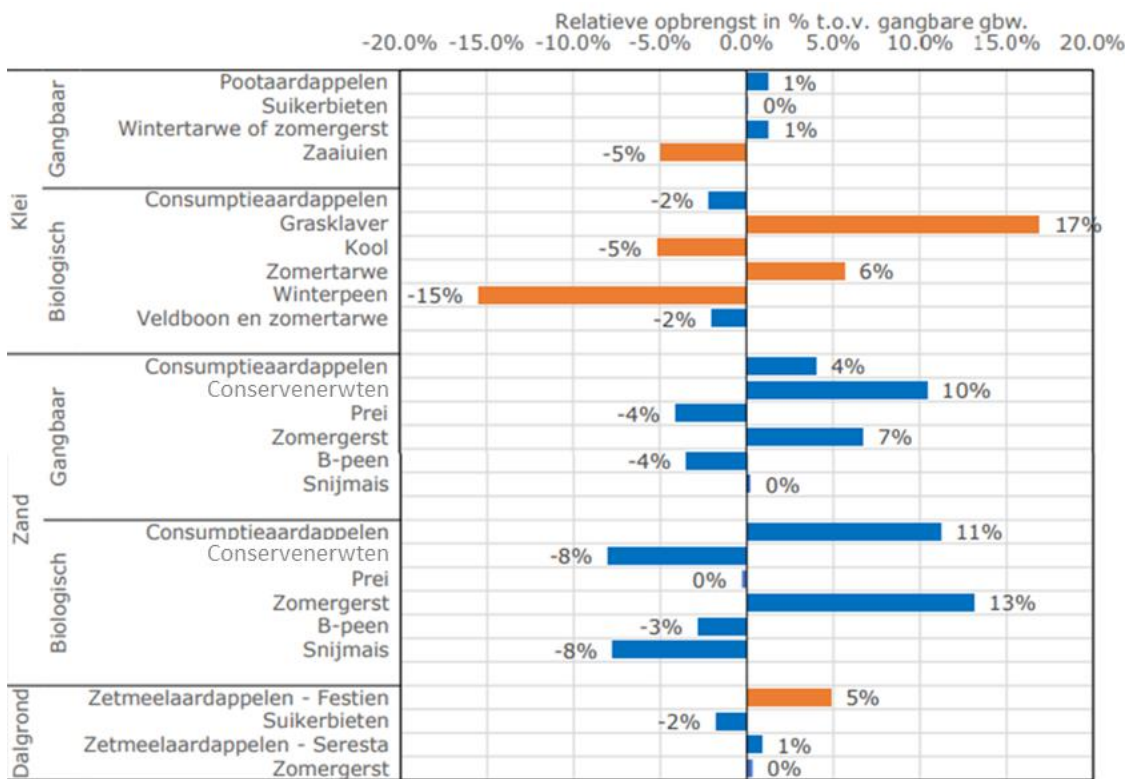
Ook kan niet-kerende grondbewerking een positief effect hebben op de bodemkwaliteit en de stikstofefficiëntie (De Wolf *et al.*, 2017), vertraagt niet-kerende grondbewerking de opwarming van de bodem en de opkomst van onkruiden (Vincent-Caboud *et al.*, 2017). Daarnaast heeft gereduceerde grondbewerking een positieve impact op het bodemleven (DuPont *et al.*, 2010; Tan *et al.*, 2022).

Het effect van Niet-Kerende Grondbewerking (NKG) op gewasopbrengsten wordt in verschillende studies beschreven. Cooper *et al.* (2016) voerden een meta-analyse uit naar het effect van NKG op gewasopbrengsten in biologische teeltsystemen. Zij vonden bij diepe niet-kerende systemen een reductie in de gewasopbrengsten van 11,6% en bij ondiepe niet-kerende systemen geen significant effect. Wel vonden zij 50% meer onkruid bij een lagere intensiteit aan grondbewerking. Financiële consequenties worden niet gegeven. Selin Norén *et al.* (2022) vatten het effect van NKG op gewasopbrengsten en bouwplanopbrengst (geldopbrengst minus de kosten voor arbeid, machines en brandstof) van drie langetermijnstudies samen. Een overzicht van de gewasopbrengsten wordt gegeven in Figuur 5. Op gangbare kleiperdelen (looptijd proef: 11 jaar) was het effect van NKG op de gewasopbrengst beperkt; enkel de opbrengst van zaaiui was lager (-5%). De financiële bouwplanopbrengst was vrijwel gelijk (Selin Norén *et al.*, 2022). Op biologische kleiperdelen waren wel verschillen te zien. NKG had een positief effect op de kg-opbrengsten van grasklaver (+17%) en zomertarwe (+6%) en een negatief effect op kool (-5%) en winterpeen (-15%). De financiële bouwplanopbrengst was negatief (-8%) maar niet significant door een grote jaar-tot-jaar variatie (Selin Norén *et al.*, 2022). Op gangbare percelen op zand (looptijd proef: 8 jaar) werd een positief effect gevonden op aardappelen (+4%) en zomergerst (+7%), voor de

biologische percelen werd ook een positief effect gevonden op aardappelen (+11%) en zomergerst (+13%). Prei, peen en snijmaïs profiteerden niet. Voor gangbaar levert NKG een significant lagere bouwplanopbrengst op (-2%), voor biologisch was dit verschil niet significant. Op dalgrond (looptijd proef: 7 jaar) zijn de verschillen niet groot; enkel één aardappelras (Festien) profiteerde van NKG (+5%). De financiële bouwplanopbrengst ligt daardoor 1% hoger (niet significant). Hoogmoed *et al.* (2021a) hebben voor dezelfde proeven de financiële consequenties doorgerekend. Doorgaans leidt NKG tot een kostenbesparing, door minder arbeid en dieselgebruik (Crittenden, 2015).

2.7.2 Kosten & baten

De resultaten van Hoogmoed *et al.* (2021a) over de kosten en baten van NKG zijn samengevat in Tabel 10. Naast NKG is ook ondiep ploegen een vorm van gereduceerde grondbewerking. Sukkel en Timmermans (2012) vatten verschillende literatuurstudies over de effecten van ondiep ploegen samen. Zij concluderen dat het effect van de ploegdiepte sterk gewas-, grondsoort- en jaarafhankelijk is. Suikerbieten en erwten blijken gemiddeld baat te hebben bij een wat grotere ploegdiepte terwijl voor granen en aardappels de ploegdiepte geen verschil maakt (Kouwenhoven *et al.*, 2002). Pootaardappelen gaven een licht verhoogde opbrengst bij een geringe ploegdiepte. Ook is gekeken naar het verschil in dieselgebruik tussen de ecoploeg en de conventionele ploeg. Dit verbruik was respectievelijk 15,3 en 27,0 liter diesel ha/jaar (Kouwenhoven *et al.*, 2002). Bij het plaatsen van woelers op de ploeg ging het verbruik 10% omhoog (Kouwenhoven, 1998).



Figuur 5. Relatief opbrengstverschil (marktbaar) van NKG ten opzichte van een standaard grondbewerking. Oranje duidt een significant verschil aan. Op zand is geen statistische toets toegepast. Deze figuur is overgenomen uit Selin Norén *et al.* (2022). Gemiddelden van drie langetermijnstudies.

Tabel 10. Effecten van Niet Kerende Grondbewerking (NKG) in vergelijking met de standaard grondbewerking voor kosten en bouwplansaldo

	Kleigrond		Zandgrond		Dalgrond ^{c)}
	Gangbaar	Biologisch	Gangbaar	Biologisch	Gangbaar
Kosten (euro/ha)	-13	-54 ^{a)}	-63	31 ^{b)}	-88
Bouwplansaldo (euro/ha)	-7	-546	-53	-61	212

a) Extra kosten van onkruidbestrijding niet meegenomen.

b) Extra kosten van onkruidbestrijding wel meegenomen.

c) Inclusief extra kosten door aanschaf van machines.

2.7.3 Ecosysteemdiensten

Een aanpak zonder of met gereduceerde grondbewerking kan gunstig zijn voor bepaalde ecosysteemdiensten, zoals de bodemkwaliteit, omdat er minder bodemerosie is op bepaalde bodems (Behrer & Lobell, 2022). Dit geldt met name voor zanderige en droge terreinen. Bovendien verhoogt niet-kerende grondbewerking de infiltratie van water en de retentie van organisch materiaal in de bodem in de nutriëntencyclus. Selin Norén *et al.* (2022) brachten het effect van NKG van drie systeemprouven op de bodemstructuur- en waterregulatie in kaart. Bij een proef op klei werd visueel waargenomen dat de waterinfiltratie bij NKG sneller was en dat in perioden van droogte minder snel waterstress in de gewassen optrad. Over het algemeen vonden zij ook een stabielere en compactere bodem bij NKG (Crittenden, 2015). Hoogmoed *et al.* (2021b) hebben gemeten aan de bodemstructuur in dezelfde proef maar vonden geen significante verschillen (gemeten na 11 jr.). Selin Norén *et al.* (2022) gaven aan dat er op zand geen effect op de bodemfysische parameters kon worden aangetoond. Hoogmoed *et al.* (2021b) hebben in dezelfde proef (maar op minder percelen) gemeten en vonden een hogere indringingsweerstand, bulkdichtheid en watervasthoudend vermogen (gemeten na 9 jaar). Schouten *et al.* (2018) geven een overzicht van verschillende proeven en vonden over het algemeen een positief effect op de bodemstructuur voor klei en een beperkter effect op zand (Tabel 11).

 Tabel 11. Overzicht van veldproeven naar gereduceerde grondbewerking en de effecten daarvan op bodemeigenschappen en -functies (-2 is negatief, +2 is positief), overgenomen uit Schouten *et al.* (2018). 1 = opbrengst, 2 = voedingsstoffenlevering en -opslag, 3 = bodemstructuur, 4 = ziektevering, 5 = stabiliteit van het systeem, 6 = flexibiliteit landgebruik, 7 = afbraak en stofkringlopen, 8 = natuurlijke reiniging bodem en grondwater, 9 = waterhuishouding, 10 = klimaatfuncties, 11 = biodiversiteit en habitat en 12 = maatschappelijke diensten. EHS = Ecologische Hoofdstructuur.

Expert-judgement van effect NKG-variant op ecosysteemdiensten					Ecosysteemdiensten											
Type NKG/ Experiment	Bodemtype	Instituut	plaats	Start	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gereduceerde grondbewerking Mais	klei	PPO	Lelystad	2009	-0.3	0.5	1.0	0.3	0.8	0.0	0.8	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
Basis gereduceerde grondbew. Conventioneel	klei	PPO	Lelystad	2008	-0.3	0.8	1.0	0.7	0.8	0.0	0.8	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
Basis gereduceerde grondbew. Biologisch	klei	PPO	Lelystad	2008	-0.3	1.0	0.8	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0
Gereduceerde grondbew. rotatie biologische	zand	PPO	Vredepeel	2011	0.0	0.3	0.3	0.7	1.0	0.0	0.3	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3
Gereduceerde grondbew. geïntegreerd systeem	zand	PPO	Vredepeel	2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3
Geen grondbew. permanente tarwe	zwarte klei	LBI	Oldambt	2007	-0.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.8	1.3	1.3	1.3	1.0	1.3	1.3
Maisteelt in stroken	zand	LBI	De Moer	2012	0.0	1.3	0.3	1.0	0.7	0.3	0.5	0.8	1.3	0.7	0.5	1.0
Gereduceerde grondbew. gangbare rotatie	loss	PPO	Wijnandsrade	2010	-0.3	0.3	-0.3	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Bodemleven in gereduceerde grondbew	loss	RIVM	Wijnandsrade	2008	0.0	0.8	0.5	0.5	0.7	0.3	0.5	0.0	0.5	0.0	0.8	0.3
Microbiologie gereduceerde grondbew. tarwe	zavel	Alterra	Carlow, Ierland	2000	0.0	1.3	1.2	1.0	1.3	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Regenwormen in gered. grondb. 15 bedrijven	loss	Alterra	Limburg	2009	0.0	0.8	1.3	0.7	0.3	0.0	0.8	0.0	0.5	0.3	0.5	0.7
Gemiddelde EHS					-0.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.2	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8

Een aanpak zonder grondbewerking vermindert verder de afvloeiing aan het oppervlak en verhoogt de waterbergende capaciteit van de bodem, waardoor de waterkwaliteit toeneemt (Ghane, 2022). Van Balen & Haagsma (2017) geven aan de hand van een onderzoek op klei aan dat er door niet meer te ploegen in de eerste jaren minder stikstof beschikbaar

zal komen (~30 kg N/ha/jaar). Na enkele jaren verdwijnt dit verschil. Een tekort aan stikstof gedurende het groeiseizoen van de eerste jaren trad niet op. Er werd geen hoger N_{min}-gehalte gemeten in het najaar (Selin Norén *et al.*, 2022). De totale hoeveelheid N in de bodem was wel hoger (~400 kg N/ha) door een verminderde nitraatuitspoeling en denitrificatie (Selin Norén *et al.*, 2022; Schouten *et al.*, 2018). Hoogmoed *et al.* (2021b) hebben in 2019 gemeten in percelen van dezelfde proef en vonden geen significant verschil in N_{min} en N-totaal. Op zand werden geen significante verschillen gevonden in N_{min}. Wel was de totale stikstofhoeveelheid circa 70 kg/ha hoger en de nitraatuitspoeling significant lager bij NKG.

Slier & Velthof (2021) geven aan dat een verdichte bovengrond een risico geeft op lachgasemissie. Uit internationaal onderzoek naar beperkte grondbewerking als maatregel om koolstof in de bodem op te slaan blijkt dat het risico op lachgasemissie door beperkte grondbewerking toeneemt. Echter kan het verminderde gebruik van zware machines voor het bewerken van de grond een positief effect hebben op de luchtkwaliteit, aangezien er minder luchtverontreinigende stoffen worden uitgestoten (Behrer & Lobell, 2022). Koolstofvastlegging en de opslag van organische koolstof in de bodem wordt ook positief beïnvloed door deze maatregel, waarbij de CO₂uitstoot afneemt (Wang *et al.*, 2020).

De verbeterde bodem- en waterkwaliteit heeft daarnaast een wisselend effect op de biodiversiteit van de bodem. Bloem *et al.* (2017) hebben na een studie van negen jaar op kleigrond een sterke toename (>50%) van hoeveelheden schimmels en bacteriën, de HWC (hot water carbon) en de mineraliseerbare N in de bovengrond (0-15 cm) gevonden. Daaronder (15-30 cm diepte) was echter een geringe afname van de biodiversiteit zichtbaar. Hoogmoed *et al.* (2021b) hebben twee jaar later in een deel van diezelfde proef gemeten in de laag 0-30 cm en vonden een grotere bacterie- en schimmelbiomassa, maar dit verschil was niet significant. Crittenden (2015) vonden dat een gangbare ploeg de hoeveelheid wormen reduceerde, terwijl dit bij NKG niet het geval was (gemeten na 4 jaar). Woelen tot 20 cm diepte in het NKG-systeem had geen negatieve effecten op de biodiversiteit. Op zand werden geen effecten van NKG op bacteriën en schimmels gevonden (Hoogmoed *et al.*, 2021b; gemeten na 9 jaar). Dit is in lijn met de resultaten van Schouten (2018), al vonden zij op zandgrond ook een beperkt positief effect.

Hoewel er geen duidelijk verband is tussen niet-kerende grondbewerking als maatregel en menselijke ecosysteemdiensten, zoals recreatie en gezondheidszorg, zou het verminderde gebruik van machines enige invloed kunnen hebben op de luchtkwaliteit, die op zijn beurt de menselijke gezondheid kan beïnvloeden.

2.8 Effectbeoordeling ecosysteemdiensten van maatregelen

Om de maatschappelijke effecten per koolstofvastleggende maatregel na te gaan is een effectbeoordeling uitgevoerd op basis van een literatuurstudie voor biofysische (koolstofvastlegging, lucht-, water- en bodemkwaliteit, de mate van klimaatregulatie en biodiversiteit) en menselijke ecosysteemdiensten (recreatie en menselijke gezondheid) van deze maatregelen (Tabel 12) (Bijlage 1). De vertaling van deze effecten in monetaire bedragen voor de kosten en baten is evenwel verre van eenvoudig. Zelfs als de effecten kwantitatief waren gescoord, zou het nog moeilijk zijn om met name de positieve baten te vertalen in euro's.

Tabel 12. Effectbeoordeling van koolstofvastleggende maatregelen in de akkerbouw op biofysische en menselijke ecosysteemdiensten. +: positieve impact, -: negatieve impact, 0: geen effect, +/-: zowel een positieve als negatieve impact, 0/+: licht positieve impact, 0/-: licht negatieve impact. Zie voor nadere informatie bijlage 1 en de Bodemmaatregelschema's voor klei en voor zand- en dalgrond op de website van PPS Beter Bodembeheer (<https://edepot.wur.nl/588326> en [Schema Zand Dalgrond.pdf](#)) (beterbodembeheer.nl).

Maatregel		Biofysische ecosysteemdiensten					Menselijke ecosysteemdiensten		
		Koolstof- vastlegging	Lucht- kwaliteit	Water- kwaliteit	Bodem- kwaliteit	Klimaat- regulatie	Bio- diversiteit	Recreatie	Menselijke gezondheid
Verbeterde gewasrotatie		+	0/+	0/+	+	0/+	0/+		0/+
Gewasresten achterlaten		+		0/+	0/+		0/+		0/-
Organische bemesting	Drijfmest	0/+	0/-	0/-	0/+		0/-		0/-
	Vaste mest	0/+	0	0/-	0/+		0/-		0/-
	Compost	0/+	0/-	0	+		0/+	0/+	0/-
Groenbemesters		0/+		0/+	0/+		0/+		
Akkerranden		0/+	0/+	0/+	0/+		+	+	0/+
Vogelakkers		+			0/+		+		
Niet-kerende grondbewerking		0/+	0/+	0/+	+		0/+		0/+

3 Kosten en baten van koolstofmaatregelen in de melkveehouderij



Leeswijzer hoofdstuk 3

Dit hoofdstuk is tot stand gekomen door literatuurstudie. We gaan in op de agronomische en -technische aspecten, kosten & baten en ecosysteemdiensten van koolstofvastleggende maatregelen in de melkveehouderij op (middel)lange termijn, dat wil zeggen tien jaar. De maatregelen die verder worden toegelicht zijn: blijvend grasland, organische bemesting, kruidenrijk grasland, maïs-gras wisselteelt, agroforestry en niet-kerende grondbewerking.

3.1 Blijvend grasland

Een perceel blijvend grasland wordt gedefinieerd als een perceel waarop meer dan vijf jaar achter elkaar gras wordt geteeld (RVO, 2022)¹⁰. De bodem kan hierbij fungeren als koolstofopslag en is daarmee een voorbeeld van een koolstofmaatregel (Oyesiku-Blakemore & Dondini, 2022). Blijvend grasland wordt in deze paragraaf voornamelijk ingevuld door het verlengen van de periode waarin grasland niet gescheurd wordt, waardoor de leeftijd verhoogd wordt.

3.1.1 Agronomisch en -technisch

Grasland is niet altijd blijvend grasland, omdat grasland dikwijls binnen vijf jaar gescheurd wordt, dat wil zeggen gefreesd en/of omgeploegd. Dat wordt gedaan, omdat een deel van het grasland in Nederland geteeld wordt in wisselbouw met andere gewassen, met name snijmaïs (zie ook paragraaf 3.4). Het is ook mogelijk dat graslandvernieuwing toegepast wordt binnen de genoemde periode van vijf jaar. Deze vernieuwing kan ingegeven zijn doordat de productiviteit van het grasland terugloopt, bijvoorbeeld door schade door natte of droge omstandigheden, insporing, vertrappingschade en/of onkruidtoename (Van der Meulen *et al.*, 2017). Een andere reden kan zijn dat men gebruik wil maken van de nieuwste grasrassen (eventueel in combinatie met klaver en/of kruiden, zie paragraaf 3.3) om de productie van het grasland te verhogen. Tenslotte zijn er ook boeren die zich zorgen maken of blijvend grasland in de toekomst nog wel gescheurd mag worden en daarom het areaal blijvend grasland op hun bedrijf bewust laag houden. Tijdelijk grasland mag namelijk wel gescheurd en dus ook vernieuwd worden¹¹ en die optie wil men graag behouden ter verbetering van de productiviteit van het grasland, de belangrijkste bron van voer voor de Nederlandse melkveehouderij (Van der Meulen *et al.*, 2017).

Grasland legt relatief veel koolstof en stikstof vast in en rond het wortelstelsel. Bij het scheuren van grasland komt deze voorraad deels vrij, waardoor onder andere koolstofverliezen op kunnen treden. Hoe langer grasland intact blijft, hoe groter deze voorraad en hoe groter ook het verlies aan koolstof bij scheuren. Bij het ouder worden van grasland blijft de koolstofvastlegging doorgaan, al neemt de jaarlijkse toename in de loop van de jaren wel af. Dit wordt gedetailleerd beschreven in het Methodedocument Blijvend Grasland (Staps *et al.*, 2021).

Tegenovergesteld aan wat vanuit de theorie verwacht wordt, staan de resultaten van Wagenaar *et al.* (2020). Zij onderzochten het effect van het verhogen van de leeftijd van grasland in langetermijnexperimenten (LTE's) op het organischestofgehalte. Zij vonden geen effect in de door hen geselecteerde graslandpercelen (Wagenaar *et al.*, 2021). Metingen in de netwerken bevestigen tot heden wat er uit de LTE's komt: de hoeveelheid organische stof in de laag 0-30 cm lijkt niet toe te nemen in de bodem onder permanent grasland in vergelijking met tijdelijk grasland (Wagenaar *et al.* (2020)). Uit de beoordeling van de profielkuilen blijkt bovendien dat de bewortelingsdiepte en -intensiteit te wensen overlaten (Wagenaar *et al.* (2020)). Wagenaar *et al.* (2020) pleiten ervoor het verband tussen het organischestofgehalte in de laag 0-10 cm en het gehalte in de laag 20-30 cm of dieper verder uit te zoeken. Deze resultaten relativeren vooralsnog het belang van het verhogen van de leeftijd van grasland.

3.1.2 Kosten & baten

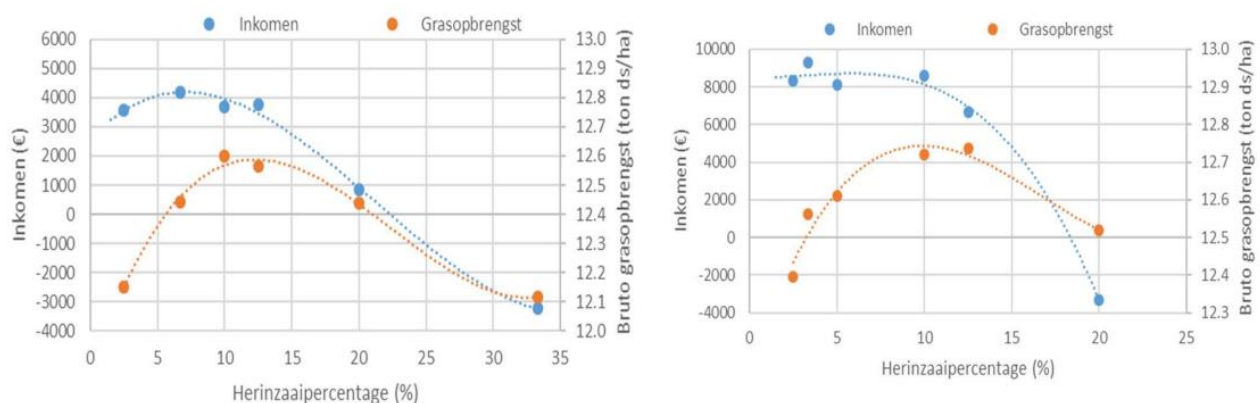
Van Hal & Wagenaar (2020) berekenden de kosten en baten van het verhogen van de leeftijd van grasland aan de hand van het herinzaaipercentage. In de praktijk heeft het merendeel van de melkveehouderij op zandgronden een herinzaaipercentage tussen de 10 en 15 procent. Het management lijkt vooral gericht op maximale grasopbrengst en minder op economisch resultaat (de afweging van de extra opbrengsten tegen de extra kosten) (Van Hal & Wagenaar, 2020). Zij concluderen op basis van hun berekeningen dat het verhogen van de leeftijd van grasland op zand tot een

¹⁰ Nog iets preciezer: 'Een perceel waarop u minstens 5 jaren achter elkaar gras teelt, wordt in het 6e jaar blijvend grasland'.

¹¹ Grasland kan ook vernieuwd worden door 'doorzaaien', waarbij de bestaande grasmat intact blijft. In veel gevallen is dit echter onvoldoende, met name als de bodemstructuur te wensen over laat.

gemiddelde leeftijd van 15 jaar (6,5% herinzaai per jaar) kleine economische voordelen kan hebben. Zij leggen uit dat er een economisch voordeel optreedt omdat grasland bij deze maatregel wordt vernieuwd op een leeftijd van 30 jaar, wanneer naar verwachting de maximale koolstofopslag bereikt zal zijn (Van Hal & Wagenaar, 2020). Hoewel een deel van de koolstof bij herinzaai weer vrij zal komen, blijft er naar verwachting bij dit relatief lage herinzaaipercentage per jaar netto meer koolstof opgeslagen onder grasland op zandgrond (Van Hal & Wagenaar, 2020). Op extensievere kleibedrijven lijkt het verhogen van de gemiddelde leeftijd van grasland tot 10 jaar economisch voordelig (grasland wordt dan elke 20 jaar vernieuwd, een herinzaaipercentage van 5% per jaar). Het verder verhogen van de gemiddelde leeftijd tot in ieder geval 20 jaar lijkt kleine positieve economische effecten te hebben. Zij maken daarbij de kanttekening dat in hun berekeningen enkel rekening is gehouden met genetische vooruitgang, terwijl er in de praktijk een veelheid aan redenen is voor het vernieuwen van grasland, waaronder opbrengstdaling door achteruitgang van de graszode (Van Hal & Wagenaar, 2020). Naast beschadiging van de zode door vertrapping of insporing onder natte of juist zeer droge omstandigheden is echter de genetische vooruitgang wel een belangrijke reden om tot graslandvernieuwing over te gaan. Gemiddelde stijgt de drogestofopbrengst van grasrassen jaarlijks met een half procent (Van der Schoot, n.d.). Bovendien kunnen de nieuwe rassen beter inspelen op lagere stikstofgiften nu de gebruiksnormen steeds strenger worden. Nieuwe rassen hebben bijvoorbeeld een betere resistentie tegen kroonroest, een schimmelziekte die gemakkelijk optreedt bij lage stikstofniveaus (Van der Schoot, n.d.).

Waar hun berekeningsmodel uitgaat van een vast jaarlijks herinzaaipercentage wordt in de praktijk in jaren met schade door droogte en plagen meer vernieuwd en in goede jaren minder, uiteindelijk uitkomende op een gemiddelde herinzaaifrequentie (Van Hal & Wagenaar, 2021). Het potentieel van het verhogen van de leeftijd wordt beperkt door de schade; beschadigd grasland is zowel bedrijfseconomisch als voor koolstofopslag ongewenst wat vernieuwing gewenst maakt. De berekeningen zijn van toepassing op continueelt en niet op vruchtwisseling (Van Hal & Wagenaar, 2021). In Figuur 6 staat het effect van herinzaai op opbrengst en inkomen weergegeven.



Figuur 6. Effect van herinzaaipercentage op inkomen en grasopbrengst op gestandaardiseerde bedrijven op zand (links) en klei (rechts) (Van Hal & Wagenaar, 2021).¹²

Verstand *et al.* (2022) hebben toepassing van kruidenrijk grasland in combinatie met het verlengen van de leeftijd van grasland in één pakket behandeld voor een melkveebedrijf op zandgrond met in totaal 47,2 ha grond, verdeeld over 37,8 ha gras en 9,4% maïs in continueelt, en een herinzaaipercentage van 12,5%. Aangenomen wordt dat het wegvallen van enkele grassnedes door graslandvernieuwing gecompenseerd wordt met de aankoop van snijmaïs. De volgende punten worden door Verstand *et al.* (2022) als opvallend aangewezen:

¹² 'Inkomen' moet in deze context opgevat worden als saldotoename door herinzaai. Hierbij is rekening gehouden met het aantal gemiste snedes bij herinzaai, de extra aankoopkosten voor voer en de extra afvoerkosten van mest.

- Door de lagere bruto grasopbrengst van kruidenrijk grasland en door een iets minder productieve zode bij minder herinzaai daalt de gemiddelde grasopbrengst per ha van 12,3 naar 10,7 ton ds per ha; op bedrijfsniveau is dit ongeveer 500 kg ds/ha.
- Het maaipercentage en het VEM-gehalte van de graskuil veranderen niet veel. De weidegrasopname per koe daalt wel met ruim 50 kg ds/jaar bij iets minder productief grasland waarbij door minder herinzaai de genetische vooruitgang minder groot is.
- De lagere grasproductie leidt tot 2 procentpunten minder eiwit van eigen land (daling van 66% naar 64%). Daarnaast is door minder eigen gras te telen ongeveer 22 ton ds extra maïsaankoop nodig ofwel een halve ton per ha.
- Bij een hoger aandeel maïs in het rantsoen kunnen de koeien wel meer ruwvoer opnemen (maïs heeft een lagere verzadigingswaarde dan gras) en hoeft daardoor minder krachtvoer aangekocht te worden. De krachtvoergift van de veestapel inclusief jongvee daalt daardoor met bijna 50 kg/koe¹³.
- Door meer maïs aan te kopen stijgen de ruwvoerkosten met ruim €2.300 en door minder krachtvoer aan te kopen dalen de krachtvoerkosten met ruim € 500 op bedrijfsniveau.
- Door minder herinzaai dalen de kosten voor gewasbescherming (ruim €80 lager) en de kosten voor zaaizaad (bijna €400 lager) op bedrijfsniveau.
- Omdat op kruidenrijk grasland niet of nauwelijks kunstmest wordt toegepast dalen de kunstmestkosten met bijna € 400 op bedrijfsniveau.
- De loonwerkkosten dalen met € 530 op bedrijfsniveau. De besparing komt vooral door lagere kosten van herinzaai doordat het herinzaaipercentage daalt. Hierin zijn hogere zaaizaadkosten voor kruidenrijkgrasland verwerkt (€310/ha voor kruidenrijk grasland, versus €185/ha voor normaal grasland). Echter de extra loonwerkkosten voor aangekocht ruwvoer dempen dit voordeel voor ongeveer de helft.
- De kosten voor grond en gebouwen stijgen met bijna €150 omdat er wat meer ruwvoeropslag nodig is bij meer maïs aankopen.
- Een hoger aandeel maïs in het rantsoen en minder kunstmest strooien leiden tot een iets lagere stikstofexcretie waardoor 20 ton minder mestafvoer nodig is. De kosten voor mestafvoer dalen daardoor met ruim €200 op het bedrijf.

In de berekeningen door Verstand *et al.* (2022) ligt de nadruk op de jaarlijkse kosten. Deze komen dicht bij de eerder getoonde berekeningen door Van Hal & Wagenaar (2020). De lange termijn baten voor de ondernemer zijn met deze studies echter slechts ten dele helder gemaakt. Weliswaar vinden Van Hal & Wagenaar (2020) kleine economische voordelen van een hogere leeftijd op zowel zand- als kleigrond, maar de effecten van gemiddeld ouder grasland op de bodemkwaliteit waaronder het watervasthoudend vermogen en de mineralisatie en daarmee op de grasopbrengst zijn buiten beeld gebleven.

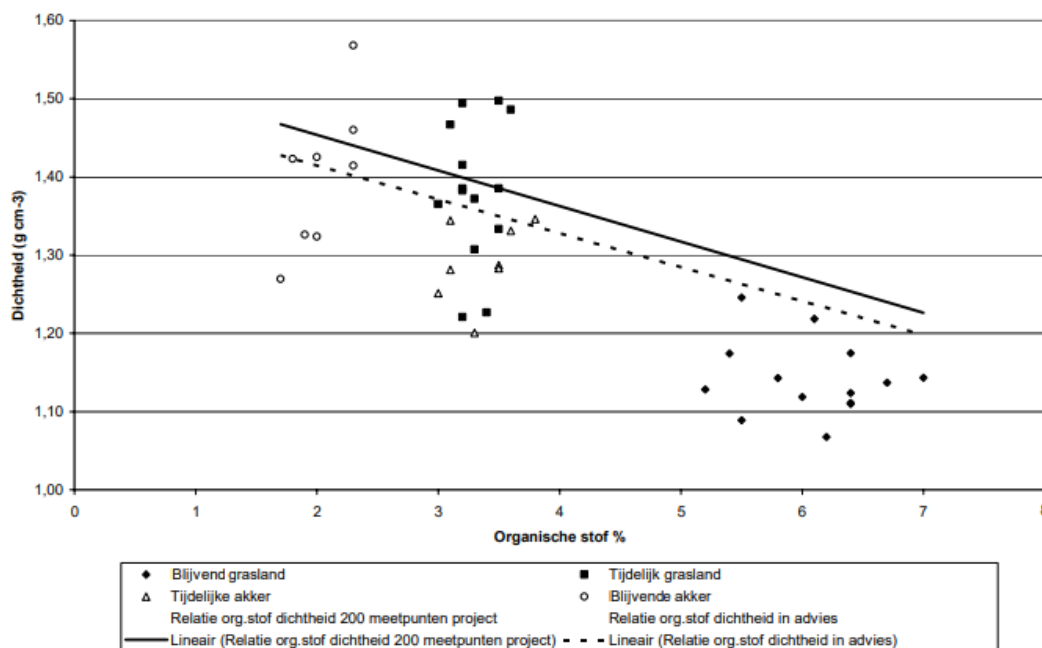
3.1.3 Ecosysteemdiensten

Het type graslandbeheer (tijdelijk of blijvend grasland) heeft effect op de mate van koolstofvastlegging in de bodem. Volgens de Kaderrichtlijn Water is blijvend grasland daarnaast van grote invloed op de waterkwaliteit, de nutriëntenkringloop en het ecologisch evenwicht. Graslanden vormen een landschapstructuur die veranderingen in natuur en milieu kunnen stabiliseren (Jankowska-Huflejt, 2006). Graslandbeheer door begrazing speelt een essentiële rol in het behoud van grasland, verbetering van de bodemkwaliteit en van de biodiversiteit (Millazo *et al.*, 2023). Grasland neemt meer dan 30% van het totale areaal cultuurgrond in Europa in en ca 69% op wereldschaal. Grasland

¹³ Bij de bespreking van de maatregel 'kruidenrijk grasland' (paragraaf 3.3) pakt dit net andersom uit. Dat duidt er op, dat bij een combinatie met het verlengen van de leeftijd van grasland het effect van een groter aandeel maïs in het rantsoen groter is dan de toename van de opname van gras bij de maatregel 'kruidenrijk grasland' alleen, met tegengestelde effecten op krachtvoerbehoefte en -kosten. Dit vraagt nader onderzoek.

staat er bekend om zijn functie bodemerosie te verminderen (Millazo *et al.*, 2023). Daarnaast kan permanent grasland bijdragen aan recreatieve activiteiten (Bugalho and Abreu., 2008).

Van Eekeren en Bokhorst (2009) maakten een inventarisatie van bodemindicatoren voor de veehouderij. Vanuit verschillende proeven waarin de bodemdichtheid in blijvend grasland met de bodemdichtheid in tijdelijk grasland werd vergeleken, kwam naar voren dat het blijvende grasland een lagere bodemdichtheid had dan op basis van het organischestofgehalte werd verwacht. Het tijdelijke grasland had echter een hogere dichtheid dan op basis van het organischestofgehalte werd verwacht (Van Eekeren & Bronkhorst, 2009). Uiteindelijk speelde de bodemdichtheid in deze situaties geen rol in de voorspelling van de grasopbrengst (Van Eekeren & Bokhorst, 2009). Dit zou echter kunnen veranderen in zeer droge en zeer natte jaren, waarin het waterleverend en het waterafvoerend vermogen van de grond van belang zijn. Een lagere dichtheid van de bodem is voor beide aspecten gunstig. In Figuur 7 staat de relatie tussen bodemdichtheid en het percentage organische stof afgebeeld.



Figuur 7. Invloed van leeftijd grasland op bodemdichtheid (Van Eekeren & Bokhorst, 2009), waarbij een hogere leeftijd samenvalt met een hoger organischestofgehalte.

Hoogmoed *et al.* (2021b) vonden dat percelen met oud grasland gemiddeld genomen een significant lagere bulkdichtheid hadden dan percelen met jong grasland. Percelen met oud grasland hadden op Noordelijke klei een significant hoger watervasthoudend vermogen (WVV, indicator voor het plant opneembaar water in de grond). Voor het Zuidelijk zand lieten de metingen dit niet zien. Wat betreft de bodemstructuur is de indringingsweerstand van percelen met oud grasland iets hoger, maar ouder grasland geeft ook een trend van een lager percentage scherpblokkige bodemelementen. Dit zou kunnen duiden op een vastere maar minder compacte bodem. Ook wordt een hogere N-totaal in bodems onder oud grasland gevonden. Ten slotte zien we een trend van een hogere PMN (Potentieel Mineraliseerbare N) voor bodems met oud grasland. Dit is een maat voor de activiteit van het bodemleven en kan dus op meer bodemlevenactiviteit duiden.

Schepens *et al.* (2021) onderzochten welke BLN-indicatoren (Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland) correleren met koolstofvastleggende maatregelen. Zij concluderen dat oude graslanden een hoger gehalte organische

(kool)stof en stikstof en meer bodemleven hebben dan permanent bouwland. Dat hogere organischestofgehalte is terug te zien in een verhoging van de totale stikstofvoorraad. Deze stikstof kan vervolgens weer (deels) worden gemineraliseerd uit de organische stof door het bodemleven, wat tot uiting komt in hoge concentraties potentieel mineraliseerbaar stikstof (PMN) in graslanden van meer dan 12 jaar oud. Ook de microbiële biomassa en de HWC (Hot Water extractable Carbon) illustreren de aanwezigheid van veel bodemleven en voedsel voor bodemleven onder het oude grasland. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de HWC, de totale hoeveelheid stikstof en de biologische indicatoren allen niet verschiden tussen permanent bouwland en jong grasland van 1-3 jaar oud. Mogelijk zijn effecten op deze indicatoren nog niet zichtbaar binnen dit korte tijdspad. Bij de jonge graslanden was er al een verschil te zien in het gehalte organische (kool)stof maar nog niet bij andere indicatoren.

3.2 Organische bemesting

De informatie in deze paragraaf is dezelfde als in paragraaf 2.3. Een verschil tussen gras- en bouwland is wel, dat op grasland diverse keren per jaar, na iedere maaibeurt of beweidingsperiode, organische mest kan worden toegediend. Daarbij is vaste mest minder geschikt, omdat deze door langzame vertering in het ruwvoer kan terecht komen. Daarnaast is een verschil dat melkveehouders hun mest maximaal op hun eigen land zullen toepassen, omdat afzet van mest buiten het bedrijf veel geld kost. Voor akkerbouwers is de aanvoer van organische mest juist een bron van inkomsten. Vanuit kosten-batenperspectief maakt dat nogal verschil. Vanuit toepassing gedacht zullen zowel melkveehouders als akkerbouwers zoveel mogelijk dierlijke mest toepassen (en daarbij dus het kunstmestgebruik minimaliseren), de eerste groep om de afzetkosten te beperken, de tweede groep om de aanvoervergoeding te optimaliseren. De toepassing van dierlijke mest door akkerbouwers is bovendien door hoge kunstmestprijzen tijdens de Coronaperiode toegenomen.

3.3 Kruidenrijk grasland

Kruidenrijk grasland is een type grasland met een natuurlijke soortensamenstelling, met de focus op het behoud van gebiedseigen (agro)biodiversiteit en een positief effect op het landschap. Extensief kruidenrijk grasland bestaat uit meer dan 15 soorten grassen en kruiden per 25 m². Productief kruidenrijk grasland bestaat naast grassen uit minimaal acht soorten vlinderbloemigen en kruiden. In augustus is de bedekking van klaver en kruiden minimaal 25% om aan deze definitie te voldoen (Van Eekeren & Visser, 2019; Slier *et al.*, 2022).

3.3.1 Agronomisch en -technisch

In het kader van dit project is door Evers (WLR, pers. med., 2021) een berekening gemaakt van de economische effecten van 10% productief kruidenrijk grasland op zandgrond. De voornaamste conclusies die Evers uit zijn berekeningen trok, waren:

- Kruidenrijk grasland zorgde voor een betere kwaliteit graskuil. Daardoor nemen de koeien hier meer van op en is er minder ruimte in de pens voor snijmaïs. Om toch de gewenste melkproductie te halen is meer krachtvoer nodig. Daarom stijgen de krachtvoerkosten en dalen de ruwvoerkosten.
- Door een iets lagere stikstofbemesting dalen de kunstmestkosten; kruidenrijk grasland heeft geen kunstmest nodig, maar er gaat wel een deel van de bespaarde kunstmest naar het andere grasland.
- De kosten voor zaaizaad nemen toe omdat herinzaai van kruidenrijk (€ 310/ha) duurder is dan herinzaai van gangbaar grasland (€ 185/ha).
- De loonwerkkosten veranderen per saldo niet veel. Een iets hoger maaipercentage leidt tot hogere loonwerkkosten en wat minder mest uitrijden (door meer mestafvoer) leidt tot lagere loonwerkkosten.
- Door minder ruwvoeraankopen dalen de kosten voor ruwvoeropslag licht.

- Omdat kruidenrijk gras meer RE (ruw eiwit) bevat dan gewoon gras neemt het RE-gehalte in het rantsoen toe en stijgt de stikstofexcretie. Door meer stikstofproductie moet meer mest afgevoerd worden en stijgen de kosten voor mestafvoer.¹⁴
- Bij een bruto grasopbrengst van 10,7 ton ds/ha kruidenrijk daalt het inkomen op het zandbedrijf met € 12/ha en bij een bruto grasopbrengst van 9,8 ton ds/ha daalt het inkomen met € 27/ha, omdat er minder op ruwvoer kan worden bespaard.

Kruidenrijk grasland is door Verstand *et al.* (2022) behandeld als productief kruidenrijk grasland en de kosten en baten zijn bekeken in saldoberekeningen in combinatie met het verhogen van de leeftijd van grasland. Zij hebben één maatregelpakket samengesteld voor zandgrond en één voor kleigrond. Op zandgrond bestaat het pakket uit het verhogen van de leeftijd van grasland (herinzaaipercentage per jaar van 12,5% naar 6,25%) en de toepassing van productief kruidenrijk grasland op 15% van het bedrijf. Uit de berekeningen blijkt dat de kosten minimaal toenemen als dit pakket doorgevoerd wordt. Dat komt omdat er besparingen zijn (minder zaaizaad en minder krachtvoeraankoop), die de extra kosten (lagere grasproductie, meer aankoop van maïs) nagenoeg in evenwicht houden. De verwachting is dat dit pakket meer koolstof vast zal leggen, maar Verstand *et al.* (2022) stellen dat dat met name komt door het verhogen van de leeftijd van het grasland. Het effect van het kruidenrijke grasland is nog onbekend (Verstand *et al.*, 2022). Het pakket op kleigrond focust zich op het areaal waarop maïs geteeld wordt (15% van het areaal), omdat de situatie op het overige grasland in termen van koolstofvastlegging al vrij goed is (Verstand *et al.* 2022).

3.3.2 Kosten & baten

Verstand *et al.* (2022) berekenden een inkomensdaling van €35 ha/jaar voor het gehele bedrijf, zodra de continuteelt van maïs overging naar een wisselteelt met kruidenrijk gras en vanggewassen na maïs. Er treden extra kosten op door een toename van de krachtvoer- en ruwvoeraankoop (Verstand *et al.* 2022). Op kunstmest wordt juist bespaard, wat tot een kostenvermindering leidt (Verstand *et al.* 2022). Hun verwachting is dat dit pakket op deze 15% van het areaal met kruidenrijk grasland een hogere koolstofvastlegging kan realiseren. Zij geven als verklaring hiervoor dat er van continuteelt van maïs wordt overgegaan naar een wisselteelt met gras en vanggewassen na maïs (Verstand *et al.* 2022). De koolstofvastlegging door de melkveehouderijmaatregelen zijn onzeker, waardoor de kosten per eenheid koolstofvastlegging niet bepaald zijn. Een overzicht van resultaten in combinatie met de leeftijd van grasland verlengen komt aan bod in de volgende paragraaf.

Schepens *et al.* (2021) benoemen net als Verstand *et al.* (2022) dat de maatregel kruidenrijk grasland pas relatief kort getoetst wordt waardoor de kosten en baten van deze maatregel op de lange termijn nog niet goed in beeld zijn. Met de informatie van Evers (2021) zijn kosten en baten op korte termijn in beeld, maar op lange termijn zijn er meer gegevens nodig van de effecten van kruidenrijk grasland op met name opbrengst.

3.3.3 Ecosysteemdiensten

Kruidenrijk grasland kan uit veel verschillende typen vegetaties of structuren bestaan. Door de variatie aan wortelgrootte en -diepte kan kruidenrijk grasland extra koolstof vastleggen ten opzichte van regulier grasland (Cooledge *et al.*, 2022). Door de soortenrijkdom van dergelijk grasland kan de stikstofbemesting in potentie worden gereduceerd, waarmee een vermindering aan stikstofgift en -uitstoot potentieel een positief effect op de luchtkwaliteit kan hebben¹⁵. Daarnaast verbetert de maatregel kruidenrijk grasland de bodemstructuur en de bodembiodiversiteit (Cooledge *et al.*, 2022).

¹⁴ Tenzij de hoger RE-waarde gecompenseerd wordt met energierijke producten met een negatieve OEB (Onbestendige Eiwit Balans) zoals snijmais of maïsmeel.

¹⁵ Dit effect zit vermoedelijk vooral in een lagere behoefte aan de productie van stikstofkunstmest, dat met veel energiegebruik en CO₂-uitstoot gepaard gaat.

Menselijke ecosystemendiensten zijn in theorie te halen uit de toegevoegde waarde van grasland aan klimaatregulatie (verkoeling tijdens hitte), recreatie en toerisme (Zhao *et al.*, 2020). Daarnaast stijgt de maatschappelijke waardering van graslanden door aanwezigheid van (bloeiende) kruiden (van den Hout *et al.*, 2023). Zo kwam uit een studie van Van Well *et al.* (2022) naar voren dat de verschillen in de soortenrijkdom en belevingswaarden van kruidenrijke perceelsranden na jaren nog steeds groot waren. Uit een studie van Post *et al.* (2021) kwam naar voren dat de transitie naar kringlooplandbouw, met daarbij specifiek een verandering in de bedrijfsvoering van de veehouderij (zoals inpassing van kruidenrijk grasland), nauwelijks effect heeft op milieu- en volksgezondheidsthema's. In de studie van Post *et al.* (2021) is aan de hand van expertkennis het effect van veranderingen in de veehouderij op volksgezondheid en milieu getoetst. Bij alle getoetste factoren kwam vaak de score 'neutrale invloed' naar voren. Hierdoor concluderen zij dat de transitie naar kringlooplandbouw, een specifieke verandering in bedrijfspraktijk of een bredere ontwikkeling minder dan 10% effect heeft op één van de milieu- en gezondheidsthema's.

3.4 Maïs-gras wisselteelt

De teelt van maïs is een activiteit die ten dienste staat van de melk- en vleesproductie en dus de voedselproductie voor de mens. Snijmaïs wordt als zetmeelrijk gewas vaak geteeld op melkveebedrijven als aanvulling op eiwitrijk gras. In het verleden gebeurde dat veelal in continue teelt, maar de laatste jaren wordt steeds vaker wisselteelt met gras toegepast. Een bijzondere vorm daarvan is wisselteelt mais-grasklaver: ook wel de 60-20-20 maatregel genoemd, waarbij het bedrijf wordt ingedeeld met 60% permanent grasland en 20% grasklaver in een driejarige rotatie met 20% maïs (Slier *et al.*, 2024).

3.3.1 Agronomisch en -technisch

Jarenlange teelt van snijmaïs op hetzelfde perceel is problematisch: de opbrengst kan fors teruglopen met wel 20%, de bodemkwaliteit daalt en de stikstofverliezen stijgen tot boven de normen (De Wolf *et al.*, 2017). Grasland in de vruchtwisseling is erg gunstig voor snijmaïs, maar het voordeel voor grasland is beperkt. Grasland kan jarenlang productief blijven, afhankelijk van de grondsoort. In situaties dat de productie vergelijkbaar blijft met die van jong grasland, kan men gras telen zonder de hoge kosten van graslandvernieuwing.

3.3.2 Kosten & baten

Verstand *et al.* (2022) berekenden de kosten en baten van koolstofmaatregelpakketten. De leeftijd van grasland verhogen is met wisselteelt gras-maïs en kruidenrijk gras in één pakket behandeld; de opbrengsten en kosten zijn uit deze studie niet los van elkaar behandeld. Verder heeft Van der Kolk *et al.* (2021) in een kwalitatieve analyse de effectiviteit van de koolstofmaatregelen, de toepasbaarheid en de meekoppeleffecten in verschillende overzichten samengevat. Hiermee is in kaart gebracht voor welke maatregelen het mogelijk is om de effecten op de verschillende indicatoren kwantitatief te beoordelen. Slier *et al.* (2021) gaven een overzicht van de resultaten vanuit Slim Landgebruik tot nu toe. De kosten- en batenbalans van gras-maïs wisselteelt komt neer op €150/ha/jaar kosten en €200/ha/jaar baten, dus netto een positieve balans.

3.3.3 Ecosystemendiensten

Onderzoek van Schepens *et al.* (2022) toonde aan dat proefpercelen met een hoog aandeel gras in wisselteelt voor een toenemende koolstofvastlegging zorgden. Kijkend naar het effect van de maatregel op de waterkwaliteit kan gras-maïswisselteelt echter zorgen voor een licht negatief effect op deze ecosystemedienst. Snijmaïs is in mindere mate in staat om vrijgekomen stikstof uit gescheurd grasland op te nemen (De Wolf *et al.*, 2017). Hierdoor is de kans op uit- en afspoeling van nutriënten richting het oppervlaktewater groter. Dit komt met name door een verhoogde bodemmineralisatie, in de nazomer en het najaar, wanneer maïs zelf weinig tot geen stikstof meer opneemt. Voornoemde aspect speelt met name op zand- en lössgrond.

3.5 Agroforestry

Agroforestry is een maatregel waarin bomen en struiken (meerjarige houtige gewassen) met eenjarige teelten, grasland en veehouderij of akkerbouw op hetzelfde perceel worden gecombineerd (Schoutsen & Vijn, 2021; Selin Norén *et al.*, 2019a).

3.5.1 Agronomisch en -technisch

Veel aspecten hebben invloed op het succes van agroforestry. Verwacht wordt dat agroforestry een positief effect heeft op het voorkomen van ziekten en plagen en zorgt voor een verbeterde bodemkwaliteit (Selin Norén *et al.*, 2019a). Uit recent onderzoek is de verwachting ontstaan dat ziekten en plagen verminderd kunnen worden met 20 tot 75% (Selin Norén *et al.*, 2019a). Een negatief effect van de combinatie van houtige gewassen met akkerbouw is de concurrentie om zonlicht. Dit speelt met name wanneer de houtige gewassen te dicht op de akkerbouwgewassen worden geplant. Dit negatieve effect is zichtbaar tot een afstand van 1,6 keer de boomhoogte. Daarbuiten zorgt het microklimaat van het houtige gewas voor een positieve meeropbrengst van 7% ten opzichte van akkerbouw zonder combinatie met bomen.

3.5.2 Kosten & baten

Selin Norén *et al.* (2019a) berekenden bouwplansaldi voor verschillende agroforestry-scenario's (Tabel 13). In vergelijking met een referentie bouwplansaldo voor akkerbouw zorgt een agroforestry-systeem met peer voor de grootste stijging van bouwplansaldo (tussen de 5 en 21%). Bij een opbrengststijging van minder dan 5% zal het bouwplansaldo bij hazelnoot en energiewilg gelijk blijven of zelfs dalen.

Tabel 13. *Bouwplansaldi voor verschillende agroforestry-scenario's in vergelijking met de referentie (Selin Norén et al., 2019a).*

Scenario's met meeropbrengst in akkerbouwgewas	Bouwplansaldo referentie	Bouwplansaldo per agroforestry-scenario					
		Peer		Hazelnoot		Energiewilg	
0%	€508.720	€531.670	+ 5%	€484.175	- 5%	€458.600	- 10%
5%		€560.320	+ 10%	€512.820	+ 1%	€487.250	- 4%
10%		€588.960	+ 16%	€541.470	+ 6%	€515.900	+ 1%
15%		€617.610	+ 21%	€570.120	+ 12%	€544.370	+ 7%

Selin Norén *et al.* (2019b) maakten een overzicht van de potentiële koolstofvastlegging voor verschillende soorten landgebruik en vergoedingen voor agrarische ondernemers, gebaseerd op Van Goor (n.d.), Cardinael *et al.* (2017) en Alam *et al.* (2016) (Tabel 14). Houtige gewassen zijn in staat om stikstof en koolstof op te slaan en vast te houden. De verwachte koolstofvastlegging van agroforestry-systemen in Nederland loopt van 1,7 ton CO₂/ha/jaar bij 2.200 laagstam appelbomen tot 7,0 ton CO₂/ha/jaar bij 100 populierbomen.

Tabel 14. Potentiële koolstofvastlegging bij verschillend landgebruik en mogelijke vergoeding voor de agrarisch ondernemer (Selin Norén et al., 2019b).

Landgebruik	Bomen per ha	Totale netto koolstofvastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)	Preventie-kosten 2019 ¹⁶ (€/ha)	Preventie-kosten 2030 (€/ha)	Emissie-rechten 2019 (€/ha)	Carbon credits 2019 (€/ha)
Waarde in € per ton CO ₂ -eq., per waarderingssysteem			€56	€100	€24	€2,40
Wilg	15.000	1,9	€106	€190	€46	€5
Laagstam appel	2.200	1,7	€95	€170	€41	€4
Hoogstam appel	125	3,1	€174	€310	€74	€7
Walnoot	100	3 – 5,7	€244	€435	€104	€10
Populier	100	7,0	€392	€700	€168	€17

3.5.3 Ecosysteemdiensten

Een landbouwsysteem met bomen draagt extra bij aan koolstofvastlegging. Uit onderzoek blijkt dat specifiek de hybride populier (*Populus* spp.) met een dichtheid van 111 bomen/ha bijdraagt aan een netto jaarlijkse koolstofvastlegging van 2,7 ton/ha/jaar, terwijl een monocultuur van gras minder dan 1,0 ton/ha/jaar bijdraagt aan koolstofvastlegging (Broom et al., 2013; 2017). Daarnaast kan agroforestry bijdragen aan een lichte verbetering van de luchtkwaliteit door het vastleggen van CO₂ uit de lucht, het reduceren van ammoniakemissies (Bealey, 2016) en het verminderen van de windsnelheid, waardoor verspreiding van fijnstof wordt verminderd. Ook zorgt het voor het verminderen van de geur van veehouderijactiviteiten (Yadav et al., 2019).

Verder dragen agroforestry-systemen bij aan een verbeterde bodemkwaliteit. Zo toont onderzoek aan dat agroforestry zorgt voor een verbeterde bodemstructuur, een groter watervasthoudend vermogen en verminderde bodemerosie (Broom et al., 2013; 2017; Mosquera-Losada et al., 2006; Dollinger & Jose, 2018).

Ook staat agroforestry bekend om de toegevoegde waarde voor biodiversiteit (Selin Norén et al., 2019c). Agroforestry-systemen hebben een hogere biodiversiteit dan een monocultuur gras. In een studie van Broom (2017) en Castro (2009) werd de biodiversiteit van een silvopastoraal systeem met drie niveaus (gewassen, bomen en dieren) vergeleken met een systeem met monocultuur. Uit de studie bleek dat onder andere het aantal vogelsoorten steeg met 200% en het aantal soorten mieren met 30%. Ook werd een toename van het aantal vlinders gevonden. Dit wordt met name veroorzaakt door de heterogeniteit die door toevoeging van bomen in het landschap wordt gecreëerd. Er ontstaat dan een grotere diversiteit aan voedselaanbod, schuilplaatsen en broedplekken voor vogels en andere dieren.

Met betrekking tot menselijke ecosysteemdiensten draagt agroforestry bij aan een verbeterde esthetiek van het landschap, waardoor deze vorm extra interessant is voor recreatie. Agroforestry levert culturele diensten, zoals erfgoedwaarde, recreatie en ecotoerisme, kennissystemen, spirituele interacties en het behoud van soorten, habitatten en landschappen (Sollen-Norrlin et al., 2020). Het onderhouden, oogsten en verzorgen van een agroforestry-systeem kosten echter meer arbeid (Selin-Norén et al., 2020). Toch verhoogt agroforestry de werktevredenheid bij de boer (Broom, 2013; 2017).

¹⁶ Selin-Norén et al. (2019b) zeggen het volgende over preventiekosten: 'Het is van belang om de kosten die bespaard worden met koolstofvastlegging, in het kader van de klimaatdoelstellingen te benadrukken. Deze kosten stijgen met het verloop van de tijd en dus worden de maatregelen ook duurder. Wetenschappelijke studies geven inzicht in de economische waarde van preventie. Op basis van preventiekosten met een waarde van € 56 ton CO₂-eq. kan er aan koolstofopslag (4,4 ton CO₂ per ha per jaar) in een agroforestry-systeem een waarde worden toegekend van € 246 per ha in 2019. Agroforestry kan dus een interessante toevoeging zijn aan het inkomen van de agrarisch ondernemer indien koolstofopslag vergoed wordt op basis van preventiekosten.' (Deze opmerking gaat er van uit, dat in de loop van de tijd de urgentie voor klimaatmitigatie en de kosten van klimaatverandering toe zullen nemen).

3.6 Niet-kerende grondbewerking (NKG) in maïs

Onder niet-kerende grondbewerking wordt in deze studie 'gereduceerde grondbewerking' (niet of ondiep ploegen) verstaan. Voor deze maatregel wordt verwezen naar paragraaf 2.7, waarin niet-kerende grondbewerking wordt beschreven voor de akkerbouw. In een melkveehouderijsysteem kan deze maatregel worden toegepast in de maïsteelt.

3.7 Effectbeoordeling koolstofmaatregelen in de veehouderij

De maatschappelijke effecten per koolstofvastleggende maatregel zijn kwalitatief beoordeeld door uitvoering van een literatuurstudie voor wat betreft biofysische (koolstofvastlegging, lucht-, water- en bodemkwaliteit, de mate van klimaatregulatie en biodiversiteit) en menselijke ecosysteemdiensten (recreatie en menselijke gezondheid) van deze maatregelen (Tabel 15) (Bijlage 1). De vertaling van deze effecten in monetaire bedragen voor de kosten en baten is evenwel verre van eenvoudig. Zelfs als de effecten kwantitatief waren gescoord, zou het nog moeilijk zijn om met name de positieve effecten te vertalen in euro's.

Tabel 15. Effectbeoordeling van koolstofvastleggende maatregelen in de veehouderij op biofysische en menselijke ecosysteemdiensten. +: positieve impact, -: negatieve impact, 0: geen effect, +/-: zowel een positieve als negatieve impact, 0/+ lichtelijk positieve impact, 0/-: licht negatieve impact. Zie voor nadere informatie bijlage 1.

Maatregel	Biofysische ecosysteemdiensten						Menselijke ecosysteemdiensten		
	Koolstof- vastlegging	Lucht- kwaliteit	Water- kwaliteit	Bodem- kwaliteit	Klimaat- regulatie	Bio- diversiteit	Recreatie	Menselijke gezondheid	
Blijvend grasland	0/+		+	+	0/+?	0/+	0/+		
Organische bemesting	Drijfmest	0/+	0/-	0/-	0/+	0/+?	0/+		0/-
	Vaste mest	+	0/-	0/-	0/+	+?	0/+		0/-
Kruidenrijk grasland	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	+	0	
Gras-maïs wisselteelt	0/+		0/-	0/+					
Agroforestry	+	0/+	0/+	+	0/+	+	+	0/+	
Niet-kerende grondbewerking in maïs	0/+		0/+	0/+		0/+			

4 Berekeningen op bedrijfsniveau - beide sectoren

Leeswijzer hoofdstuk 4

In dit hoofdstuk worden berekeningen op bedrijfsniveau voor een aantal casussen besproken op basis van de in de voorgaande hoofdstukken beschreven literatuur. Voor de te verwachten opbrengststijgingen bij koolstofvastlegging is een aantal scenario's geformuleerd, die met de NCW (Netto Contante Waarde)-methode zijn doorgerekend. Daarnaast is er aandacht voor andere baten, die effect hebben op het totaalbeeld van kosten en baten.

4.1 Materiaal en methoden

4.1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van economische berekeningen voor netto economische effecten van koolstofvastlegging. In de voorgaande hoofdstukken is duidelijk geworden, dat de kg-opbrengsteffecten van koolstofvastleggende maatregelen onderling sterk variëren en ook per gewas. Daarnaast hangen ze sterk af van de uitgangssituatie. Dergelijke maatregelen hebben op een arme zandgrond een heel ander effect dan op een rijke kleigrond. Daarnaast is het lastig te onderscheiden waardoor eventuele opbrengstverhogingen nu eigenlijk veroorzaakt worden. Wordt het vochtvasthoudend vermogen van de grond verbeterd of het bodemleven en daarmee de ziekteverendheid en de mineralenlevering door de grond? Is de doorwortelbaarheid verbeterd of de waterafvoer? Is het effect bij organische bemesting een gevolg van de organische stof in die mest of is de 'meegeleverde' stikstof daarvoor verantwoordelijk? Vanwege al deze onzekerheden hebben we gekozen voor scenarioberekeningen. Wat gebeurt er met het saldo bij een stijging van de kg-opbrengst van 0, 2,5, 5 en 10%? Daarbij zijn we uitgegaan van de bouwplannen en maatregelen en de bijbehorende kostenberekeningen zoals weergegeven in Verstand *et al.* (2022). Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de Netto Contante Waarde-methode (NCW-methode) over een periode van tien jaar. Tenslotte hebben we ook gekeken naar mogelijke extra baten en hun effect op het totaalbeeld van kosten en baten.

4.1.2 Netto-contante waarde-methode

Om rekening te houden met de tijdswaarde van geld is in de economische analyse de berekening van de netto contante waarde (NCW) toegepast. Door de toepassing van de NCW-methode kunnen toekomstige geldstromen worden omgerekend naar waarden in het heden.

De NCW wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$NCW = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

Hierbij geldt:

- NCW : geeft de netto contante waarde weer.
- C_0 : de initiële investering in jaar 0.
- C_t : toekomstige kasstroom in jaar t .
- d : geeft als rentepercentage de discontovoet weer.
- t : tijd in jaren.
- n : looptijd van de investering in jaren.

Berekening van de discontovoet

Om de hoogte van de rente voor de berekening van de netto contante waarde te bepalen wordt de discontovoet gebruikt. De discontovoet zet toekomstige kosten en baten om naar de huidige waarde, het aanvangsjaar van de investering (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Bij de bepaling van de hoogte van de discontovoet is rekening gehouden met de nominale risicovrije rente, een risicopremie en de verwachte inflatie; deze wordt als volgt berekend:

$$d = (r + rp) - \pi$$

Hierbij geldt:

- d : de hoogte van de discontovoet
- r : staat voor de nominale risicovrije rente, afgeleid van een 10-jarige Nederlandse staatsobligatie.
- rp : geeft de risicopremie weer, die bij de nominale risicovrije rente wordt opgeteld.
- π : geeft de inflatie weer, gebaseerd op de lange termijn inflatieverwachting van de ECB.

Voor de berekening van de discontovoet zijn de volgende waardes aangenomen:

- r : in de berekening is uitgegaan van een nominale risicovrije rente van 2,68% op een 10-jarige Nederlandse staatslening (IEX, 2024).
- rp : de risicopremie is in de berekening 3,25% (Koopmans & Van Rhee, 2021)
- π : de verwachte inflatie is 2,0% (European Central Bank, 2024).
- Op basis van deze waarden komt de discontovoet (d) op 3,93%.

4.1.3 Toepassing van de NCW-methode op koolstofvastlegging

Om per jaar uit een periode van tien jaar de kosten te kunnen vergelijken met de meeropbrengsten in dat jaar houden we rekening met twee aspecten: 1) we nemen aan dat de kg-opbrengststijging lineair over de jaren optreedt, dus bij een scenario van 5% is de opbrengsttoename in jaar 1 0,5%, in het tweede jaar 1%, etc.; 2) zoals een euro die je nu spaart, ieder jaar rente oplevert, zo kun je terug redenerend vanuit jaar 10 de berekende bedragen corrigeren voor de misgelopen rente door de kosten van de maatregelen. Er van uitgaande dat de reële kosten uit Verstand *et al.* (2022) in die tien jaar niet veranderen, werken we met een reële discontovoet bestaande uit de reële rente vermeerderd met een risicopremie.

De NCW- methode is toegepast op de kosten van de verschillende maatregelpakketten per regio c.q. bouwplan die door Verstand *et al.* (2022) zijn doorgerekend. In Tabel 16 staan voor de verschillende combinaties in dat rapport de bruto-geldopbrengst en het bouwplansaldo vermeld. In de tabel staan bedragen voor standaardbouwplannen voor zes akkerbouwgebieden. Voor elk gebied zijn naast een referentiebehandeling van de bodem drie pakketten geformuleerd:

- Pakket 1: Maximaliseren van groenbemesters en gewasresten achterlaten;
- Pakket 2.1: Variant bouwplan + maximaliseren groenbemester + gewasresten achterlaten;
- Pakket 2.2 Variant bouwplan + maximaliseren groenbemester + gewasresten achterlaten.

In de pakketten 2.1 en 2.2 zijn de bouwplannen regiospecifiek aangepast met grotere aandelen rustgewassen, zoals granen. Nadere details staan vermeld in Verstand *et al.* (2022) en in bijlage 2.

Tabel 16. Bruto geldopbrengst (omzet) en bouwplansaldo (saldo van omzet minus toegerekende kosten over alle gewassen in het bouwplan) in zes verschillende akkerbouwregio's in Nederland bij verschillende pakketten aan koolstofmaatregelen (Verstand et al., 2022).

Regio	Scenario/pakket	Bruto-geldopbrengst (euro/ha)	Bouwplansaldo (euro/ha)
Noordelijk Zeekleigebied (NZK)	Referentie	5.255	3.285
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.255	3.055
	Pakket 2 - Variant 1	4.443	2.398
	Pakket 2 - Variant 2	3.545	2.115
Centraal Zeekleigebied - Flevoland (CZKF)	Referentie	4.954	2.869
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.954	2.688
	Pakket 2 - Variant 1	4.392	2.274
	Pakket 2 - Variant 2	4.017	2.031
Centraal Zeekleigebied - Noordoostpolder (CZKN)	Referentie	6.302	4.248
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	6.302	4.029
	Pakket 2 - Variant 1	4.797	2.900
	Pakket 2 - Variant 2	4.646	2.527
Noordoost Nederland (NON)	Referentie	2.531	1.232
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	2.531	863
	Pakket 2 - Variant 1	2.179	880
	Pakket 2 - Variant 2	2.163	770
Zuidoostelijk Zandgebied (ZOZ)	Referentie	5.012	2.629
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.012	2.531
	Pakket 2 - Variant 1	4.870	2.552
	Pakket 2 - Variant 2	4.038	1.908
Zuidwestelijk Zeekleigebied (ZWZ)	Referentie	4.009	2.161
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.009	1.949
	Pakket 2 - Variant 1	3.698	1.728
	Pakket 2 - Variant 2	3.413	1.736

4.2 Uitkomsten berekeningen akkerbouw

4.2.1 Uitkomsten NCW-berekeningen

De uitkomsten van de NCW-berekeningen staan in Tabel 17. In de eerste kolom met bedragen staat de bruto geldopbrengst van de verschillende bouwplannen. In pakket 1 is het bouwplan gelijk aan dat van de referentie. In de pakketten 2.1 en 2.2 is het bouwplan geëxtensiverend en daalt de bruto geldopbrengst; het aandeel hoogsalderende gewassen is daar lager. In de derde kolom met bedragen is te zien dat het bouwplansaldo daalt als groenbemesters worden ingezet en stro op het veld achter wordt gelaten (pakket 1). Het saldoverlies wordt nog groter bij extensivering (pakketten 2.1 en 2.2). De geldopbrengst daalt in alle gevallen meer dan de kosten.

In de laatste vier kolommen van de tabel is vermeld hoeveel het bouwplansaldo over een periode van tien jaar in totaal verandert bij de verschillende pakketten. In de referentie nemen de bouwplansaldi toe als de gewasopbrengsten toenemen. In de NZK-regio is dat bijvoorbeeld bij 2,5% ruim € 550 per ha, bij 5% ruim € 1.100 en bij 10% ruim € 2.200.

Tabel 17. Bouwplansaldi voor zes regio's/bouwplannen zoals geformuleerd en wat betreft kosten voor de korte termijn doorgerekend door Verstand et al. (2022). Deze saldi zijn berekend middels de NCW-methode bij verschillende niveaus van opbrengststijging (gemiddelde stijging van de gewasopbrengsten na tien jaar, met lineaire toename over de jaren) als gevolg van koolstofmaatregelen; totalen over 10 jaar. Zie voor afkortingen regio's Tabel 16 of bijlage 2.

Regio	Scenario/pakket	Bruto geldopbrengst (€/ha)	Bouwplansaldo		Δ in bouwplansaldo (€/ha) bij verschillende niveaus van opbrengststijging:			
			Referentie	Δ Gemiddelde	0,0%	2,5%	5,0%	10,0%
NZK	Referentie	5.255	3.285	0	0	554	1.108	2.217
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.255	3.285	<u>-230</u>	<u>-1.875</u>	<u>-1.321</u>	<u>-766</u>	342
	Pakket 2 - Variant 1	4.443	3.285	<u>-887</u>	<u>-7.222</u>	<u>-6.753</u>	<u>-6.284</u>	<u>-5.347</u>
	Pakket 2 - Variant 2	3.545	3.285	<u>-1.170</u>	<u>-9.521</u>	<u>-9.147</u>	<u>-8.774</u>	<u>-8.026</u>
CZKF	Referentie	4.954	2.869	0	0	522	1.044	2.088
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.954	2.869	<u>-181</u>	<u>-1.473</u>	<u>-951</u>	<u>-428</u>	616
	Pakket 2 - Variant 1	4.392	2.869	<u>-595</u>	<u>-4.842</u>	<u>-4.378</u>	<u>-3.915</u>	<u>-2.989</u>
	Pakket 2 - Variant 2	4.017	2.869	<u>-838</u>	<u>-6.821</u>	<u>-6.398</u>	<u>-5.974</u>	<u>-5.127</u>
CZKN	Referentie	6.302	4.248	0	0	665	1.329	2.658
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	6.302	4.248	<u>-219</u>	<u>-1.780</u>	<u>-1.115</u>	<u>-451</u>	879
	Pakket 2 - Variant 1	4.797	4.248	<u>-1.348</u>	<u>-10.969</u>	<u>-10.463</u>	<u>-9.957</u>	<u>-8.945</u>
	Pakket 2 - Variant 2	4.646	4.248	<u>-1.721</u>	<u>-14.006</u>	<u>-13.516</u>	<u>-13.026</u>	<u>-12.047</u>
NON	Referentie	2.531	1.232	0	0	267	534	1.068
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	2.531	1.232	<u>-369</u>	<u>-3.001</u>	<u>-2.734</u>	<u>-2.467</u>	<u>-1.933</u>
	Pakket 2 - Variant 1	2.179	1.232	<u>-352</u>	<u>-2.866</u>	<u>-2.636</u>	<u>-2.406</u>	<u>-1.946</u>
	Pakket 2 - Variant 2	2.163	1.232	<u>-462</u>	<u>-3.756</u>	<u>-3.528</u>	<u>-3.300</u>	<u>-2.844</u>
ZOZ	Referentie	5.012	2.629	0	0	529	1.057	2.114
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.012	2.629	<u>-98</u>	<u>-798</u>	<u>-269</u>	259	1.317
	Pakket 2 - Variant 1	4.870	2.629	<u>-77</u>	<u>-627</u>	<u>-113</u>	400	1.427
	Pakket 2 - Variant 2	4.038	2.629	<u>-720</u>	<u>-5.861</u>	<u>-5.435</u>	<u>-5.010</u>	<u>-4.158</u>
ZWZ	Referentie	4.009	2.161	0	0	423	845	1.691
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.009	2.161	<u>-211</u>	<u>-1.719</u>	<u>-1.296</u>	<u>-874</u>	<u>-28</u>
	Pakket 2 - Variant 1	3.698	2.161	<u>-433</u>	<u>-3.524</u>	<u>-3.134</u>	<u>-2.744</u>	<u>-1.964</u>
	Pakket 2 - Variant 2	3.413	2.161	<u>-424</u>	<u>-3.454</u>	<u>-3.094</u>	<u>-2.734</u>	<u>-2.014</u>

In pakket 1 worden groenbemesters optimaal ingezet en stro op het land achtergelaten zonder dat het bouwplan wordt veranderd. Het inzaaien van een groenbemester brengt kosten met zich mee en het achterlaten van stro op het land betekent een daling van de geldopbrengsten door het wegvallen van stroverkoop. Daardoor daalt het bouwplansaldo met enkele honderden euro per ha. In de meeste regio's is een opbrengststijging over 10 jaar nodig om deze (jaarlijks terugkerende) kosten te compenseren. In de varianten 2.1 en 2.2 wordt naast optimale inzet van groenbemesters en achterlaten van stro het bouwplan aangepast om tot meer koolstofvastlegging te komen. In alle gevallen daalt het bouwplansaldo en wel in sterkere mate dan bij pakket 1. De opbrengststijging compenseert vrijwel nooit de totale kosten over de periode van tien jaar. Alleen bij een opbrengststijging van 5 of 10% in het Zuidoostelijk zandgebied valt het saldooverschil positief uit. In deze regio worden de inkomensdalingen in de twee varianten in pakket 2 gedempt door verhuur van land als grasland of voor de lelieteelt.

Een belangrijke vraag is dus welke opbrengststijging reëel is. De inschattingen in hoofdstuk 2 geven daar enig beeld van, al hebben de meeste berekeningen in dat hoofdstuk betrekking op saldo en niet op procentuele opbrengststijgingen van de betrokken gewassen. Van Dijk *et al.* (2012) noemen opbrengststijgingen van 0 - 5% bij verruiming van het bouwplan. Tegelijkertijd benadrukken zij dat verschillende effecten van een hoger koolstofgehalte pas op langere termijn zichtbaar zullen worden, zoals het tegengaan van bodemverdichting en winderosie. Selin Norén *et al.* (2022) rapporteren een opbrengststijging van 3% bij suikerbiet na vier jaar composttoediening op Veenkoloniale dalgrond.

Het is niet eenvoudig goede vuistregels op te stellen voor de relatie tussen organischestofgehalte van de grond of toediening van organische stof en gewasopbrengst. Hijbeek *et al.* (2017) hebben een meta-studie uitgevoerd naar de effecten van het organische stofgehalte van de grond op gewasopbrengst. Ze keken naar studies waarin voldoende bemest was met kunstmest. Voor sommige gewassen, zoals aardappelen (7%), suikerbiet (7%), maïs (4%) en zomergranen (3,4%) was het effect op zandgrond significant. In een latere studie die Hijbeek samen met Moinet *et al.* (2023) heeft uitgevoerd, werd er toch weer aan deze cijfers getwijfeld. In ieder geval lijkt een scenario van 10% gewasopbrengststijging onwaarschijnlijk. In bovenstaande berekeningen is bij de doorgerekende aanpassingen van het bouwplan in pakket 2 een opbrengststijging van 10% nog niet voldoende om het netto saldooverlies te compenseren, terwijl 5% wel de maximale stijging is die verwacht mag worden.

4.2.2 Overige baten en ecosysteemdiensten

In de getoonde NCW- berekeningen zijn geen 'overige baten' en vergoedingen voor (andere) ecosysteemdiensten verwerkt. In het voorgaande is naar voren gekomen dat koolstofvastlegging naast opbrengstverhoging een heel spectrum aan baten kan opleveren, enerzijds op bedrijfsniveau en anderzijds voor de maatschappij, in de vorm van ecosysteemdiensten. In het algemeen wordt onderkend dat een hoger organische stofgehalte positief kan uitwerken op het bodemleven, het vochtvasthoudend en -leverend vermogen van de grond, de bewerkbaarheid en de doorwortelbaarheid van de grond en het nutriëntenleverend- en het ziekteverend vermogen van de grond. Per saldo zou dat moeten leiden tot hogere gewasopbrengsten en tot lagere bemestings-, gewasbeschermings- en dieselkosten. Een aantal van deze baten hebben we geprobeerd nader te kwantificeren (Tabel 18).

Tabel 18. 'Overige baten' van koolstofvastlegging voor boer en maatschappij^a

Volgnummer	Effect van koolstofvastlegging	Mogelijke baten voor:	
		Boer	Maatschappij
1	Eerder land op	+5%	
2	Minder beregenen	€ 138 per ha	
3	Waterkwaliteit		€ 10 per ha
4	Biodiversiteit		€ 14 per ha
5	Kg-opbrengst	Zie scenario's NCW	
6	Niets doen	-0,5% per jaar	

a) Een aantal van deze aannames is redelijk arbitrair. Zie voor een toelichting hierop de tekst hieronder.

Hieronder volgt een toelichting op de extra baten:

- Een hoger koolstofgehalte van de grond draagt bij aan een betere structuur en daarmee tot een beter waterdoorlatend vermogen. In het voorjaar wordt het moment van zaaien, planten of poten van een nieuw gewas bepaald door de bodemstructuur. Voor het maken van een goed zaai-, plant- of pootbed moet de grond voldoende droog zijn om te kunnen bewerken en vervolgens te kunnen zaaien/planten/poten. Een betere structuur en als gevolg daarvan een beter waterdoorlatend vermogen kan dus leiden tot een eerdere zaai-/plant-/zaaidatum, bijvoorbeeld van 1 week. Dat betekent dat de groeiperiode van het gewas met 1 week wordt verlengd, waardoor een hogere gewasopbrengst verwacht mag worden. De maximale droge stof (d.s.)-productie bedraagt 200 kg per ha per dag (zie bijvoorbeeld BO-Akkerbouw, 2003). In het vroege voorjaar, met nog relatief lage temperaturen en een lage lichtintensiteit zal dit minder zijn, bijvoorbeeld 600 kg extra d.s. per ha in één week. Bij een gemiddelde d.s.-productie van 12 ton per ha per jaar, betreft dit een toename van 5%. We hebben in de berekeningen aangenomen dat dit effect in de loop van een periode van 10 jaar lineair tot stand komt.
- Omgekeerd werkt het ook. Een betere bodemstructuur leidt ook tot een diepere beworteling van de gewassen en een betere capillaire opstijging van water. Daardoor daalt de behoefte om te beregenen in droge jaren. In paragraaf 2.4.1 wordt de studie van Van Geel *et al.* (2007) aangehaald, waaruit blijkt dat dit effect inderdaad gevonden wordt. In de experimenten van Van Geel met zomergerst en suikerbiet leidde de voorafgaande teelt van een groenbemester tot minder vochtgebrek in de droge zomer. Bij zomergerst resulteerde dat in een 600 - 800 kg/ha hogere korrelopbrengst en bij suikerbiet tot een financiële meeropbrengst van €0 - €400/ha. Zonder groenbemester zou er bij beide gewassen een opbrengstderving zijn opgetreden die in dat geval vermeden had moeten worden door te beregenen. Stokkers *et al.* (2022) melden dat in de periode 2010-2019 met name bij aardappelen beregening tot een opbrengstverhoging heeft geleid. Bij consumptieaardappelen was dat gemiddeld 11% en bij pootaardappelen 15%. Stel dat het lukt in een droog jaar één beregening van 20 mm met een beregeningshaspel achterwege te laten, dan levert dat een kostenbesparing op die overeenkomt met de variabele kosten van één beregening¹⁷. Deze variabele kosten inclusief brandstof- en arbeidskosten variëren tussen €35 en €240 per ha (Van der Burgt en Verstand, 2021), dus dat is gemiddeld € 138 per ha¹⁸.
- Verwacht mag worden dat een hoger organische stofgehalte van de grond leidt tot minder uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Bedrijven als Vitens, die grondwater als bron voor drinkwater gebruiken, geven weinig informatie over de kosten van het zuiveren van grondwater van medicijnresten, chemische stoffen en stoffen uit de landbouw. We hebben aangenomen dat er €10 per ha bespaard kan worden op die kosten, maar dat is een zeer willekeurig bedrag.
- Meer koolstof vastleggen door bijvoorbeeld een vogelakker aan te leggen levert extra biodiversiteit op, onder andere doordat de muizenpopulatie toeneemt en daardoor het aantal roofvogels dat daarop foerageert. In paragraaf 2.6.2 is al aangegeven dat voor de vogelakker het gemiddelde saldo hoger is dan het saldo van het referentiebouwplan door vergoeding voor natuurbeheer (ANLb) en de opbrengsten van luzerne. Over de vier gebieden in die beschrijving heen was de toename in bouwplansaldo in de studie van Hoogmoed *et al.* (2021a) gemiddeld €14 per ha, variërend van -€56 tot +€71 per ha, waarbij alleen in de Noordoostpolder het saldo van

¹⁷ Variabele kosten zijn kosten die direct toegerekend kunnen worden aan de betreffende activiteit, in dit geval één keer beregenen. Tegenover variabele kosten staan vaste kosten, de kosten van afschrijving, rente, verzekering en onderhoud van in dit geval de beregeningsapparatuur.

¹⁸ In dit punt van de toelichting spelen twee zaken door elkaar heen, een verminderde beregeningsbehoefte en tegelijkertijd een (mogelijk) hogere gewasopbrengst, met name op kleigronden. In dit punt beperken we ons tot de verminderde beregeningsbehoefte. De hogere opbrengst op kleigronden in een droge zomer na een groenbemester kan een van de achterliggende redenen zijn bij de scenarioberekeningen in de NCW-berekeningen (paragrafen 4.1 en 4.2). De verschillen in berekende bedragen zijn vrij groot; dat betekent dat ook de daadwerkelijke kostenbesparing in de praktijk sterk kan verschillen, afhankelijk van onder andere de ingezette apparatuur.

de vogelakker lager was dan van het referentiebouwplan en in alle andere gebieden, met een lager referentiebouwplansaldo, het saldooverschil positief was ten gunste van de vogelakker ¹⁹.

- Als men niets doet aan organische stoftoevoer aan de grond, dan moet in de loop van de tijd een opbrengstdaling van de gewassen verwacht worden. Hierover zijn geen uitkomsten uit lange termijnproeven bekend. We hebben een opbrengstverlies van 0,5% per jaar aangenomen ²⁰. In de praktijk zal dit, net als bij opbrengststijgingen zoals eerder vermeld, afhangen van onder andere grondsoort, beginsituatie en gewas. ²¹

Op basis van de inschattingen in Tabel 18 hebben we drie stappen gezet:

1. De scenario's voor opbrengststijging in 4.2.1 zijn nogmaals doorgerekend maar nu met als referentie een afname van de gewasopbrengsten met 0,5% per jaar (volgnummer 6 in de tabel);
2. De uitkomsten van de scenarioberekeningen zijn herberekend door uit te gaan van de vergoedingen van de overige baten in Tabel 18 (volgnummers 2 t/m 4), er van uitgaande dat de maatschappij de genoemde baten voor de boer ook wil uitkeren aan de betreffende akkerbouwers (of melkveehouders). De totale baten komen uit op €162 per ha per jaar. De resultaten van de NCW-berekeningen uit paragraaf 4.2.2 zijn omgerekend tot een gemiddeld netto saldo (baten - kosten), gebaseerd op de kosten van de doorgerekende maatregelen en verschillende scenario's voor kg-opbrengststijging per jaar. Bij die bedragen is het bedrag van € 162 opgeteld uit Tabel 18.
3. Verder geven de verschillende scenario's verschillende hoeveelheden extra vastgelegde koolstof. Van de verschillende pakketten en varianten in Tabel 17 is de koolstofvastlegging per ha bekend en daaraan is een vergoeding van € 100 per ton C (schatting op basis van Rougoor *et al.*, 2022). De hoeveelheden extra vastgelegde koolstof staan in Tabel 19.

Tabel 19. Hoeveelheden extra vastgelegde koolstof per doorgerekend pakket. Bron: Verstand *et al.* (2022). Zie voor afkortingen regio's Tabel 16 of bijlage 2.

Regio	Scenario/pakket	Extra vastgelegde koolstof (ton/ha)	Vergoeding (euro/ha) ^a
NZK	Referentie		
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	0,21	21
	Pakket 2 - Variant 1	0,4	40
	Pakket 2 - Variant 2	0,26	26
CZKF	Referentie		
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	0,13	13
	Pakket 2 - Variant 1	0,26	26
	Pakket 2 - Variant 2	0,32	32
CZKN	Referentie		
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	0,36	36

¹⁹ Als de betreffende akkerbouwer lid is van een agrarisch collectief en het betreffende perceel in het ANLb-gebied valt, komt een vogelakker in aanmerking voor ANLb-subsidie. De keuze voor een vogelakker heeft wel grote gevolgen voor het bouwplan, omdat deze maatregel voor zes jaar geldt. Dat betekent feitelijk dat het betreffende perceel buiten de gewasrotatie komt te liggen, wat de ruimte voor rooigewassen op de overige percelen kan inperken. Voor meer gangbare maatregelen, die wel meedraaien in de gewasrotatie, wordt geen of een lichte verbetering van de bodembiodiversiteit gemeld (Slier *et al.*, 2024). Deze eventuele verbetering is een zogenoemd meekoppeleffect en een vergoeding daarvoor is niet aan de orde.

²⁰ Deze aanname is gebaseerd op de constatering dat de kg-opbrengsten van diverse akkerbouwgewassen de afgelopen jaren gemiddeld niet meer toenemen zoals dat in het verleden jarenlang het geval was. Dat betekent dat de opbrengstverhoging die jaarlijks gemiddeld door veredeling wordt bereikt (0,5 - 1,5%), genutraliseerd wordt door verslechtering van de teeltomstandigheden, waarbij vaak klimaatverandering en verslechtering van de bodemkwaliteit als mogelijk verklaring worden genoemd.

²¹ Het scenario dat er op akkerbouwbedrijven geen organischestofaanvoer plaats zou vinden, is tamelijk onwaarschijnlijk. Goed organischestofbeheer is een onderdeel van goede landbouwpraktijk. Bovendien levert de aanvoer van organische mest (voornamelijk drijfmest uit de melkveehouderij of de varkenshouderij) geld op, omdat veel veebedrijven mest moeten afvoeren, mede door de afbouw van de Derogatie. De aanvoer van mest levert dus geld op en kan bovendien leiden tot een besparing op kunstmestkosten. Toch zijn er ook bouwplannen met een dermate groot aandeel rooigewassen, dat de organischestofbalans in vele jaren negatief uitpakt. Dit is ook gebleken in gesprekken met diverse telers.

	Pakket 2 - Variant 1	0,47	47
	Pakket 2 - Variant 2	0,43	43
NON	Referentie		
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	0,16	16
	Pakket 2 - Variant 1	0,22	22
	Pakket 2 - Variant 2	0,28	28
ZOZ	Referentie		
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	0,06	6
	Pakket 2 - Variant 1	0,15	15
	Pakket 2 - Variant 2	0,39	39
ZWZ	Referentie		
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	0,14	14
	Pakket 2 - Variant 1	0,21	21
	Pakket 2 - Variant 2	0,31	31

a) In de vorm van koolstofcertificaten bij een veronderstelde prijs van € 100 per ton extra vastgelegde koolstof.

4.2.3 Uitkomsten overige baten en ecosysteemdiensten

De uitkomsten van de NCW-berekeningen met een referentie van -5% in 10 jaar ($10 * 0,5\%$) zijn weergegeven in Tabel 20. In vergelijking met de uitkomsten uit Tabel 17 komen alle berekeningen nu gunstiger uit en wel met een bedrag van ruim €530 per ha in NON en bijna €850 per ha in ZWZ tot ruim €1.000 in NZK, CZKF en ZOZ en ruim €1.300 in CZKN. In de meeste regio's is nu in pakket 1 een opbrengststijging van 5% nodig om tot een positieve verandering in bouwplansaldo te komen. Alleen in ZWZ is nog steeds 10% nodig en in ZOZ is geen opbrengststijging nodig. Evenwel blijven de netto bedragen nog steeds negatief bij de varianten in pakket 2, zelfs bij een opbrengststijging van 10%. De enige uitzondering is ZOZ variant 2.

In Tabel 21 staan de uitkomsten uit Tabel 17, maar dan aangepast voor de extra baten, inclusief vergoeding van de extra koolstofvastlegging. Het gaat dus om de gemiddelde saldooverschillen per jaar per scenario per regio als een opbrengstdaling van 0,5% per jaar als referentiescenario wordt genomen, €162 euro per ha als 'extra baten' wordt verdisconteerd en de specifieke koolstofvastlegging per cel wordt verwaard tegen €100 per ton koolstof.

Tabel 21 geeft aan dat ook zonder opbrengststijging pakket 1 in vrijwel alle regio's gemiddeld per jaar goed uitpakt. De vergelijking met een jaarlijkse daling van de kg-opbrengsten met 0,5% en het meetellen van de overige baten in het bouwplansaldo leidt onder deze aannames in alle regio's tot een positieve baten - kosten-balans. Het levert dus geld op om groenbemesters te telen en de gewasresten op het land achter te laten en in te werken. Alleen op de Noordoostelijke zand- en dalgronden is het resultaat een afname van bijna €70 per ha per jaar, wat veroorzaakt wordt in een laag bouwplansaldo in dit gebied. Daar is een opbrengststijging van 10% nodig om tot een positief saldo te komen. Verder vormt in typische graanbouwplannen (zoals in het Groningse Oldambt) de stroverkoop een wezenlijk onderdeel van het saldo. Daar zal de afweging om al dan niet gewasresten achter te laten anders uitpakken, mede omdat er op de betreffende bedrijven weinig of geen berekening plaats vindt en de besparing in de berekeningen hier dus ook niet van toepassing is.

Tabel 20. Bouwplansaldi voor zes regio's/bouwplannen zoals geformuleerd en wat betreft kosten voor de korte termijn doorgerekend door Verstand et al. (2022). Deze saldi zijn berekend middels de NCW-methode bij verschillende niveaus van opbrengststijging (gemiddelde stijging van de gewasopbrengsten na tien jaar, met lineaire toename over de jaren) als gevolg van koolstofmaatregelen, rekening houdend met een referentie van -5% gewasopbrengst in 10 jaar; totalen over 10 jaar. Zie voor afkortingen regio's Tabel 16 of bijlage 2.

Regio	Scenario/pakket	Bruto geldopbrengst (€/ha)	Δ in bouwplansaldo (€/ha) bij verschillende niveaus van opbrengststijging:			
			0,0%	2,5%	5,0%	10,0%
NZK	Referentie	5.255	1.108	1.663	2.217	3.325
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.255	<u>-766</u>	<u>-212</u>	342	1.450
	Pakket 2 - Variant 1	4.443	<u>-6.113</u>	<u>-5.645</u>	<u>-5.176</u>	<u>-4.239</u>
	Pakket 2 - Variant 2	3.545	<u>-8.413</u>	<u>-8.039</u>	<u>-7.665</u>	<u>-6.917</u>
CZKF	Referentie	4.954	1.045	1.567	2.090	3.135
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.954	<u>-428</u>	94	616	1.661
	Pakket 2 - Variant 1	4.392	<u>-3.797</u>	<u>-3.334</u>	<u>-2.871</u>	<u>-1.944</u>
	Pakket 2 - Variant 2	4.017	<u>-5.777</u>	<u>-5.353</u>	<u>-4.929</u>	<u>-4.082</u>
CZKN	Referentie	6.302	1.329	1.994	2.658	3.988
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	6.302	<u>-451</u>	214	879	2.208
	Pakket 2 - Variant 1	4.797	<u>-9.640</u>	<u>-9.134</u>	<u>-8.628</u>	<u>-7.616</u>
	Pakket 2 - Variant 2	4.646	<u>-12.677</u>	<u>-12.187</u>	<u>-11.697</u>	<u>-10.717</u>
NON	Referentie	2.531	534	801	1.068	1.601
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	2.531	<u>-2.467</u>	<u>-2.200</u>	<u>-1.933</u>	<u>-1.399</u>
	Pakket 2 - Variant 1	2.179	<u>-2.332</u>	<u>-2.102</u>	<u>-1.872</u>	<u>-1.413</u>
	Pakket 2 - Variant 2	2.163	<u>-3.222</u>	<u>-2.994</u>	<u>-2.766</u>	<u>-2.310</u>
ZOZ	Referentie	5.012	1.057	1.586	2.114	3.171
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.012	259	788	1.317	2.374
	Pakket 2 - Variant 1	4.870	430	944	1.457	2.485
	Pakket 2 - Variant 2	4.038	<u>-4.804</u>	<u>-4.378</u>	<u>-3.953</u>	<u>-3.101</u>
ZWZ	Referentie	4.009	845	1.268	1.691	2.536
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.009	<u>-874</u>	<u>-451</u>	<u>-28</u>	817
	Pakket 2 - Variant 1	3.698	<u>-2.678</u>	<u>-2.288</u>	<u>-1.898</u>	<u>-1.118</u>
	Pakket 2 - Variant 2	3.413	<u>-2.608</u>	<u>-2.248</u>	<u>-1.888</u>	<u>-1.168</u>

Hoewel de bedragen in pakket 2 nu duidelijk gunstiger uitpakken dan in Tabel 17 (de bedragen in die tabel gedeeld door 10, dus de gemiddelde bedragen per ha per jaar) blijven ze in de meeste gevallen toch negatief. In NZK, CZKF en CZKN is dat voor alle scenario's en in beide varianten het geval. In ZOZ pakt variant 1 goed uit in alle scenario's. Bij een opbrengststijging van 10% is dat ook het geval in NON. In ZWZ is in beide varianten een positief saldo te zien bij een opbrengststijging van 10%. De positieve waarden zijn behalve in ZOZ wel kleiner dan de aangenomen vergoeding van €162 per ha en daarvan is niet zeker of die altijd behaald (minder berekening) of betaald (waterkwaliteit en biodiversiteit) worden. Voor beloning van biodiversiteit zijn mogelijkheden via Ecoregelingen of ANLb en mogelijk in de toekomst ook via de biodiversiteitsmonitor akkerbouw of melkveehouderij.

Tabel 21. Gemiddelde verandering in bouwplansaldo per ha per jaar met inbegrip van extra baten inclusief vergoeding van extra koolstofvastlegging. Dit betreft gemiddelde waardes per jaar uit Tabel 20, gecorrigeerd met de gehanteerde extra baten. Zie voor afkortingen regio's Tabel 16 of bijlage 2.

Regio	Scenario/pakket	Bruto geldopbrengst (€/ha)	Gemiddelde Δ in bouwplansaldo/€/ha/jaar bij verschillende niveaus van opbrengststijging inclusief extra baten waaronder carbon credits			
			0,0%	2,5%	5,0%	10,0%
NZK	Referentie	5.255	111	166	222	333
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.255	106	162	217	328
	Pakket 2 - Variant 1	4.443	-409	-363	-316	-222
	Pakket 2 - Variant 2	3.545	-653	-616	-579	-504
CZKF	Referentie	4.954	105	157	209	314
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.954	132	184	237	341
	Pakket 2 - Variant 1	4.392	-192	-145	-99	-6
	Pakket 2 - Variant 2	4.017	-384	-341	-299	-214
CZKN	Referentie	6.302	133	199	266	399
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	6.302	153	219	286	419
	Pakket 2 - Variant 1	4.797	-755	-704	-654	-553
	Pakket 2 - Variant 2	4.646	-1.063	-1.014	-965	-867
NON	Referentie	2.531	53	80	107	160
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	2.531	-69	-42	-15	38
	Pakket 2 - Variant 1	2.179	-49	-26	-3	43
	Pakket 2 - Variant 2	2.163	-132	-109	-87	-41
ZOZ	Referentie	5.012	106	159	211	317
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	5.012	194	247	300	405
	Pakket 2 - Variant 1	4.870	220	271	323	426
	Pakket 2 - Variant 2	4.038	-279	-237	-194	-109
ZWZ	Referentie	4.009	85	127	169	254
	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	4.009	89	131	173	258
	Pakket 2 - Variant 1	3.698	-85	-46	-7	71
	Pakket 2 - Variant 2	3.413	-68	-32	4	76

Bij de aangepaste NCW-berekeningen is uitgegaan van een jaarlijkse verlaging van de referentie-opbrengst met 0,5% bij het scenario 'niets doen'. Als we de toename van het saldo verminderen met deze dalende referentiewaarde wordt het netto saldooverschil groter (of minder negatief). Het netto effect is namelijk een saldooverandering minus een dalende referentie.

4.3 Uitkomsten berekeningen melkveehouderij

In hoofdstuk 3 is geconcludeerd dat de graslandmaatregelen min of meer inkomensneutraal uitpakken. Daarom zijn voor deze sector geen NCW-berekeningen gedaan. Als het aanvullend lukt om vergoeding voor koolstofvastlegging en biodiversiteit te verkrijgen, dan is het saldo van baten - kosten positief en is er een duidelijke stimulans om de koolstofmaatregelen toe te passen. Wel volgen hieronder nog enkele kanttekeningen per maatregel.

4.3.1 Blijvend grasland/behoud grasland

De kosten-batenverhouding hangt bij deze maatregel sterk af van het herinzaaipercentage. Bij een percentage van meer dan 15% op zand en 10% op klei nemen zowel de grasopbrengst als het inkomen duidelijk af. Het is dus zaak om jaarlijks minder dan 15 en 10% van het grasland te vernieuwen. Dit vraagt goed graslandmanagement. Graslandvernieuwing brengt de nodige kosten met zich mee, maar afgezien van schade door berijding en beweiding kan genetische vernieuwing bij grasrassen een reden zijn om een keer in de 10 à 20 jaar te vernieuwen.

Voor blijvend grasland is bij de Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK) een methodiek beschikbaar, zodat toepassing van deze maatregel wel met certificaten tot een vergoeding van de koolstofvastlegging kan leiden. Bij een vastlegging van 1,5 ton C per ha en een prijs van een koolstofcertificaat van € 100 per ton C zou het dan gaan om € 150 per ha.

Bovenstaande is gebaseerd op een situatie waarin een melkveehouder geheel of gedeeltelijk in de eigen ruwvoerbehoefte voorziet en geen grondruil met bijvoorbeeld akkerbouwers toepast. Als dat wel het geval is, gaat grasland over meerdere bedrijven heen meedraaien in de rotatie en wordt grasland dus ook vaker gescheurd dan in de berekeningen in 3.1.2 vermeld. Het is de vraag of grondruil vanuit het oogpunt van koolstofvastlegging gewenst is. Door de hoge saldi van bijvoorbeeld tulpen en pootaardappelen hebben bloembollentelers en akkerbouwers een belangrijke reden om grond te huren of te ruilen bij (andere) akkerbouwers en veehouders. Verhuur van grasland voor bloembollen- of pootaardappelteelt levert € 5.000 respectievelijk € 3.000 op. In een gezamenlijke rotatie met een akkerbouwer krijgt de melkveehouder dikwijls meer grond terug dan wordt ingeleverd aan de akkerbouwer, waardoor zijn ruwvoerpositie verbetert. Daarnaast biedt een dergelijke samenwerking kansen voor betaalbare mestafzet. In dergelijke situaties wordt grasland dikwijls na twee of drie jaar gescheurd en dat is duidelijk vaker dan in de berekeningen in 3.1.2. Financieel zijn dergelijke constructies echter aantrekkelijk voor zowel de bollenteler/akkerbouwer en de melkveehouder en is sprake van een duidelijk 'meer dan inkomensneutrale' uitkomst. Deze praktijk komt dan ook veel voor in onder andere Drenthe, Flevoland en Noord-Brabant. Alleen vallen dergelijke constructies niet onder de koolstofmaatregelen die in Slim Landgebruik zijn opgenomen.

4.3.2 Organische bemesting

Op melkveebedrijven wordt over het algemeen de mestplaatsingsruimte maximaal benut om de afzetkosten van de mest van het eigen bedrijf zo laag mogelijk te houden. Aangezien mestafzetkosten hoog kunnen oplopen, heeft deze maatregel eigenlijk geen aanbeveling. Meestal gaat het dan om de toepassing van drijfmest. Alternatieve toepassingen als vaste, liefst storrige mest en compost hebben qua uitwerking op het bodemleven toegevoegde waarde, maar de toepassing daarvan is met name op grasland bezwaarlijk, naast dat dit een kostenplaatje qua aankoopkosten (op de meeste melkveebedrijven heeft men een drijfmeststelsel) met zich meebrengt.

4.3.3 Kruidenrijk grasland

Deze maatregel levert kosten en baten op die elkaar ongeveer compenseren. Vanuit de Ecoregeling kan een plusje in de baten worden gerealiseerd.

4.3.4 Mais-gras wisselteelt

Deze maatregel pakt per saldo licht positief uit als wordt uitgegaan van een systeem met 60% permanent grasland en 20% grasklaver in een driejarige rotatie met 20% mais. Vanuit het verleden lagen snijmaïspcelen dikwijls op afstand van het bedrijf en daar werd dan continu maïs geteeld. Maïs vraagt namelijk minder bewerkingen dan grasland. Niet alleen vanuit koolstofvastlegging maar ook als gevolg van een verplichting tot rustgewassen uit het 7e Actieprogramma Nitraatrichtlijn zal continue teelt van maïs ophouden te bestaan.

4.3.5 Agroforestry

Agroforestry in combinatie met grasland kan voor weidend vee verschillende voordelen hebben zoals beschutting tegen zon en neerslag en de voorziening van aanvullend voer (mits hiervoor geschikte bomen geplant worden). De aanloopinvesteringen zijn evenwel hoog in vergelijking tot de lange termijn waarop de genoemde effecten bereikt kunnen worden. Daarbij komt dat een deel van het grasland permanent wegvalt, waardoor de druk op het overblijvende areaal toeneemt als het gaat om de benodigde voerproductie en de mestafzetruimte. Agroforestry wordt wel vergoed als ecosysteemdienst in de Ecoregeling.

4.3.6 Niet-kerende grondbewerking in maïs

Niet-kerende grondbewerking in maïs geeft in vergelijking met ploegen een verlaging van het dieselgebruik. Het effect op de koolstofvastlegging kan zowel positief als negatief zijn, zodat er bij deze maatregel weinig te verwachten valt van vergoeding voor koolstofvastlegging. Het bouwplansaldo neemt ook niet altijd toe, wat mede afhankelijk is van de vraag in hoeverre het lukt om onkruid goed te bestrijden en voorgaande groenbemesters goed onder te werken.

4.4 Conclusie

Uit onze kwalitatieve en kwantitatieve 'vingeroefeningen' concluderen we dat koolstofmaatregelen in de melkveehouderij, zoals in dit rapport gedefinieerd, in principe altijd uit kunnen. Bij leeftijd grasland is het dan wel van belang dat de grasmat in goede conditie blijft, de ds-opbrengst op peil blijft en de resistentie tegen kroonroest blijft (Van der Schoot, n.d.). Als dit niet het geval is, zal het grasland toch eerder vernieuwd moeten worden. Als de leeftijd van grasland verlengen betekent dat er geen grasland verhuurd wordt aan of geruid met bloembollentelers of akkerbouwers, dan kost deze maatregel wel geld.

In de akkerbouw kosten maatregelen meestal geld, met name als gekeken wordt naar extensivering van het bouwplan (meer rustgewassen en minder rooigewassen). Toch zijn er ook in de akkerbouw signalen dat koolstofmaatregelen op de lange termijn vruchten afwerpen. De 'winst' zit niet in de eerste plaats in een verhoging van de gewasopbrengsten als direct gevolg van een hoger organischestofgehalte van de grond, maar meer in de zogenoemde 'extra baten' als eerder het land op kunnen door een betere bodemstructuur, minder wateroverlast of -tekort in natte respectievelijk droge jaren en een bijdrage aan ecosysteemdiensten voor de maatschappij als verbetering van de waterkwaliteit en de biodiversiteit. In onze berekeningen zijn vooral de besparingen op beregening een grote factor, die komt te vervallen op gewassen en percelen waar beregening niet aan de orde is. Daar staat tegenover dat aan de waardering van biodiversiteit een relatief klein bedrag is gehangen. De teelt van groenbemesters en het achterlaten van gewasresten geeft in alle doorgerekende referentiebouwplannen bij een aantal aangenomen besparingen bij de teelt en vergoedingen van ecosysteemdiensten een positieve bate - kosten-balans. Een uitzondering vormen de bouwplannen met relatief lage saldi zoals op de Noordoostelijke zand- en dalgronden en de graanbedrijven op zware klei.

5 Discussie

Leeswijzer hoofdstuk 5

Dit hoofdstuk bestaat uit een beschouwing op de uitgevoerde literatuurstudies en berekeningen met discussie over te verwachten toepassing van koolstofmaatregelen

5.1 Kosten en baten van koolstofvastlegging op bedrijfsniveau en waarde voor de maatschappij

De berekeningen op bedrijfsniveau laten zien dat een vergoeding voor ecosysteemdiensten nodig is om de graslandmaatregelen een positief saldo te geven. Voor een deel van het grasland lukt het al om die vergoeding binnen te halen in de vorm van een ANLb-subsidie, een premie in de keten of een koolstofcertificaat (zie ook Smit *et al.*, 2024). De maatregel 'verlengen leeftijd grasland' zal ook bij een ruime vergoeding niet kunnen concurreren met verhuur van grond aan of ruilen met bloembollentelers en akkerbouwers. Bij de akkerbouwmaatregelen is deze bijdrage zelfs noodzakelijk om het saldoverlies bij met name extensivering van het bouwplan te verkleinen. In het vorige hoofdstuk hebben we daar al aan gerekend, inclusief een beperkt aantal ecosysteemdiensten voor de maatschappij als verbetering van de waterkwaliteit en de biodiversiteit. Bij extensivering van het bouwplan is over het algemeen een forse lange termijn opbrengststijging nodig om tot een positieve verandering van het bouwplansaldo te komen. Als dat niet het geval is, dan zal de vergoeding hoog moeten zijn.

Koolstofvastlegging wordt gestimuleerd vanuit het GLB via de Ecoregeling, in ketenverband en door partijen rond Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK). Boeren zullen in het algemeen eerst voor laaghangend fruit kiezen, dat wil zeggen relatief eenvoudig toe te passen maatregelen met een aantrekkelijke vergoeding. Het telen van groenbemesters is relatief eenvoudig en wordt vanuit zowel GLB als de Nitraatrichtlijn in toenemende mate verplicht. Het achterlaten en onderwerken van gewasresten wordt ook al op grote schaal gedaan. De toepassing van dierlijke mest, voornamelijk drijfmest, wordt eveneens op grote schaal gedaan. Zowel melkveehouders als akkerbouwers maken wat dit betreft directe kosten- respectievelijk batenafwegingen. Voor toepassing van vaste mest en compost ligt de drempel duidelijk hoger. Dat geldt ook voor extensivering in zowel de melkveehouderij (gemiddeld minder melkkoeien per ha) als in de akkerbouw (gemiddeld een hoger percentage rustgewassen). De kosten daarvan zijn aanzienlijk. Dat bleek al uit de studie van Verstand *et al.* (2022) en is ook weer aangetoond door Dijkshoorn-Dekker *et al.* (2024).

In deze studie is relatief weinig aandacht besteed aan de opeenvolging van koolstofmaatregelen in de tijd. Aangezien akkerbouwgewassen en (in toenemende mate) ook snijmaïs in rotatie geteeld worden, dat wil zeggen in een bepaalde volgorde na elkaar door de verschillende jaren heen, met tussendoor eventueel nog groenbemesters, verdient het aanbeveling om optimale rotaties te ontwerpen vanuit koolstofoogpunt. Niet elke maatregel is in elk gewas toepasbaar. Een groenbemester zaaien na suikerbieten of late aardappelen is bijvoorbeeld geen optie. 'Optimaal' zou dan van toepassing zijn op zowel de boer en de bodem zelf als op de maatschappij in bredere zin. Uit het MKBA-onderdeel blijkt dat de maatschappelijke effecten van koolstofvastlegging lastig te kwantificeren zijn, maar vanuit duurzaamheidsperspectief wel degelijk aandacht verdienen. Te denken valt onder andere aan water- en luchtkwaliteit, biodiversiteit en menselijke gezondheid. Een uitdaging is wel om het belang van koolstofvastlegging van dergelijke ecosysteemdiensten te onderscheiden van andere factoren en processen die eveneens een effect hebben op een of meerdere van deze diensten.

5.2 Onzekerheid rond inschatting van langjarige kosten en baten

In de ideale wereld zouden er voldoende data zijn om de diverse koolstofmaatregelen goed te kunnen kwantificeren qua bijdrage aan koolstofvastlegging, kosten, directe baten en bijdragen aan ecosysteemdiensten. Die data zouden dan verder uitgesplitst zijn naar diverse grondsoorten en uitgangssituaties qua organischestofgehalte, bouwplan en rotatie. In dit onderzoek kwam duidelijk naar voren dat een dergelijke complete dataset niet bestaat, zeker niet over de langetermijneffecten op kg-opbrengsten van verschillende gewassen en over ecosysteemdiensten. Dat maakt het lastig eenduidige voorspellingen te doen wat boeren mogen verwachten als gevolg van koolstofmaatregelen. Ook voor bodemexperts die dagelijks met boeren in gesprek zijn, is dit lastig. De complexiteit wordt mede veroorzaakt doordat

er tal van fysische, chemische en biologische processen in de bodem optreden die elkaar onderling beïnvloeden. Het voorspellen van de opbrengsttoename is daarom niet een eenvoudige optelsom van individuele effecten zoals structuurverbetering en versterking van het bodemleven. Langetermijnproeven worden niet veel meer aangelegd in verband met de kosten. Modelstudies zijn er wel voor het effect van maatregelen op het koolstofgehalte van de grond maar nauwelijks voor de bijkomende effecten op het productievermogen van de grond en de levering van ecosysteemdiensten.

Om toch wat zicht op de mogelijke effecten van een aantal koolstofmaatregelen in de akkerbouw te krijgen zijn scenario's doorgerekend met de NCW-methode. Daaruit bleek dat de toepassing van groenbemesters en onderwerken van gewasresten vrijwel altijd meerwaarde heeft ²². De kosten hangen sterk af van het type groenbemester, aangezien er grote prijsverschillen in zaaizaadprijs zijn. De keerzijde is dat groenbemesters ook andere functies hebben zoals het vasthouden van nitraat, het bedekt houden van de grond en/of het bestrijden van aaltjes. De kosten van een groenbemester hoeven dus meestal niet volledig aan koolstofvastlegging worden toegeschreven. In de praktijk functioneren groenbemesters en oogstresten achterlaten al als onderdelen van een 'goede landbouwpraktijk'.

Datzelfde geldt voor de toepassing van organische mest. Als toepassing van drijfmest mogelijk is qua grondsoort en gewenst wat betreft de kwaliteit van het te telen gewas, wordt deze op akkerbouwbedrijven volop aangevoerd en toegepast (Blokland en Daatselaar, 2024). Dat levert direct geld op, men bespaart ermee op kunstmestkosten en draagt tegelijk bij aan de organischestofvoorziening van de grond. Daarom is het de vraag of een jaarlijkse afname van de opbrengst met 0,5%, zoals doorgerekend in het aangepast scenariostudie (paragraaf 4.2), wel reëel is. Mogelijk zijn de uitkomsten van dat scenario te positief.

Een van de uitgangspunten in de berekeningen is een toename van de opbrengst met 5% doordat men eerder het land op kan. De kans is aanwezig dat een dergelijk effect, voor zover dat al optreedt, al besloten zit in de percentages die Hijbeek *et al.* (2017) en anderen noemen. In dat geval zou dubbeltelling optreden. Tegelijkertijd zijn er factoren die mogelijk belangrijker zijn voor het tijdstip dat men in het voorjaar het land op kan, dan het koolstofgehalte zoals de oogstomstandigheden in het voorgaande najaar, de toen toegepaste grondbewerking, het succes van een eventuele groenbemester en het al dan niet optreden van vorst in de winter (met name van belang op kleigronden). Deze factoren zijn de afgelopen jaren nog belangrijker geworden doordat extreme weersomstandigheden zoals langdurige droogte of wateroverlast vaker optreden. Met name uien en aardappelen zijn hiervoor gevoelig, waarbij droogte het grootste effect heeft op zandgrond en wateroverlast op kleigrond (Van der Veer *et al.*, 2024). Duurzaam bodemmanagement omvat meer factoren dan alleen koolstofvastlegging. Er is dus volop reden om die extra 5% opbrengst te relativiseren.

Volgens Vervuurt *et al.* (2024) leidt met name verhoging van het aandeel graan tot een verhoging van de gewasproductie en faciliteert het de nutriëntenkringloop; daarnaast zorgt deze maatregel voor koolstofvastlegging op zand (zie ook Slier *et al.*, 2024). NKG heeft weinig effect. Aanvoer van organische stof leidt tot verhoging van de gewasproductie en faciliteert de nutriëntenkringloop op klei (geen gegevens over zand). Verder leiden groenbemesters op zand tot een betere gewasproductie en waterkwaliteit/waterregulatie. Wat betreft grasland, daar werkt met name 'leeftijd grasland' positief uit op zand en wel op waterkwaliteit/-regulatie, koolstofvastlegging en nutriëntenkringloop.

Met name bij extensivering zou de opbrengstverhoging al snel 10% moeten zijn om tot een netto positief effect op het bouwplansaldo te komen. In 4.2.1 zijn diverse bronnen geciteerd, waaruit blijkt dat 5% al een hoge inschatting is. Extensivering verdient zichzelf dus niet gemakkelijk terug. Daaruit blijkt dat een vrij forse vergoeding van

²² Het exacte effect op de koolstofvastlegging is wel afhankelijk van de mate waarin de groenbemester er in slaagt voldoende massa te produceren vóór de winter (Smit *et al.*, 2019).

ecosysteemdiensten nodig is om deze maatregelen aantrekkelijk te maken. Deze conclusie is in overeenstemming met andere studies over extensivering (bijvoorbeeld Dijkshoorn-Dekker *et al.*, 2024).

De vergoeding van ecosysteemdiensten staat momenteel volop in de belangstelling. Voorbeelden daarvan zijn 'weidemelk' en de biodiversiteitsmonitor voor de akkerbouw en voor de melkveehouderij. Voor melk van koeien die minimaal 120 dagen per jaar 6 uur per dag weiden wordt een weidemelkpremie betaald. Iets dergelijks gaat waarschijnlijk ook gebeuren voor melk- en akkerbouwproducten met een bepaalde score op de betreffende biodiversiteitsmonitoren i.o. Ook wordt er in de zuivelsector gewerkt aan een beloning voor een lage carbon footprint. Als de inspanningen om op deze terreinen tot goede prestaties een positieve baten - kostenbalans hebben, dan dragen ze bij aan de aantrekkelijkheid van koolstofmaatregelen. Hetzelfde is van toepassing op maatregelen in het kader van het ANLb of van de GLB-Ecoregeling. Of het 'totaalplaatje' gunstig uitpakt, dat wil zeggen als de kosten van alle gekozen maatregelen die effect hebben op de koolstofvastlegging meer dan goed gemaakt worden door de som van de toename in bedrijfsaldo en de vergoeding van ecosysteemdiensten, dan wordt deze combinatie aantrekkelijk. Een dergelijke combinatie kan bijvoorbeeld extensivering van het bouwplan zijn met toepassing van ANLb en een vergoeding voor goede prestaties op het gebied van een carbon footprint. Voor een deel gaat de wetgeving al in deze richting door verplichtingen als de toepassing van groenbemesters op zand en löss en de verplichting om minimaal 1:4 rustgewassen te telen, die beide bijdragen aan koolstofvastlegging. Alleen gaan dergelijke regels dikwijls niet gepaard met beloningen maar wel met boetes (korting op stikstofruimte) als men er zich niet aan houdt. De 'puzzel' rond het kiezen van combinaties van koolstof- en andere maatregelen is op ieder bedrijf weer anders en verandert dus ook in de tijd. De beloning van koolstofvastlegging middels carbon credits levert slechts een bescheiden bijdrage op aan het bedrijfsaldo, zoals in 4.2.2 is aangetoond.

Alles bij elkaar genomen is de conclusie dat men zich niet rijk moet rekenen met koolstofvastlegging als het gaat om te verwachten opbrengsteffecten. Koolstofvastlegging vormt een van de vele elementen van goede landbouwpraktijk, met name duurzaam bodembeheer, die noodzakelijk is om het producerend vermogen op peil te houden in tijden van toenemende klimaatonzekerheid, afnemende niveaus van bemesting en gewasbescherming en een toenemend belang van ecosysteemdiensten.

5.3 Ruimte voor verbetering

Het is niet eenvoudig het effect van koolstofmaatregelen op het koolstofgehalte van de bodem goed te voorspellen. Zelfs als dat lukt, is voorspelling van het effect op de gewasopbrengsten nog steeds een grote uitdaging. Organische mest kan op korte termijn een effect hebben, maar dat is dan meestal het effect van de extra toegediende stikstof. Ook andere effecten van koolstofvastleggende maatregelen lopen door elkaar heen, zoals verbetering van het bodemleven (en daardoor mogelijk een betere nutriëntenbeschikbaarheid en een sterker ziekteverend vermogen van de grond) en verbetering van de structuur (en daardoor mogelijk een betere bewerkbaarheid en doorwortelbaarheid en een beter vochtvasthoudend en -doorlatend vermogen). Die effecten samen zullen per saldo na verloop van tijd tot gemiddeld hogere kg-opbrengsten van diverse gewassen leiden. Maar de mate waarin dit gebeurt, hangt samen met onder andere de Ausgangssituatie van de grond, de weersomstandigheden en het gewas. Deze complexiteit maakt het lastig eenvoudige rekensommetjes te maken, waarmee in één oogopslag duidelijk wordt welke maatregelen bij welke gewassen tot een netto saldoverhoging zullen leiden, eventueel gecorrigeerd voor extra bewerkingskosten. Nader onderzoek naar de relatie tussen verhoging van het koolstofgehalte van de grond en de gewasopbrengsten is aan te bevelen, omdat de praktijk daarmee beter zicht krijgt op de te verwachten baten van koolstofmaatregelen. Idealiter worden deze effecten geïntegreerd in de Praktijktool BodemCoolstof.

Wat werkelijk haalbaar is, ook qua kosten-batenverhouding, in een specifieke perceels- en bedrijfssituatie is uiteindelijk aan de beoordeling van de boer, in veel gevallen ondersteund door expertkennis en digitale hulpmiddelen van buitenaf. Zijn/haar kennis van de percelen en ervaringen met koolstofmaatregelen leiden tot een individuele afweging of een maatregel per saldo ook economisch aantrekkelijk zal zijn. Ervaringen op het eigen bedrijf kunnen aanleiding geven tot aanpassing van het bouwplan en van de bedrijfsvoering. Doorrekening met een bedrijfsmodel als Farmdyn had hierin in grote lijnen inzicht kunnen geven en zou een activiteit voor vervolganalyses kunnen zijn.

6 Conclusies

De centrale vraag in dit rapport was: 'Wat zijn de langetermijn kosten en (maatschappelijke) baten van koolstofvastlegging?' Het antwoord op deze vraag bleek niet eenvoudig te geven. Over het algemeen zijn de kosten van koolstofvastleggende maatregelen voor een agrarisch bedrijf redelijk goed in te schatten, mede op basis van het werk van Verstand *et al.* (2022). Voor de baten ligt dat een stuk lastiger. De oorzaak daarvan is dat er weinig langetermijn experimenten zijn waarin systematisch de effecten van koolstofvastlegging op bodemfuncties en gewasopbrengsten en uiteindelijk op de monetaire baten in kaart worden gebracht. In het programma Slim Landgebruik is al veel onderzoek gedaan naar de effecten van verschillende koolstofmaatregelen op het organischestofgehalte van de bodem. Agrariërs kunnen met behulp van de BodemCoolstof-tool een beeld verkrijgen van het effect van diverse maatregelen op het koolstofgehalte van de bodem. Omdat gewasopbrengsten de belangrijkste monetaire baten voor de agrariër zijn, zou inzicht in het effect van een hoger koolstofgehalte op de gewasopbrengsten hem/haar helpen om een economische afweging van kosten en baten te maken. De relatie tussen een bepaald koolstofgehalte en de gewasopbrengst blijkt echter niet eenduidig. In het algemeen wordt wel onderkend dat een hoger koolstofgehalte positief kan uitwerken op het bodemleven, het vochtvasthoudend en -leverend vermogen van de grond, de bewerkbaarheid en de doorwortelbaarheid van de grond en het nutriëntenleverend vermogen van de grond (Slier *et al.*, 2024). Per saldo zou dat moeten leiden tot hogere gewasopbrengsten, variërend van 0 - 7% (Hijbeek *et al.*, 2017). Het kwantificeren van deze effecten blijkt dus lastig te zijn en onderzoeksresultaten tonen in de praktijk veel variatie.

Ook als wordt uitgegaan van een daling van gewasopbrengsten als geen koolstofmaatregelen worden genomen, pakt de balans tussen kosten en baten bij bouwplanverruiming met granen (uit Verstand *et al.*, 2022) negatief uit. In de Noordelijke zeekleischil en Flevoland (zowel de Flevo- als de Noordoostpolder) is dat voor alle scenario's en in beide varianten het geval. In het Zuidoostelijk zandgebied pakt een gematigde variant van bouwplanverruiming goed uit in alle scenario's qua opbrengststijging. Bij een opbrengststijging van 10% is dat ook het geval in het Noordoostelijk zand/dalgebied. In het Zuidwestelijk zeekleigebied is in beide varianten een positief saldo te zien bij een opbrengststijging van 10%. De positieve waardes zijn behalve in het Zuidoostelijk zandgebied wel kleiner dan de aangenomen vergoeding van €162 per ha en daarvan is niet zeker of die altijd behaald (minder beregening) of betaald (waterkwaliteit en biodiversiteit) worden. Voor beloning van biodiversiteit zijn er onder voorwaarden mogelijkheden via Ecoregelingen of ANLb en mogelijk in de toekomst ook via de biodiversiteitsmonitor akkerbouw of melkveehouderij.

Uit deze studie kunnen we wel het volgende concluderen:

Voor de akkerbouw:

- Relatief eenvoudige maatregelen als het telen van een groenbemester en het achterlaten en onderwerken van gewasresten hebben op de langere termijn een positieve baten-kostenbalans. Deze maatregelen zijn al standaardpraktijk op veel bedrijven.
- Een groter aandeel granen, dus bouwplanverruiming, heeft een groter effect op de koolstofvastlegging maar gaat sterk ten koste van het bouwplansaldo, die kan oplopen tot meer dan € 1.000 per ha op bedrijven met een hoog aandeel hoogsalderende gewassen (Tabel 17 en Tabel 20). Vergoeding van ecosysteemdiensten is in zulke gevallen essentieel.
- In onze aanvullende berekeningen zijn de extra opbrengsten uit ecosysteemdiensten zoals waterkwaliteit en biodiversiteit beperkt (€162 per ha) en ook de vergoeding voor koolstofopslag via koolstofcertificaten van bijvoorbeeld 100 euro per ton is te laag om de meerkosten van bouwplanverruiming te compenseren. Er zijn echter mogelijkheden om die extra opbrengsten te verhogen door gebruik te maken van het ANLb of de GLB-

Ecoregeling. Er is een ontwikkeling dat meer ecosysteemdiensten vergoed gaan worden, ook vanuit de keten, bijvoorbeeld via een goede prestatie op de biodiversiteitsmonitor.

- Voor diverse extensiveringsberekeningen blijkt een lange termijn toename van gewasopbrengsten van 10% vereist om de saldodaling door bouwplanverruiming te compenseren maar op grond van literatuur is het niet aannemelijk en onzeker dat deze meeropbrengst ook haalbaar is.
- Toepassing van dierlijke mest (drijfmest) levert akkerbouwers geld op. Compost en vaste mest zijn beter voor de bodem dan drijfmest, maar de toepassing hiervan kost juist geld.
- Vogelakkers en akkerranden leveren veel koolstof op maar draaien niet mee in de rotatie. Dat beperkt de mogelijkheden voor het telen van hoogsalderende gewassen. De ANLb-vergoeding voor deze maatregelen maakt ze economisch aantrekkelijk.
- Koolstofmaatregelen vormen een essentieel onderdeel van goede landbouwpraktijk c.q. duurzaam bodemmanagement. Ingrijpende maatregelen nemen puur voor koolstofvastlegging pakt economisch niet goed uit, ook niet op de lange termijn.

Melkveehouderij:

- De meeste maatregelen in Slim Landgebruik voor grasland en maïsland pakken kosten/baten-neutraal uit. Dit geldt bijvoorbeeld voor kruidenrijk grasland en wisselteelt gras-maïs. Deze wisselteelt vervangt monocultuur maïs en wordt verplicht, zoals de toepassing van groenbemesters na maïs nu al verplicht is op zandgrond en löss.
- Op melkveebedrijven zal men dierlijke mest maximaal op het land toepassen dat men in gebruik heeft, om op die manier de afzetkosten van mest te beperken. Ook voor gras- en maïsland is de toepassing van compost en vaste mest beter dan van drijfmest, maar de aankoop hiervan kost geld. Bovendien is een goede verspreiding hiervan tijdens het groeiseizoen lastig, waardoor mest- of compostresten in het kuilvoer terecht kunnen komen.
- Het verlengen van de levensduur van grasland pakt alleen goed uit als het lukt de graszode en de grasopbrengst en -kwaliteit in goede staat te handhaven. Als dat niet lukt, ligt graslandvernieuwing voor de hand om het productievermogen van grasland op peil te houden.
- Blijvend grasland kan qua bouwplansaldo niet concurreren met verhuur van of ruil van land met bloembollentelers en akkerbouwers voor de teelt van respectievelijk tulpen en aardappelen.
- De opbrengsteffecten van agroforestry vragen nader onderzoek. De eerste inschattingen zijn evenwel positief, mits de te oogsten vruchten of noten een goede prijs opleveren.

Algemeen:

- De toepassing van dierlijke mest, met name van drijfmest op zowel grasland als akkerland is bij de huidige mestmarkt voor zowel melkveehouders als akkerbouwers aantrekkelijk.
- Toepassing van vaste mest en compost kost meer en de toepassing is lastiger. Beide producten zijn ook lastiger te verkrijgen. Als de toepassing van vaste mest of compost een hoge vlucht neemt, zullen de prijzen en dus de kosten verder stijgen.

Aanbeveling:

- Langetermijn onderzoek is nodig om goed inzicht te krijgen in de gewasopbrengsteffecten als belangrijkste post aan baten op lange termijn van diverse koolstofmaatregelen. Deze effecten zouden ook opgenomen moeten worden in de BodemCoolstof Tool.

7 Dankwoord

Een woord van dank aan Bo Stout en Erik van Well, beide werkzaam bij het CLM, die met name in de beginfase van het project hebben meegedacht. Ook wordt genoemd het werk op de achtergrond door Aart Evers van WLR. Een woord van dank ook aan Maarten Kik van WEcR voor zijn review van het rapport. Postuum ook een woord van dank aan Gabe Venema, die oorspronkelijk projectleider van dit project was, maar ons helaas ontvallen is.

Literatuurlijst

- Akoumianaki (2022). Moving to more sustainable methods of slurry application: implications for water quality of waterbodies and water protected areas. CRW2020_02. Available online at: crew.ac.uk/publications.
- Alam, M., Olivier, A., & Paquette, A. (2016). Measurements and economics of carbon sequestration in temperate tree-based intercropping systems. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 12(2), 125-136.
- Aziz, I., Ashraf, M., Mahmood, T. & Islam, K.R. (2011). Crop rotation impact on soil quality. *Pakistan Journal of Botany*, 43(2), pp. 949-960.
- Barel, J. M., Kuyper, T. W., de Boer, W., Douma, J. C., & De Deyn, G. B. (2018). Legacy effects of diversity in space and time driven by winter cover crop biomass and nitrogen concentration. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 299-310.
- Bealey, W. J. (2016). Agroforestry systems for ammonia air quality management (Doctoral dissertation, University of Edinburgh).
- Behrer, A. P., & Lobell, D. (2022). Higher levels of no-till agriculture associated with lower PM_{2.5} in the Corn Belt. *Environmental Research Letters*, 17(9), 094012.
- Bijker, W., Van der Burgt, E.; Van den Berg, W.; Selin-Norén, I. (2022). Bedrijfseconomische prestaties van bodemmaatregelen; Opbrengststabiliteit en kosten-batenverhouding van bodemmaatregelen. Lelystad, Wageningen Plant Research, rapport WPR-OT-929.
- Blaix, C. & Moonen, A.C. (2020). Structural field margin characteristics affect the functional traits of herbaceous vegetation. *Plos one*, 15(9), p.e0238916.
- Bloem, J., Dimmers, W. J., van Balen, D. J. M., & Postma, J. (2017). Gereduceerde grondbewerking, labiele organische stof en micro-organismen. *Gewasbescherming*, 48(2/3), 67-68.
- Blokland, P.W., en Daatselaar, C. (2024). Nutriënten- en mestproductengebruik op akkerbouwbedrijven op klei en zand. Wageningen, Wageningen Economic Research, factsheet 2024-111. <https://edepot.wur.nl/676318>.
- BO-Akkerbouw, 2003. Teelthandleiding consumptieaardappelen - hoe komt de knolopbrengst van een gewas tot stand? Kennisakker.nl - <https://kennisakker.nl/archief-publicaties/teelthandleiding-consumptieaardappelen-hoe-komt-de-knolopbrengst-van-een-gewas-tot-stand149>.
- Bos, J. F., ten Berge, H. F., Verhagen, J., & van Ittersum, M. K. (2017). Trade-offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural systems*, 157, 292-302.
- Bosch-Serra, A. D., Yagüe, M. R., Valdez, A. S., & Domingo-Olivé, F. (2020). Dairy cattle slurry fertilization management in an intensive Mediterranean agricultural system to sustain soil quality while enhancing rapeseed nutritional value. *Journal of Environmental Management*, 273, 111092.
- Bouma, J. A., & Van Beukering, P. J. (Eds.). (2015). *Ecosystem services: from concept to practice*. Cambridge University Press.
- Broom, D. M. (2017). Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 683-688.
- Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1771), 20132025.
- Bugalho, M. N., & Abreu, J. M. (2008). The multifunctional role of grasslands. *Sustainable Mediterranean grasslands and their multifunctions*, 25-30.
- Buijs, A., Hansen, R., Van der Jagt, S., Ambrose-Oji, B., Elands, B. Lorance Rall, E., Mattijssen, Th., Pauleit, S., Runhaar, H., Stahl Olafsson, A. and Steen Møller, M. (2019). Mosaic governance for urban green infrastructure: Upscaling active citizenship from a local government perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019 (40), 53-62.
- Buishand, T. en Snoek, N.J. (1982). Teelt van bos- en waspeen. Teelthandleiding no. 5. Groen. Kennisnet. [Teelt van bos- en waspeen - Groen Kennisnet](#)
- Bünemann, E.K., Schwenke, G. D. and Van Zwieten, L. (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Australian Journal of Soil Research* 44(4), 379-406, <https://doi.org/10.1071/SR05125>.
- Butterly, C.R., Baldock, J.A. and Tang, C. (2013). The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions. *Plant and soil*, 366, pp. 185-198.

- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., & Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: a survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243-255.
- Castro, M. (2009). Silvopastoral systems in Portugal: current status and future prospects. *Agroforestry in Europe: current status and future prospects*, 111-126.
- Cavalli, D., Cabassi, G., Borrelli, L., Geromel, G., Bechini, L., Degano, L. and Gallina, P.M. (2016). Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *European journal of agronomy*, 73, pp. 34-41.
- Cavalli, D., Corti, M., Baronchelli, D., Bechini, L. and Gallina, P.M. (2017). CO₂ emissions and mineral nitrogen dynamics following application to soil of undigested liquid cattle manure and digestates. *Geoderma*, 308, pp. 26-35.
- CDM (2017). CDM-advies 'Definitie en interpretatie van potstalmest www.wur.nl/upload_mm/0/c/c/3bd3e1aa-488e-4a77-ae1e-1a79cd6dfa1d_1716199_Oene%20enema%20bijlage%201.pdf
- Choudhary, M., Bailey, L.D. and Grant, C.A. (1996). Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality. *Waste Management & Research*, 14(6), pp. 581-595.
- CNT (2011). The Value of Green Infrastructure; A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits. [CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf](#).
- Coolidge, E. C., Chadwick, D. R., Smith, L. M., Leake, J. R., & Jones, D. L. (2022). Agronomic and environmental benefits of reintroducing herb and legume-rich multispecies leys into arable rotations: a review. *Front. Agric. Sci. Eng*, 9(2), 245-271.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bàrberi, P., Fließbach, A., ... & Mäder, P. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for sustainable development*, 36, 1-20.
- Copeland, C. (2010). Air quality issues and animal agriculture: A primer. *Anim Agric Res Prog*, 1.
- Crittenden, S. J. (2015). Biophysical soil quality of tillage systems in conventional and organic farming (Doctoral dissertation, Wageningen University and Research).
- De Haan, J., Wesselink, M., van Dijk, W., Verstegen, H., van Geel, W., & van den Berg, W. (2018). Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond: Resultaten van de gangbare bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2011-2016 (No. WPR-754). Wageningen University & Research, Praktijkonderzoek AGV.
- De Los Rios, J., Poyda, A., Reinsch, T., Kluß, C., Taube, F., & Loges, R. (2022). Integrating crop-livestock system practices in forage and grain-based rotations in northern Germany: Potentials for soil carbon sequestration. *Agronomy*, 12(2), 338.
- De Wit, D., Bakker, N., Selin Norén, I., Koopmans, C. & Dekkers, M.F. (n.d.). Telen van groenbemesters. PPS Beter Bodembeheer.
- De Wit, J. (2013). Bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganische-stofgehalte: bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganische-stofgehalte (No. 2013-005 LbD). Louis Bolk Instituut.
- De Wolf, P., Dawson, A., & Klompe, K. (2019). Kosten en baten van bodemmaatregelen: Grondbewerking, organische stofaanvoer en *Tagetes patula* als aaltjesvanggewas (No. WPR-819). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- De Wolf, P., Spruijt, J., & Stienezen, M. (2017). Gras en maïs in vruchtwisseling: een overzicht van bestaande kennis.
- Degani, E., Leigh, S.G., Barber, H.M., Jones, H.E., Lukac, M., Sutton, P. and Potts, S.G. (2019). Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 285, p. 106625.
- Dekkers, M. F., Haagsma, W., van Geel, W., van den Berg, W., & de Haan, J. (2023). Groenbemesters en groenbemestermengsels bij niet-kerende grondbewerking (No. WPR-OT 975). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.

- Delgado, M., Rodríguez, C., Martín, J.V., de Imperial, R.M. and Alonso, F. (2012). Environmental assay on the effect of poultry manure application on soil organisms in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 416, pp. 532-535.
- D'Hose, T., Cougnon, M., De Vlieghe, A., Willekens, K., Van Bockstaele, E., & Reheul, D. (2012). Farm compost application: effects on crop performance. *Compost Science & Utilization*, 20(1), 49-56.
- Dijkshoorn-Dekker, M., C. Daatselaar, R. Schrijver, K. de Jong, B. Smit, M. Manshanden, R. Pessers, Z. van Eldik en J. Westerink (2024). *Extensivering melkveehouderij en akkerbouw; Krimp in veestapel, groei in areaal of vermindering bouwplanintensiteit*. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2024-042. <https://doi.org/10.18174/660393>
- Dollinger, J., & Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry systems*, 92, 213-219.
- Drost, S. M., Rutgers, M., Wouterse, M., De Boer, W., & Bodelier, P. L. (2020). Decomposition of mixtures of cover crop residues increases microbial functional diversity. *Geoderma*, 361, 114060.
- Duiker, S.W. and Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio, *Soil and Tillage Research* 52 (1–2).
- DuPont, S. T., Culman, S. W., Ferris, H., Buckley, D. H., & Glover, J. D. (2010). No-tillage conversion of harvested perennial grassland to annual cropland reduces root biomass, decreases active carbon stocks, and impacts soil biota. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137 (1–2), 25-32.
- Erisman, J.W., Van Eekeren, N., Van Doorn, A., Geertsema, W., Polman, N. (2017). *Maatregelen Natuurinclusieve landbouw*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, rapport 2821 - 49.
- European Central Bank. (2024, April 3). Inflation forecasts. Opgehaald van European Central Bank: https://www.ecb.europa.eu/stats/ecb_surveys/survey_of_professional_forecasters/html/table_hist_hicp.en.html.
- Eurostat Statistics Explained (2020). Glossary: Manure, visited in June 2023 via the website <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Manure&oldid=476892>
- Falloon, P., Powlson, D. & Smith, P. (2004). Managing field margins for biodiversity and carbon sequestration: a Great Britain case study. *Soil Use and Management*, 20(2), pp. 240-247.
- Fan, K., Delgado-Baquerizo, M., Guo, X., Wang, D., Zhu, Y.-G., and Chu, H. (2020). Microbial resistance promotes plant production in a four-decade nutrient fertilization experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 141, 107679.
- Font-Palma, C. (2019). Methods for the treatment of cattle manure—a review. *C*, 5(2), 27.
- Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F. and Reitz, T. (2016). Mineral vs. organic amendments: microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long-term fertilization strategies. *Frontiers in microbiology*, 7, p. 1446.
- Fu, B., Chen, L., Huang, H., Qu, P. & Wei, Z. (2021). Impacts of crop residues on soil health: A review. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33(1), pp.164-173.
- Ghane, E. (2022). Blind inlet. Michigan State University Extension Bulletin E3454.
- Geisseler, D., Horwath, W.R., Joergensen, R.G. and Ludwig, B. (2010). Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), pp. 2058-2067.
- Gopalakrishnan, V., Hirabayashi, S., Ziv, G. and Bakshi, B.R. (2018). Air quality and human health impacts of grasslands and shrublands in the United States. *Atmospheric Environment*, 182, pp. 193-199.
- Guthrie, S., Giles, S., Dunkerley, F., Tabaqchali, H., Harshfield, A., Ioppolo, B. & Manville, C. (2018). *The impact of ammonia emissions from agriculture on biodiversity*. RAND Corporation and The Royal Society, Cambridge, UK.
- Handboek Groenbemesters (2019). *Handboek Groenbemesters*, via de website: <https://www.handboekgroenbemesters.nl/nl/handboekgroenbemesters.htm>
- Hao, X. and Chang, C. (2002). Effect of 25 annual cattle manure applications on soluble and exchangeable cations in soil. *Soil science*, 167(2), pp. 126-134.
- Haycock, N.E. and Pinay, G. (1993). Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter (Vol. 22, No. 2, pp. 273-278). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Hijbeek R., van Ittersum, M.K., ten Berge, H.F.M., Gort, G., Spiegel H. and Whitmore, A.P. (2017). Do organic inputs matter – a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe. *Plant Soil* (2017) 411:293–303; DOI 10.1007/s11104-016-3031-x.

- Hoogmoed, M., Janmaat, L., Verstand, D., Bijker, J. W., Schurer, B. L. M., Timmermans, B. G. H., Heesmans, I.M., Specken, J., Westerhof, H., Michielsen, C., Colombijn-van der Wende, K. en Koopmans, C. (2021a). Bodem & Klimaat Netwerk Akkerbouw: Voortgangsrapportage juni 2021. Slim Landgebruik.
- Hoogmoed, M., Timmermans, B. G. H., Bloem, J., van Asperen, P., Cruijisen, J. J. P., de Haan, J. J., Selin Norén, I., T. Slier, J.P. Wagenaar, A. Elsen & Koopmans, C. J. (2021b). Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen: In beeld gebracht aan de hand van de BLN-indicatorenset. Slim Landgebruik.
- Horton, B., Digman, C.J., Ashley, R.M. & Gill (2016) Benefits of SuDS Tool, Technical Guidance, CIRIA.
- Hunt, N.D., Liebman, M., Thakrar, S.K. & Hill, J.D. (2020). Fossil energy use, climate change impacts, and air quality-related human health damages of conventional and diversified cropping systems in Iowa, USA. *Environmental science & technology*, 54(18), pp.11002-11014.
- IEX (2024, April 21). Nederland 10 jaar » Koers Rente. Opgehaald van IEX: <https://www.iex.nl/Rente-Koers/190118356/Nederland-10-jaar.aspx>
- Jankowska-Huflejt, H. (2006). The function of permanent grasslands in water resources protection. *Journal of Water and Land Development*, 55-65.
- Janmaat, L. en Koopmans, C. (Red.) (2020). Met bijdragen van Heesmans, H., Specken, J., Verstand, D., van Opheusden, M., Timmermans, B., Heupink, D., Westerhof, H. en Colombijn-van der Wende, K. Bodem & Klimaat Netwerk – Akkerbouw, voortgangsrapport 2020. Louis Bolk Instituut, Wageningen University & Research, SPNA, ZLTO. Beschikbaar via: https://www.slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2021-04/20200925-rapportage-sl-netwerken-akkerbouw_def.pdf
- Jones, S.K., Rees, R.M., Kosmas, D., Ball, B.C. & Skiba, U.M. (2006). Carbon sequestration in a temperate grassland; management and climatic controls. *Soil Use and Management*, 22(2), pp.132-142.
- Kelbesa, W.A., 2021. Effect of compost in improving soil properties and its consequent effect on crop production—A review. *J. Nat. Sci. Res*, 12(10).
- Klaassen, R., Schultinga, M., Sirks, A., Kleyheeg, E., & Wiersma, P. (2022). Evaluatie van de effecten van het agrarisch natuurbeheer op voorkomen en trends van akkervogels in de provincie Groningen 2015–2020. Grauwe Kiekendief–Kenniscentrum Akkervogels, Scheemda, NL.
- Klages, S., Heidecke, C., Osterburg, B., Bailey, J., Calciu, I., Casey, C. and Velthof, G. (2020). Nitrogen surplus — a unified indicator for water pollution in Europe? *Water*, 12 (4), 1197.
- Königer, J., Lugato, E., Panagos, P., Kochupillai, M., Orgiazzi, A., & Briones, M. J. (2021). Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU. *Agricultural Systems*, 194, 103251.
- Koopmans, C., & Van Rhee, G. (2021, December 7). Factsheets discontovoet: Vragen en antwoorden over de nieuwe discontovoeten met ingang van 2021. Opgehaald van [rwseconomie](https://www.rwseconomie.nl/binaries/rwseconomie/documenten/rapporten/2021/december/07/factsheets-discontovoet/2021-58+Fac): <https://www.rwseconomie.nl/binaries/rwseconomie/documenten/rapporten/2021/december/07/factsheets-discontovoet/2021-58+Fac>
- Koopmans, C.J., B.G.H. Timmermans, M. Hoogmoed, D. Heupink, J.J.P. Cruijisen, J. De Haan, I. Selin Norén, T. Slier en J.P. Wagenaar (2021). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023. Voortgangsrapportage juni 2021.
- Kouwenhoven, J.K. (1998). Mechanical weed control in row crops.
- Kouwenhoven, J.K., Perdok, U.D., de Boer, J. en Oomen, G.J.M. (2002). Soil management by shallow moldboard ploughing in the Netherlands. *Soil & Tillage Research*, 65, pp. 125-139.
- Kuhlman, T., Prins, H., Smit, B., Wijnholds, K. (2014). Klimaatbestendige landbouw Veenkoloniën; Maatschappelijke kosten-batenanalyse. WUR, LEI Nota 14-040. Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/312111>
- Kumar, P. (Ed.). (2012). *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations*. London, Routledge.
- Lal, R. (1974). No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. *Plant and Soil*, 40, 321-331.
- L'Herroux, L., Le Roux, S., Appriou, P. and Martinez, J. (1997). Behaviour of metals following intensive pig slurry applications to a natural field treatment process in Brittany (France). *Environmental Pollution*, 97(1-2), pp. 119-130.

- Lan, R., Eastham, S.D., Liu, T., Norford, L.K. and Barrett, S.R. (2022). Air quality impacts of crop residue burning in India and mitigation alternatives. *Nature communications*, 13 (1), p. 6537.
- Lessmann, M., Ros, G. H., Young, M. D., & de Vries, W. (2022). Global variation in soil carbon sequestration potential through improved cropland management. *Global Change Biology*, 28(3), 1162-1177.
- Liu, H., Li, J., Li, X., Zheng, Y., Feng, S., & Jiang, G. (2015). Mitigating greenhouse gas emissions through replacement of chemical fertilizer with organic manure in a temperate farmland. *Science Bulletin*, 60(6), 598-606.
- Liu, T., Chen, X., Hu, F., Ran, W., Shen, Q., Li, H., & Whalen, J. K. (2016). Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities. *Agriculture, ecosystems & environment*, 232, 199-207.
- Liu, S., Wang, J., Pu, S., Blagodatskaya, E., Kuzyakov, Y. and Razavi, B.S. (2020). Impact of manure on soil biochemical properties: A global synthesis. *Science of the Total Environment*, 745, p. 141003.
- Maltas, A., Kebli, H., Oberholzer, H. R., Weisskopf, P., & Sinaj, S. (2018). The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long-term field experiment under a Swiss conventional farming system. *Land degradation & development*, 29 (4), 926-938.
- Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T.H., Muñoz, P., Rieradevall, J., Møller, J., Antón, A. & Boldrin, A. (2013). Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33, pp. 721-732.
- McConkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A. and Lafond, G.P. (2002). Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil and Tillage Research*, 74 (1), pp.81-90.
- Milazzo, F., Francksen, R. M., Abdalla, M., Ravetto Enri, S., Zavattaro, L., Pittarello, M., Hejduk, S., Newell-Price, P., Schils, R.L.M., Smith, P. & Vanwalleghem, T. (2023). An Overview of Permanent Grassland Grazing Management Practices and the Impacts on Principal Soil Quality Indicators. *Agronomy*, 13(5), 1366.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2022, Februari 22). Discontovoet. Opgehaald van RWSeconomie.nl: <https://www.rwseconomie.nl/discontovoet>.
- Moinet, G.Y.K., R. Hijbeek, D.P. van Vuuren and K.E. Giller, 2023. Carbon for soils, not soils for carbon. *Global Change Biology* 2023; 29:2384–2398.
- Mosquera-Losada, M. R., Fernández-Núñez, E., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2006). Pasture, tree and soil evolution in silvopastoral systems of Atlantic Europe. *Forest Ecology and Management*, 232(1-3), 135-145.
- Mosquera-Losada, M.R., Santiago-Freijanes, J.J., Rois-Díaz, M., Moreno, G., den Herder, M., Aldrey-Vázquez, J.A., Ferreiro-DoMínguez, N., PanTera, A., PisAnelli, A. and Rigueiro-Rodríguez, A. (2018). Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. *Land Use Policy*, 78, pp. 603-613.
- Nordahl, S.L., Preble, C.V., Kirchstetter, T.W. & Scown, C.D. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. *Environmental science & technology*, 57(6), pp.2235-2247.
- Nyameasem, J.K., Zutz, M., Kluß, C., Ten Huf, M., Essich, C., Buchen-Tschiskale, C., Ruser, R., Flessa, H., Olf, H.W., Taube, F. and Reinsch, T. (2022). Impact of cattle slurry application methods on ammonia losses and grassland nitrogen use efficiency. *Environmental Pollution*, 315, p. 120302.
- Oyesiku-Blakemore, J., & Dondini, M. (2022). Managing permanent grasslands for carbon sequestration in Scottish soils. University of Aberdeen.
- Paulin, R., & O'Malley, P. (2008). Compost production and use in horticulture. Government of Western Australia: Department of Agriculture and Food.
- Porre, R.J., van der Werf, W., De Deyn, G.B., Stomph, T.J. and Hoffland, E. (2020). Is litter decomposition enhanced in species mixtures? A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 145, 107791.
- Post, P. M., Hogerwerf, L., & Lebret, E. (2021). Rapportage verkennende Expertconsultatie - Veranderingen in de veehouderij en mogelijke effecten op volksgezondheid en milieu. RIVM-rapport 2021-0028.
- Postma, J., Schilder, M., Bloem, J., Visser, J., Os, G. van, Broilma, K., Hoogmoed, M., Postma, R., Korthals, G. (2020). Sturen op bodemweerbaarheid door toediening van organische materialen. TKI-AF-1526, Wageningen University & Research.
- Postma, R., Korthals, G. W., Termorshuizen, A. J., Dekker, P. H. M., & Thoden, T. C. (2010). Effecten van verse organische stof. NMI.

- Power, A.G. (2010). Ecosystem services and agriculture: trade-offs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), pp. 2959-2971.
- Pretty, J. and Pervez-Bharucha, Z., 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of botany*, 114(8), pp. 1571-1596.
- Rabotyagov, S.S. (2010). Ecosystem services under benefit and cost uncertainty: An application to soil carbon sequestration. *Land Economics*, 86(4), pp. 668-686.
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoché, A., Affholder, F., Rabeharisoa, L. & Corbeels, M. (2017). Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37, pp.1-17.
- Rayne, N. and Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), p. 64.
- Rijksoverheid (2012). Een kennismaking met de maatschappelijk kosten-baten (MKBA), Handreiking voor beleidsmakers, Januari 2012.
- Rougoor, C. (CLM), S. Staps (LBI), B. Smit (WUR), C. de Lauwere (WUR), T. Kisters (WUR), P. Rietberg (CLM), D. Keuper (CLM) en H. Heesmans (WUR), 2022, Incentives voor bodem-C; Ervaringen van praktijkpilots. [Slim Landgebruik](#).
- RVO (2022). Blijvend grasland 2022. Bezocht op 10-05-2023 via:
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/vergroeningsbetaling-2022/blijvend-grasland-2022>
- RVO (2023). Punten en waarden eco-activiteiten 2023. GLB. via de website: [rvo.nl/sites/default/files/2023-04/221115%20Punten%20en%20waarde%20eco-activiteiten%202023%20v1.0.pdf](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-04/221115%20Punten%20en%20waarde%20eco-activiteiten%202023%20v1.0.pdf)
- Savage, J., Woodcock, B. A., Bullock, J. M., Nowakowski, M., Tallowin, J. R., & Pywell, R. F. (2021). Management to support multiple ecosystem services from productive grasslands. *Sustainability*, 13(11), 6263.
- Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Herbert, Z.G.J., Hoogmoed, M., Fuchs, L.M., Heupink, D.T., Slier, T., Wagenaar, J.P. en Koopmans, C.J. (2022). Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)-bodemkwaliteit indicatoren - Deel 2. Louis Bolk Instituut, No. 2022-010 LbP.
- Scherr, S.J. and McNeely, J.A. (2008). Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of 'ecoagriculture' landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), pp. 477-494.
- Schils, R.L.M., Bufer, C., Rhymer, C.M., Francksen, R.M., Klaus, V.H., Abdalla, M., Milazzo, F., Lellei-Kovács, E., Ten Berge, H., Bertora, C., Chodkiewicz, A., Dămătîrcă, C., Feigenwinter, I., Fernández-Rebollo, P., Ghiasi, S., Hejduk, S., Hiron, M., Janicka, M., Pellaton, R. Smith, K.E., Thorman, R., Vanwalleghem, T., Williams, J., Zavattaro, L., Kampen, J., Derkx, R., Smith, P., Whittingham, M.J., Buchmann, N., Newell Price, J.P. (2022). Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 330, 107891, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107891>.
- Schouten, T., Bloem, J., de Goede, R., van Eekeren, N., Deru, J., Zanen, M., Sukkel, W., van Balen, D., Korthals, G., and Rutgers, M. (2018). Niet-kerende grondbewerking goed voor de bodembiodiversiteit? Veldexperimenten uitgelicht. Louis Bolk Instituut; no. 3340.
- Schoutsen, M. A., & Vijn, M. P. (2021). Agroforestry in de akkerbouw. *Ekoland*, 41(1), 48-49.
- Schröder, M., Hahlbrock, K. and Kombrink, E. (1992). Temporal and spatial patterns of 1, 3- β -glucanase and chitinase induction in potato leaves infected by *Phytophthora infestans*. *The Plant Journal*, 2(2), pp. 161-172.
- Schurer, B., Herbert, Z., van Hal, O., Wagenaar, J. P., Koopmans, C., Janmaat, L., & Schepens, J. (2022). Maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale bodems: ervaringen uit de praktijknetwerken van Slim Landgebruik. Louis Bolk Instituut.
- Seitz, D., Fischer, L.M., Dechow, R. et al. (2023). The potential of cover crops to increase soil organic carbon storage in German croplands. *Plant Soil* 488, 157–173, <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05438-w>.
- Selin Norén, I., Dawson, A., van der Voort, M. P. J., & Vijn, M. P. (2019a). Agroforestry, wat levert het financieel op?: Handreiking voor agrarisch ondernemers die bomen willen planten op hun bedrijf (No. 4). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- Selin Norén, I., Keur, J., Vijn, M. P., Schoutsen, M. A., Cuperus, F., Slier, T., de Vries, W., van Goor, W. & Schrijver, R. A. M. (2019b). Klimaatcompensatie met agroforestry, wat is mogelijk? Handreiking voor agrarisch ondernemers die bomen willen planten op hun bedrijf. Wageningen University & Research.

- Selin Norén, I., Cuperus, F., Schoutsen, M. A., Vijn, M. P., Nanu, A., Schmitz, P., & Verhoeven, D. (2019c). Biodiversiteit vergroten, hoe doe ik dat?: Handreiking voor agrarisch ondernemers die bomen willen planten op hun bedrijf (No. 2). Wageningen University & Research.
- Selin Norén, I., Vervuurt, W., Bakker, N., Koopmans, C., Verstand, D. en de Haan, J. (2022). Analyse van bodemaatregelen: effecten op bodemfuncties en toepasbaarheid. Wageningen Plant Research, Business unit Open teelten, rapport WPR-OT-898.
- Singh, D., Dhiman, S.K., Kumar, V., Babu, R., Shree, K., Priyadarshani, A., Singh, A., Shakya, L., Nautiyal, A. & Saluja, S. (2022). Crop Residue Burning and Its Relationship between Health, Agriculture Value Addition, and Regional Finance. *Atmosphere*, 13 (9), p.1405.
- Slier, T. & Velthof, G. L. (2021). 30 vragen en antwoorden over lachgasemissie uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research.
- Slier, T., Lesschen, J. P., Stout, B. J. B., Porre, R. J., de Haan, J. J., & Koopmans, C. (2021). CO₂ Bodem Tussenresultaten Slim Landgebruik. Slim Landgebruik.
- Slier, T., Stout, B., Vervuurt, W., Schepens, J., Garcia, L. M., Velthof, G. L., Lesschen, J.P., Agricola, H.J., Westerik, B., Koopmans, Chr. & van Middelaar, J. (2022). Integratierapport Slim Landgebruik: Verdieping op de effecten van maatregelen binnen Slim Landgebruik. Slim Landgebruik.
- Slier, T., Westerik, D., Stout, B., van Middelaar, J., Lesschen, J.P., Koopmans, Chr., Schepens, J. & Vervuurt, W. (2024). CO₂Bodem; Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Slim Landgebruik. [co2bodem_2023.pdf \(slimlandgebruik.nl\)](#).
- Smit, A., de Ruijter, F.J., de Haan, J.J., en Paauw, J.G.M. (2011). Maatregelen ter vermindering van de nitraatuitspoeling. Alterra, rapport nr. 2239.
- Smit, B., Janssens, B., Haagsma, W., Hennen, W., Adrados, J.L. and Kathage, J. (2019) Adoption of cover crops for climate change mitigation in the EU. Publications Office of the European Union, Luxembourg, Technical Reports JRC116730. Edited by J. Kathage & I Pérez Dominguez. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC116730/ccc_report.pdf.
- Smit, A.B., Thorsøe, M.H., van der Kolk, J.W.H., Nikolaus, K., Martinez Garcia, L., Facq, E., Falconi, I., Erdal, Ü., Heidecke, C., Martelli, A., Criscuoli, I., Dara Guccione, G., Graversgaard, M., Polakova, J., Göttinger, S., Baumgarten, A., Reynders, S. and Nogue, M. (2024). Roadmap for carbon farming schemes (Road4Schemes); Deliverable D2.1-2, D2.4-5; Carbon farming schemes throughout Europe, an overall inventory and analysis. *EJP Soil*. <https://doi.org/10.18174/654551>.
- Smith J., Potts, S.G., Woodcock, P.A., and Eggleton, P. (2008). Can arable field margins be managed to enhance their biodiversity, conservation and functional value for soil macrofauna? *Journal of Applied Ecology* 2008, 45, 269–278
- Soil Mate (2021). [Biodiversity & Crop Rotation](#).
- Sollen-Norrlin, M., Ghaley, B. B., & Rintoul, N. L. J. (2020). Agroforestry benefits and challenges for adoption in Europe and beyond. *Sustainability*, 12 (17), 7001.
- Sommer, S. G., Webb, J., & Hutchings, N. D. (2019). New emission factors for calculation of ammonia volatilization from European livestock manure management systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 101.
- Spruijt, J., Van Dijk, W. en Runia, W. (2013). Meer graan geeft lager bouwplansaldo; Grote opbrengstverhogingen nodig om saldodaling te compenseren. *Akkermagazine* nr 1 januari 2013, 28-29.
- Staps, Sj. (LBI), C. Rougoor (CLM), J.P. Lesschen (WUR) en J. Cozijnsen (Climate Neutral Group) (2021). Methode voor vaststelling van CO₂-vastlegging in de bodem; Type project: CO₂-vastlegging in de bodem door toepassing van blijvend grasland op minerale gronden (zand, klei en löss). Groningen, Stichting Nationale Koolstofmarkt, Kenmerk: [SNK-CO2-vastlegging in de bodem-001](#).
- Stoate, C., Amos, M. & King, P. (2009) Land use history as a foundation for catchment management planning in the Eye Brook, England. *European Landscapes in Transformation: Challenges for Landscape Ecology and Management* (eds J. Brueste, M. Kozova & M. Finka), pp. 336–339. European IALE Conference 2009, Salzburg.
- Stokkers, R., Jager, J. en van Asseldonk, M. (2022). Berekening in de Nederlandse landbouw op gewas- en regioniveau in de periode 2010-2019; Analyses met het Bedrijveninformatienet. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2022-011.

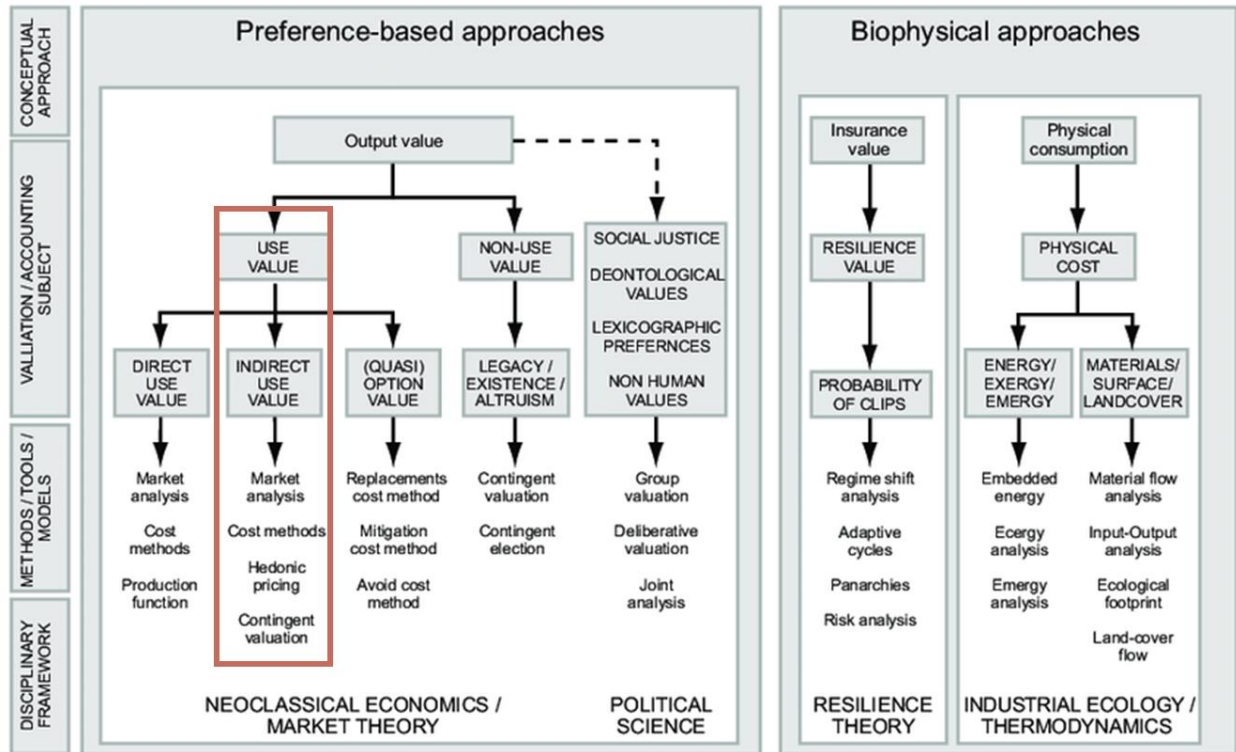
- STOWA, 2010. Handboek hydrobiologie; Biologisch onderzoek voor de ecologische beoordeling van Nederlandse zoete en brakke oppervlaktewateren. Versie september 2010.
- Sukkel, W., & Timmermans, S. (2012). Ondiep ploegen: een inventarisatie; de huidige kennis en enkele praktijkervaringen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Akkerbouw Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten. <https://edepot.wur.nl/245273>.
- Sutherland, L.A. and Darnhofer, I. (2012). Of organic farmers and 'good farmers': Changing habitus in rural England. *Journal of Rural Studies*, 28(3), pp. 232-240.
- Syngenta, Arcadis & Biodiversity International (April 2018). Multifunctional Field Margins; Assessing the benefits for nature, society and business; [a position paper](#).
- Tan, C. S., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Gaynor, J. D., Zhang, T. Q., & Ng, H. Y. (2002). Effect of long-term conventional tillage and no-tillage systems on soil and water quality at the field scale. *Water science and technology*, 46(6-7), 183-190.
- Tang, C. and Yu, Q. (1999). Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. *Plant and Soil*, 215, pp. 29-38.
- Timmer, R. D., van Geel, W., & Haagsma, W. K. (2021). Actualisatie N-bemestingsrichtlijnen groenbemesters. (Rapport Wageningen Plant Research; No. WPR-897). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/554510>.
- Valkonet, S., Helmes, G., & Sloendregt, M. (2022). Regenwormen en vogelakkers. Rapporten Vogelwerkgroep De Kempen.
- Van Alebeek, F. (2015). Duurzaamheidseffecten van akkerranden - wetenschappelijke en praktische onderbouwing van duurzaamheidsaspecten van akkerranden. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/363477>
- Van Balen, D. J. M. (2020). Niet kerende grondbewerking: Nieuwe inzichten in toepasbaarheid en haalbaarheid. *Beter Bodembeheer Magazine*, (2).
- Van Balen, D. J. M., & van Leeuwen-Haagsma, W. K. (2010). Groenbemester stagneert groei. *BioKennis nieuws*, 2010 (05-10-2010).
- Van Balen, D. J. M. & Haagsma, W. (2017). Effecten van gereduceerde grondbewerking: groenbemesters beschermen bodem in winter en verminderen onkruidruk in groeiseizoen. *Ekoland: vakblad voor biologische landbouwmethoden, verwerking, afzet en natuurvoeding*, (5), 12-13.
- Van der Burgt, E., Verstand, D., 2021. De Kosten van irrigatiesystemen in beeld; Een kostenvergelijking van druppelirrigatie, peilgestuurde drainage en de haspel. Wageningen Research, Rapport WPR 900.
- Van den Hout, M., de Wit, J., Bruinenberg, M., Hoekstra, N., Struyk, P., Pijlman, J., & van Eekeren, N. (2023). Grasland maakt het verschil. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer 2023-013 LbD.
- Van der Kolk, J., Agricola, H., te Pas, E., Slier, T., Smit, B., & Staps, S. (2021). No-regret maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale landbouwbodems.
- Van der Meulen, H., Smit, B. en Jager, J. (2017), Effecten nieuw GLB op inkomens, kosten en administratieve lasten; Gevolgen van aanpassing directe betalingen en invoering vergroeningseisen. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2017-080 (<http://edepot.wur.nl/421047>).
- Van der Spek, K. (2024). Hamsteren op stromarkt om opslag te vullen. Website Nieuwe Oogst. [Hamsteren op stromarkt om opslag te vullen - Nieuwe Oogst](#).
- Van der Voort, M. (red.) (2018). Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt. Lelystad, PPO, Publicatienr. 776.
- Van der Schoot, J.R. (n.d.). Gras wordt steeds beter. Drogestofopbrengst rassenlijstsortiment stijgt jaarlijks half procent. *Veeteelt Gras Extra*. [306362 \(wur.nl\)](https://www.306362.wur.nl)
- Van der Veer, S., Hamed, R., Karabiyik, H. and Roskam, J.L. (2024). Mitigating the effects of extreme weather on crop yields: insights from farm management strategies in the Netherlands. *Environ. Res. Lett.* 19 104042. DOI [10.1088/1748-9326/ad7308](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad7308).
- Van Dijk, W., Schröder, J.J., ten Holte, L. & de Groot, W.J.M. (1995). Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Lelystad, PAGV, Verslag 201.

- Van Dijk, W., Spruijt, J., Runia, W. and van Geel, W. (2012). Verruiming vruchtwisseling in relatie tot mineralenbenutting, bodemkwaliteit en bedrijfseconomie op akkerbouwbedrijven. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, no. 527.
- Van Eekeren, N. en Bokhorst, J. (2009). Beoordeling bodemkwaliteit zandgrond: een inventarisatie van bodemindicatoren voor de veehouderij. *Rapport nr. LV77*.
- Van Eekeren, N., & Visser, T. (2019). Memo: Invulling Kruidenrijk Grasland: definitie, randvoorwaarden en borging (No. 2019-018). Louis Bolk Instituut.
- Van Eerten-Jansen, M., van de Loo, J., van der Leeden, M. en van Oers, G. (2019). Maatschappelijke kosten-batenanalyse van bodemverbeterende maatregelen.
- Van Geel, W.C.A. & Verstegen, H.A.G. (2008). Bijbemesting met Pulstec in consumptieaardappelen op zandgrond: Verslag van veldonderzoek in 2009. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Sector AGV PPO, rapport nr. 32 50145109*.
- Van Geel, W. C. A., Dekker, P. H. M., De Groot, W. J. M., Van den Akker, J. J. H., & Floot, H. W. G. (2007). *Structuurherstellend vermogen van groenbemesters*. Kennisakker. nl.
- Van Goor, W. (n.d.). CO2 vastlegging met bomen op een pluimveebedrijf, Face The Future / Louis bolk instituut / Probos / Bio-meerwaarde-ei, presentatie 27-09-2018.
- Van Hal, O. & Wagenaar, J.P. (2020). *Bodem & Klimaat Netwerk Veehouderij; tussenrapportage*.
- Van Hal, O., & Wagenaar, J. P. (2021). *Bodem & Klimaat Netwerk Veehouderij; tussenrapportage*.
- Van Rossum, Z. A., Wäckers, F. L., Janssen, A., & van Rijn, P. C. J. (2022). Bevordering van nuttige organismen voor plaagbestrijding en bestuiving in open teelten. University of Amsterdam.
- Van Well, E.A.P. van, R.H.E.M. Geerts, G.J. Hillhorst & J.A. Guldemond (2003). *Agrarisch natuurbeheer op De Marke. Resultaten 1991-2001. CLM rapport 558. Utrecht/De Marke rapport 40*.
- Van Well, E., Vermeulen, E. en Penninkhof, J. (2022). *Bomen, landbouw, klimaat en bodem. CLM-rapport 1111*.
- Van Wijk, C.A.P. (2014). Effect van groenbemesters op fosfaatvastlegging en volggewas. Website Beter Bodembeheer. <https://edepot.wur.nl/325811>.
- Verstand, D., Bijker, J. W., Evers, A. G., van der Burgt, E. A. P., van Hal, O., Wagenaar, J. P., Smit, A.B. en de Haan, M. H. A. (2022). *Kosten en Baten van Koolstofmaatregelpakketten*. Wageningen University & Research.
- Vervuurt, W., Schepens, J.A.B., Ros, G.H., Hoogmoed, M. en Koopmans, C. (in prep.). *Effecten van maatregelen voor koolstofvastlegging op de bodemkwaliteit: Synthese van de resultaten van de jaren 2019, 2020 en 2021*.
- Vickery, J.A., Feber, R.E. and Fuller, R.J. (2009). Arable field margins managed for biodiversity conservation: a review of food resource provision for farmland birds. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133 (1-2), pp. 1-13.
- Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M., & Silva, E. M. (2017). Overview of organic cover crop-based no-tillage technique in Europe: Farmers' practices and research challenges. *Agriculture*, 7 (5), 42.
- Vos, J. en Van der Putten, P.E.L. (2004). Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70 (1), 21-31.
- Wagenaar, J.-P., Van Agtmaal, M., Janssen, P., Stout, B., De Klyn, M., Bijdragen Van Evert Prins, M., Verloop, K., Schils, R., & Jelsma, M. (2020). *Bodem & Klimaat Netwerk-Veehouderij*. Slim Landgebruik.
- Wang, X., He, C., Liu, B., Zhao, X., Liu, Y., Wang, Q. and Zhang, H., 2020. Effects of residue returning on soil organic carbon storage and sequestration rate in China's croplands: A meta-analysis. *Agronomy*, 10(5), p.691.
- Whalen, J.K., Bottomley, P.J. and Myrold, D.D. (2000). Carbon and nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction additions to soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(10), pp. 1345-1352.
- Wiersma, P., Luske, B., Bos, J., Hakkert, J., Ottens, H. J., Postma, M., Klaassen, T., Timmermans, B.G.H. & Zanen, M. (2019). *Vogelakkers: het effect op de biodiversiteit en de landbouwkundige inpasbaarheid*. Grauwe Kiekendief – Kenniscentrum Akkervogels, Louis Bolk Instituut en Vogelbescherming Nederland. [3401.pdf \(louis-bolk.nl\)](#)
- Willemse, J. (2015). *Akkerranden in de knel*. Akkerwijzer 7.
- Wyer, K.E., Kelleghan, D.B., Blanes-Vidal, V., Schauburger, G. & Curran, T.P. (2022). Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health. *Journal of Environmental Management*, 323, p. 116285.

- Yadav, A., Gendley, M. K., Sahu, J., Patel, P. K., Chandraker, K., & Dubey, A. (2019). Silvopastoral system: a prototype of livestock agroforestry. *The Pharma Innovation Journal*, 8(2), 76-82. ISO 690
- Zavattaro, L., Bechini, L., Grignani, C., Van Evert, F. K., Mallast, J., Spiegel, H., ... & Ten Berge, H. F. (2017). Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments. *European journal of agronomy*, 90, 127-138.
- Zavattaro, L., Bechini, L., Grignani, C., van Evert, F. K., Mallast, J., Spiegel, H., Sandén, T., Pecio, A., Giráldez Cervera, J. V., Guzmán, G., Vanderlinden, K., D'Hose, T., Ruysschaert, G., ten Berge, H. F. M., D'Hose, T., Ruysschaert, G., & ten Berge, H. F. M. (2017). Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments. *European Journal of Agronomy*, 90, 127–138.
- Zeppetello, L. R. V., Cook-Patton, S. C., Parsons, L. A., Wolff, N. H., Kroeger, T., Battisti, D. S., ... & Masuda, Y. J. (2022). Consistent cooling benefits of silvopasture in the tropics. *Nature communications*, 13 (1), 708.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64 (2), 253-260.
- Zhao, Y., Liu, Z., & Wu, J. (2020). Grassland ecosystem services: a systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecology*, 35, 793-814.

Bijlage 1: Effectbeoordeling literatuurstudie

Deze bijlage bevat allereerst een voorbeeld van een TEEB-benadering (Figuur 8). Vervolgens is een inventarisatie gegeven welke effecten koolstofmaatregelen kunnen hebben op diverse categorieën ecosystemendiensten (Tabel 22).



Figuur 8. TEEB methode, benaderingen voor de inschatting van natuurwaarden (Kumar, 2012).

Tabel 22. Overzicht van effecten van koolstofmaatregelen op diverse categorieën ecosysteemdiensten

		Biofysische ecosysteemdiensten						Menselijke ecosysteemdiensten	
	Maatregel	Koolstofvastlegging	Luchtkwaliteit	Waterkwaliteit	Bodemkwaliteit	Klimaatregulatie	Biodiversiteit	Recreatie	Menselijke gezondheid
Akkerbouw	Verbeterde gewasrotatie	<p>Jaarlijkse vruchtwisseling legde 27-430 kg C ha⁻¹ per jaar meer vast dan vruchtwisseling met kale braak. Het potentieel voor het vastleggen van organisch C in de bodem (SOC) met vruchtwisselingen zonder braak was groter in de zee- dan in de drogere klimaten. (McConkey et al., 2002)</p> <p>Door granen en voedergewassen toe te voegen aan rotatie is er minder kunstmest nodig en wordt er minder uitgestoten. Uit onderzoek bleek dat meer diverse vruchtwisselings-systemen 54% minder broeikasgasemissies genereerden (Hunt et al., 2020)</p>	Diversificatie van gewassen verminderde schade door PM _{2,5} -emissies met 57% (Hunt et al., 2020)	Verandering in gewasrotatie door marktprikkels zullen waarschijnlijk invloed hebben op de basiswaterkwaliteit en op het behoud van natuur en waterkwaliteit (Rabotyagov et al., 2010)	Een onderzoek in de VS naar drie rotatieschema's toonde aan dat vruchtwisseling een significante invloed had op de totale microbiële biomassa, de basale bodemrespiratie, de totale organische en actieve koolstof, de totale hoeveelheid stikstof, aggregatiestabiliteit en organische stofdeeltjes. Mais-soja-koolzaad-rotatie had een hogere bodemkwaliteit dan continue mais of mais-sojaboonrotatie (Aziz et al., 2011).	Gewasdiversiteit in een rotatie kan de veerkracht en stressbestendigheid vergroten (Degani et al., 2019)	Door gewasrotatie kunnen ongedierte, onkruiden en plantenziekten worden vermindert. Aan de andere kant zorgt gewasrotatie voor het vergroten van de (bodem)biodiversiteit (Soil Mate, 2021)	Geen directe link gevonden van de maatregel met recreatie	Zwak verband tussen verbeterde vruchtwisseling en een positief effect op de menselijke gezondheid door minder uitstoot van PM _{2,5} (Hunt et al., 2020).
	Gewasresten achterlaten	Uit een meta-analyse van 365 vergelijkingen uit 99 publicaties bleek dat het achterlaten van gewasresten de SOC-opslag met 11,3% verhoogde in vergelijking met het verwijderen van residuen (Wang et al., 2020)	Als gewasresten worden weggehaald en verbrand, zorgt dit voor een aanzienlijke toename van zwevende deeltjes (PM _{2,5}) en andere luchtverontreiniging, zoals zwaveloxide (SO ₂), koolmonoxide (CO) en PM. Dit kan de luchtkwaliteit aanzienlijk negatief beïnvloeden. Verbranden van stro en dergelijke is in	<p>Het achterlaten van gewasresten had een significant effect op de waterretentie (Duiker & Lal, 1999).</p> <p>Het achterlaten van gewasresten kan het vochtgehalte van de bodem verhogen door oppervlakkige afspoeling en directe verdamping te verminderen en daarnaast door het verbeteren van de waterinfiltratie van de bodem (Fu et al., 2021)</p>	<p>Het achterlaten van gewasresten is gunstig voor de fysisch-chemische eigenschappen van de bodem. De hoeveelheid bodemvocht, de porositeit, aggregaastabiliteit, de kationuitwisseling (CEC), organische koolstof, fosfor en kalium namen allemaal toe (Fu et al., 2021)</p> <p>Het effect van het verhogen van gewasresten op de nutriëntenlevering van de bodem (N,P en K) was relatief laag en niet</p>	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	<p>Liu et al. (2016) ontdekten dat het toepassen van gewasresten de meest effectieve manier is voor het verbeteren van de biodiversiteit van de bodem.</p> <p>De toename van bodemfauna na het achterlaten van gewasresten was relatief laag (Ranaivonon et al., 2017)</p>	Geen directe link gevonden tussen deze maatregel met recreatie	<p>Als gewasresten worden verbrand, kan dit een risico vormen voor de gezondheid vanwege een slechte luchtkwaliteit (Singh et al., 2022; Lan et al., 2022). Voor Nederland is dit evenwel niet relevant.</p> <p>Geen directe link gevonden van enkel het achterlaten van gewasresten op menselijke gezondheid</p>

			Nederland al langere tijd verboden.		significant (Ranaivoson <i>et al.</i> , 2017)				
Organische bemesting	Drijfmest	Organische bemesting verhoogde het CO ₂ -verlies door bodemrespiratie, maar verbeterde de koolstofopslag in de bodem vergeleken met minerale bemesting (Jones <i>et al.</i> , 2006)	<p>Er is een aanzienlijk verlies van stikstof in de vorm van ammoniak. Ammoniak dat verloren gaat in de lucht gaat verloren voor de plantengroei (Akoumianaki, 2022)</p> <p>Het toepassen van verschillende drijfmesttechnieken leidt tot verschillende hoeveelheden ammoniakuitstoot. Onderzoek toonde aan dat runderdrijfmest die wordt toegepast met injectietechnieken de mogelijkheid had om de NH₃-emissie en de N-gebruiksefficiëntie te verhogen (Nyameasem <i>et al.</i>, 2022)</p> <p>Drijfmest is moeilijker op te slaan, omdat er meer ammoniak vrijkomt vergeleken met de opslag van vaste mest.</p>	Zware of overmatige bemesting verhoogde de uitspoeling van NO ₃ ⁻ N, P en Mg (Choudhary <i>et al.</i> , 1996)	Onderzoek heeft aangetoond dat het toedienen van mest de hoeveelheid N, P, K, Ca, Mg en Na in de bodem verhoogt (Choudhary <i>et al.</i> , 1996)	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Een verhoogde ammoniakuitstoot kan een negatieve invloed hebben op de biodiversiteit. Een belangrijk effect van ammoniakvervuiling op de biodiversiteit is de impact van stikstofaccumulatie op de diversiteit en samenstelling van plantensoorten in getroffen habitats. Bepaalde soorten zijn bijzonder gevoelig voor ammoniakverontreiniging, zoals korstmossen en mossen in veengebieden. Er is minder bewijs voor de invloed van ammoniak op diersoorten, maar plantenetende dieren zijn gevoelig voor de effecten van ammoniakverontreiniging. Er is ook een negatieve correlatie tussen bloembezoekende insecten zoals bijen en vlinders (Guthrie <i>et al.</i> , 2018)	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie	Verschillende studies hebben aangetoond dat NH ₃ een direct effect heeft op de gezondheid van de luchtwegen van mensen die met vee werken. Deze gezondheidseffecten kunnen bestaan uit een verminderde longfunctie, irritatie aan keel en ogen en meer hoesten. Recente studies hebben aangetoond dat NH ₃ uit de agrarische sector een directe invloed kan hebben op het vroege ontstaan van astma bij jonge kinderen. Naast de mogelijke directe impact van ammoniak, levert bemesting een aanzienlijke bijdrage aan de fractie fijne stofdeeltjes (PM _{2,5}). Dit verhoogt de kans op chronische obstructieve longziekte (COPD) en longkanker (Wyer <i>et al.</i> , 2022)
	Vaste mest	Organische bemesting verhoogde het CO ₂ -verlies door bodemrespiratie, maar verbeterde de koolstofopslag in de bodem vergeleken met minerale bemesting (Jones <i>et al.</i> , 2006)	De bewaring van vaste mest zorgt voor minder luchtverontreiniging dan drijfmest.	Zware of overmatige bemesting verhoogde de uitspoeling van NO ₃ ⁻ N, P en Mg (Choudhary <i>et al.</i> , 1996)	Onderzoek heeft aangetoond dat het toedienen van mest de hoeveelheid N, P, K, Ca, Mg en Na in de bodem verhoogt (Choudhary <i>et al.</i> , 1996)	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Sommige onderzoeken tonen aan dat vaste mest de pH van de bodem kan verhogen door de aanwezigheid van kalium, natrium, magnesium en calcium (L'Herroux <i>et al.</i> , 1997), calciumcarbonaten en -bicarbonaten (Whalen <i>et al.</i> , 2000) en organische anionen (Butterly <i>et al.</i> , 2013). De effecten van mest op de pH van de bodem zijn echter afhankelijk van de beginwaarden (Tang & Yu, 1999), het dieet van	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie	Meerdere studies tonen aan dat NH ₃ een direct effect heeft op de gezondheid van luchtwegen van mensen die met vee omgaan. Deze gezondheidseffecten kunnen bestaan uit een verminderde longfunctie, irritatie aan keel en ogen en meer hoesten en het uitdrijven van slijm. Recentere studies hebben aangetoond dat NH ₃ uit agrarische bronnen een directe

							de dieren (Butterly <i>et al.</i> , 2013), de hoeveelheid mest die wordt toegediend (Hao & Chang, 2002) en de behandeling voorafgaand aan de toediening van de mest (Cavalli <i>et al.</i> , 2016; Cavalli <i>et al.</i> , 2017). Mest lever ook essentiële minerale voedingsstoffen, zoals anorganische stikstof (Geisseler <i>et al.</i> , 2010), koolstof (Francioli <i>et al.</i> , 2016), fosfor en zwavel (Liu <i>et al.</i> , 2020), en metalen zoals zink en koper (Bünemann <i>et al.</i> , 2006; Delgado <i>et al.</i> , 2012) (Koning <i>et al.</i> , 2021).		invloed kan hebben op het vroege ontstaan van astma bij jonge kinderen. Naast de mogelijke directe impact van ammoniak, levert het ook een aanzienlijke bijdrage aan de fractie fijne stofdeeltjes (PM2.5) (namelijk in de VS en Europa), waar het respectievelijk 30% en 50% van alle PM2.5 veroorzaakt. PM2,5 kan diep in de longen doordringen en daar langdurige ziekten veroorzaken zoals chronische obstructieve longziekte (COPD) en longkanker (Wyer <i>et al.</i> , 2022).
	Compost	Bij het gebruik van compost wordt de bodemgezondheid versterkt. Dit komt met name door een toename in bodemmicroben die koolstof door fotosynthese in de bodem vastleggen. Hierdoor neemt de koolstofopslag toe. een toename van 1% van het organisch materiaal in de bodem kan al 10 ton koolstof/ha opslaan.	Het compostingsproces van compost leidt tot de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen, waaronder ammoniak en vluchtige organische stoffen (VOCs), die voorlopers zijn van de vorming van PM2,5. VOCs zijn ook voorlopers van ozon (Nordahl <i>et al.</i> , 2023).	Het gebruik van compost heeft verschillende positieve voordelen: het verbetert de waterdynamiek van de bodem, inclusief waterinfiltratie, waterdoorlatendheid en watervasthoudend vermogen. Dit kan de behoefte aan irrigatie en de daarmee gepaard gaande kans op uitspoeling verminderen.	In vergelijking met mest geeft compost langzamer voedingsstoffen af en hebben deze voedingsstoffen langduriger effect op de bodem en gewas. de langzame afbraak is effectiever bij het verhogen van het organische stofgehalte, dat een sleutelrol speelt in de vruchtbaarheid van de bodem door voedingsstoffen vast te houden, de bodemstructuur te behouden en water vast te houden (Kelbesa, 2021).	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Compostering heeft een positieve invloed op de biodiversiteit, met name in de bodem (Martinez-Blanco <i>et al.</i> , 2013).	Sommige mensen doen aan composteren als hobby.	Compostering leidt tot emissies van luchtverontreinigende stoffen zoals PM2,5 die negatieve gevolgen kunnen hebben voor de menselijke gezondheid (Nordahl <i>et al.</i> , 2023).
	Groenbemesters	Vanggewassen en bedekkingsgewassen hebben het potentieel om de koolstofvastlegging en SOC te verhogen (Seitz <i>et al.</i> , 2022).	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en luchtkwaliteit	Groenbemesters zorgen voor een verminderde afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater. Ook zal de waterdynamiek van de bodem verbeteren.	Vanggewassen worden voornamelijk geïntroduceerd om N vast te houden, maar vanggewassen houden ook beschikbare P vast en recycleren deze in de wortelzone.	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Uit een studie blijkt dat het aantal regenwormen in velden met groenbemesters zijn toegenomen (Dekkers <i>et al.</i> , 2023)	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en menselijke gezondheid
	Akkerranden	Akkerranden met boomstroken bieden het	Akkerranden kunnen luchtverontreinigende	Akkerranden hebben een positief effect op de	Akkerranden zoals heggen en andere buffers zoals	Geen directe link gevonden tussen de	De meeste akkerranden worden ingezaaid met	Akkerranden bieden meer mogelijkheden	Akkerranden kunnen helpen bij het

		<p>grootste potentieel voor koolstofvastlegging, vergeleken met grasstroken of heggen (Falloon en Smith, 2004).</p>	<p>stoffen absorberen of verwijderen (CNT, 2010; Horton <i>et al.</i>, 2016). Een bosrand of groenstrook zijn effectief bij het afvangen van verontreinigende stoffen in de lucht, afhankelijk van een aantal lokale factoren, zoals de ligging, bronnen van verontreinigende stoffen enz.</p>	<p>waterkwaliteit door de uitspoeling van anorganische stikstof te verminderen (Haycock en Pinay, 1993; Power, 2010; Stoate <i>et al.</i>, 2009)</p> <p>Een netwerk van grasstroken naast waterlopen en sloten kan fysieke barrières vormen om de stroming van verontreinigende stoffen te beperken en te voorkomen dat ze in waterlopen terechtkomen. (Syngenta <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>Kruidige akkerranden kunnen bijdragen aan de aanwezigheid en effectiviteit van bestrijders en bestuivers, enerzijds door te functioneren als brongebied waar de aantallen insecten kunnen toenemen en van waaruit zij zich kunnen verspreiden over de akkers, en anderzijds door in essentiële hulpbronnen te voorzien die de bestrijders tijdens het seizoen nodig hebben en die in de aangrenzende gewassen vaak niet aanwezig zijn. Daarnaast kunnen akkerranden uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater reduceren, helpen erosie tegen te gaan en bijdragen aan de esthetische waarde van het landschap.</p>	<p>bomen en grassen kunnen helpen om erosie en afspoeling van velden te verminderen.</p> <p>Akkerranden kunnen goede windbrekers zijn als ze op de juiste manier worden geplaatst, wat helpt bij het verminderen van erosie.</p> <p>De bodemstructuur, bodemsamenstelling en afbraak van micro- en macrofauna in de bodem worden ondersteund door de aanwezigheid van akkerranden als voedsel- en habitatbronnen (Power, 2010; Smith <i>et al.</i>, 2007; Zhang <i>et al.</i>, 2007) (Syngenta <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>Kruidige akkerranden kunnen bijdragen aan de aanwezigheid en effectiviteit van bestrijders en bestuivers, enerzijds door te functioneren als brongebied waar de aantallen insecten kunnen toenemen en van waaruit zij zich kunnen verspreiden over de akkers, en anderzijds door in essentiële hulpbronnen te voorzien die de bestrijders tijdens het seizoen nodig hebben en die in de aangrenzende gewassen vaak niet aanwezig zijn. Daarnaast kunnen akkerranden uitspoeling van gewasbeschermingsmiddel en naar het oppervlaktewater reduceren, helpen erosie tegen te gaan en bijdragen aan de esthetische waarde</p>	<p>maatregel en klimaatregulatie</p>	<p>grassen die voor een verhoogde voedselbeschikbaarheid voor vogels kan zorgen. Door het toevoegen van vaste planten ontstaat een nog grotere diversiteit aan voedselbeschikbaarheid (Vickery <i>et al.</i>, 2009).</p> <p>Akkerranden zijn ecologisch belangrijk voor een agro-ecosysteem omdat ze een bron van biodiversiteit zijn. Ze kunnen bestaan uit een gevarieerde flora die een bron van voedsel kan zijn voor een breed scala aan insecten en vogels (Blaix & Moonen, 2020).</p> <p>Kruidige akkerranden kunnen bijdragen aan de aanwezigheid en effectiviteit van bestrijders en bestuivers, enerzijds door te functioneren als brongebied waar de aantallen insecten kunnen toenemen en van waaruit zij zich kunnen verspreiden over de akkers, en anderzijds door in essentiële hulpbronnen te voorzien die de bestrijders tijdens het seizoen nodig hebben en die in de aangrenzende gewassen vaak niet aanwezig zijn. Daarnaast kunnen akkerranden uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater reduceren, helpen erosie tegen te gaan en</p>	<p>voor mensen om tussen de velden te wandelen en de natuur te ervaren op akkerranden die als wandelpaden worden gebruikt (Syngenta <i>et al.</i>, 2018)</p>	<p>levensonderhoud en het welzijn van boeren, waarbij de verbetering van de biodiversiteit helpt bij het behoud van ecosysteemdiensten voor de landbouw die cruciaal zijn voor het levensonderhoud van boeren. Ze kunnen ook voordelen hebben voor de lokale gemeenschap, zoals het verminderen van conflicten over eigendomsrechten, enz. Ze kunnen helpen bij het verwerven van kennis en educatie, door middel van natuurgerichte schoolreizen (Horton <i>et al.</i>, 2016; Pretty & Pervez Bharucha, 2014); Scherr & McNeely, 2008; Sutherland en Darnhofer, 2012). (Syngenta <i>et al.</i>, 2018)</p>
--	--	---	--	---	--	--------------------------------------	---	--	--

				Bovendien kan hier een deel van de populatie nuttige insecten overleven tijdens het gebruik van gewasbeschermingsmid delen. Voor met name kruipende bestrijders kan de vegetatie in kruidige en grasrijke akkerranden beschutting, overwinteringsplaatsen en voedsel bieden waardoor deze geschikte leefgebieden zijn. (van Rossum <i>et al.</i> , 2022).	van het landschap. Bovendien kan hier een deel van de populatie nuttige insecten overleven tijdens het gebruik van gewasbeschermingsmiddel en. Voor met name kruipende bestrijders kan de vegetatie in kruidige en grasrijke akkerranden beschutting, overwinteringsplaatsen en voedsel bieden waardoor deze geschikte leefgebieden zijn. (van Rossum <i>et al.</i> , 2022).		bijdragen aan de esthetische waarde van het landschap. Bovendien kan hier een deel van de populatie nuttige insecten overleven tijdens het gebruik van gewasbeschermingsmid elen. Voor met name kruipende bestrijders kan de vegetatie in kruidige en grasrijke akkerranden beschutting, overwinteringsplaatsen en voedsel bieden waardoor deze geschikte leefgebieden zijn. (van Rossum <i>et al.</i> , 2022).		
Vogelakkers	Vogelakkers komen in Nederland nog weinig voor. Daarom is een modellering gedaan voor teelt van luzerne. Dit geeft een koolstofvastlegging per hectare van 1864 kg CO ₂ /ha/jaar voor zand en 1430 kg CO ₂ /ha/jaar voor kleigrond (Slier <i>et al.</i> , 2022)	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en luchtkwaliteit	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en waterkwaliteit	Verder zorgen de verschillende stroken voor heterogeniteit in bodemkwaliteit. (Wiersma <i>et al.</i> , 2019) De effecten van een vogelakker op de bodemkwaliteit is nog onvoldoende kwantitatief in beeld gebracht... De gewassen in de vogelakkers hebben een positief effect op de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid. De grassen en vlinderbloemigen wortelen namelijk diep en produceren veel organisch materiaal. Daarnaast binden de vlinderbloemigen stikstof uit de lucht. (Schurer <i>et al.</i> , 2022)	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	In vergelijking met de maïsakkers (bemonstering nr. 2 en 4) waar nauwelijks wormen (1-2) of andere bodemorganisme worden geteld, scoren de vogelakkers (nr. 1, 3 en 6) - met 11-22 wormen - veel beter. Ook de diversiteit is beter in termen van soortgroepen. (Valkonet <i>et al.</i> , 2022) Wiersma, P., Luske, B., Bos, J., Hakkert, J., Ottens, H. J., Postma, M., ... & Zanen, M. (2019). Vogelakkers: het effect op de biodiversiteit en de landbouwkundige inpasbaarheid.	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en menselijke gezondheid	
Niet-kerende grondbewerking	Niet-kerende grondbewerking verhoogt de opslag van organische koolstof in de bodem en verlaagt de uitstoot van koolstofdioxide in het landbouwsysteem (Wang <i>et al.</i> , 2020)	Bij niet-kerende grondbewerking worden zowel het gebruik van machines als bodemerisatie verminderd, wat beide kan leiden tot een verbetering van de	Niet-kerende grondbewerking vermindert de afstroming van oppervlaktewater en verhoogt de watervasthoudendheid	Niet-kerende grondbewerking vermindert de hoeveelheid bodemerisatie die grondbewerking veroorzaakt in bepaalde bodems, vooral in zandige en droge bodems op	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Door het toepassen van niet-kerende grondbewerking kan de hoeveelheid en diversiteit van bodemleven worden vergroot.	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie	In de literatuur is geen direct verband met de menselijke gezondheid gevonden, maar een verminderd gebruik van machines zou enige invloed kunnen hebben op de	

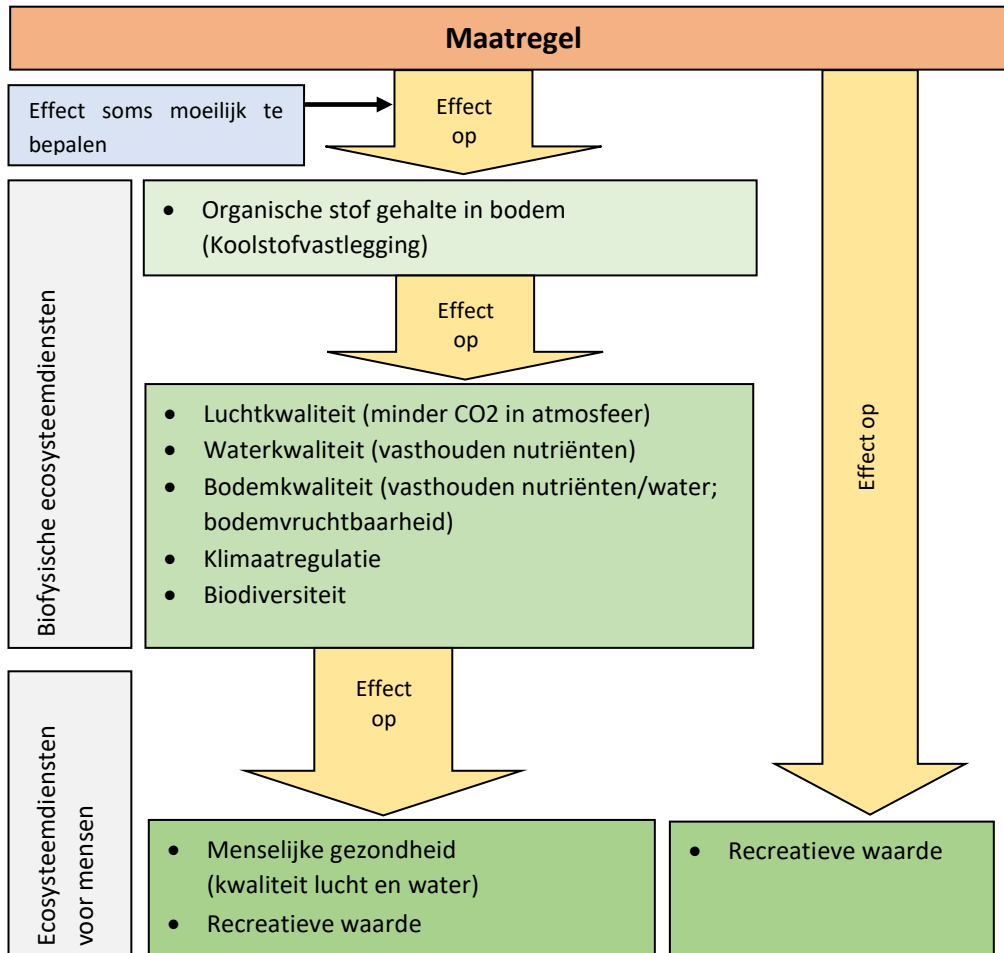
			luchtkwaliteit (Behrer & Lobell, 2022).	van de bodem (Ghane, 2022).	hellend terrein. Andere mogelijke voordelen zijn een toename van de hoeveelheid water die in de bodem infiltreert, het vasthouden van organisch materiaal in de bodem en de nutriëntencyclus.				luchtkwaliteit, die op haar beurt de menselijke gezondheid kan beïnvloeden.	
Veehouderij	Blijvend grasland		Blijvend grasland is een bewezen maatregel voor het vastleggen van koolstof in de bodem (Oyesiku J., & Dondini, M., 2022).	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en luchtkwaliteit	Permanent grasland is - volgens de Kaderrichtlijn Water - een typisch watergerelateerd ecosysteem, omdat ze een positief effect hebben op waterkwaliteit en de waterkringloop (Jankowska-Huflejt, 2006).	Graslanden bedekken meer dan 30% van het totale landbouwareaal in Europa en 69% wereldwijd en worden algemeen erkend om hun rol in het tegengaan van bodemerosie en ecologische multifunctionaliteit (Millazo <i>et al.</i> , 2023).	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Begrazing speelt een essentiële rol in het behoud van grasland. Goed beheerde begrazing kan de bodemkwaliteit, biodiversiteit en andere gerelateerde ecosysteemdiensten bevorderen (Millazo <i>et al.</i> , 2023).	Blijvend grasland creëert ruimte voor recreatie voor buitenactiviteiten	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en menselijke gezondheid
	Organische bemesting	Drijfmest	Onze resultaten toonden aan dat het vervangen van kunstmest door organische mest de uitstoot van broeikasgassen aanzienlijk verminderde. Opbrengsten van tarwe en maïs namen ook toe naarmate de bodemvruchtbaarheid werd verbeterd door de toepassing van dierlijke mest. Het volledig vervangen van kunstmest door organische mest verminderde de uitstoot van broeikasgassen, waardoor het landbouwecosysteem veranderde van een koolstofbron (+2,7 t CO ₂ -eq. hm ⁻² jaar ⁻¹) in een koolstofput (-8,8 t CO ₂ -eq. hm ⁻² jaar ⁻¹). (Liu <i>et al.</i> , 2015). De door drijfmest veroorzaakte C-retentiecöfficiënten verschilden sterk tussen de teeltsystemen: CM (3%), gevolgd door GR (12%), en door FR en MR (20-15%), en als laatste door PG (24%). Het bevorderen van	Landbouwbemesting verergert luchtvervuiling door het stimuleren van de uitstoot van salpeterzuur in de bodem bij een hoge bodemvochtigheid. (Wang <i>et al.</i> , 2021)	Waterverontreiniging, door het overlopen van drijfmestopslagplaatsen of afspoeling na hevige regenval, kan gevolgen hebben voor vissen en het waterleven door een verhoogd biochemisch zuurstofverbruik (BZV), opgeloste ammoniak en de aanwezigheid van fosfor, wat algenbloei veroorzaakt in zoetwatersystemen. Luchtvervuiling wordt toegeschreven aan ammoniakgas dat vrijkomt in de atmosfeer uit mest die op het land wordt verspreid en opgeslagen in stallen. In het VK is 115,8 kt afkomstig van vee, een van de grootste bronnen die 41% van alle Britse ammoniakemissies in 2017 vertegenwoordigt. Gezondheidsproblemen zijn aan de orde gesteld door studies naar de karakterisering van mesttoepassing, waaruit	Een literatuuroverzicht van Rayne & Aula (2020) toonde belangrijke bevindingen van bodemvariabelen op bodemgezondheid. Drijfmest; De grootte van de microbiële biomassa nam jaarlijks toe met 5,1% (c. 0,12 Mg C met 10 Mg C ha ⁻¹ input). Er werd een hogere aggregaatstabiliteit tegen slakverstoring waargenomen. De pH van de bodem daalde licht, de vruchtbaarheid van P (Olsen) nam toe (tot 10 mg P kg ⁻¹), evenals de beschikbaarheid van K (tot 140 mg K kg ⁻¹) en de biologische beschikbaarheid van Mn en Ni. In koolzaadplanten nam het gehalte aan Ca, S, Cu en Mn in het zaad toe, net als K, S, Fe, Mn en Zn in de rest van de plantenbiomassa. Deze veranderingen lagen binnen aanvaardbare concentratiebereiken. De hogere N-gift van DCS is	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	Uit een review van 407 documenten kwam naar voren dat de kwaliteit van de mest belangrijker is voor de biodiversiteit dan de mesthoeveelheid (Köninger <i>et al.</i> , 2021).	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie	De grootste bron van uitstoot van ammoniak (NH ₃) in de atmosfeer is NH ₃ afkomstig van de landbouw, waarvan het grootste deel voortkomt uit dierlijke mest. De uitgestoten NH ₃ vormt een bedreiging voor de menselijke gezondheid door de vorming van fijne deeltjes, veroorzaakt eutrofiëring van natuurlijke ecosystemen en is een verlies van stikstof (N) uit mest (Sommers, Webb & Hutchings, 2019).

		<p>ondergrondse koolstofinputs werd geïdentificeerd als een efficiënte manier om significante stijgingen in ΔSOC te bereiken. (De Los Rios <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>De effecten van organische en minerale meststoffen op koolstofvastlegging, bodemeigenschappen en gewasopbrengsten van een langlopend veldexperiment onder een Zwitsers conventioneel landbouwsysteem. (Malta <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>In de 0-0,3 m bodemdiepte verhoogde drijfmest de hoeveelheid organische koolstof (SOC) in de bodem significant met 2,3 of 2,7% per jaar (c. 2,8 Mg C met 10 Mg C ha⁻¹ input), voornamelijk in de lichte fractie. (Bosch-Serra <i>et al.</i>, 2020)</p>		<p>is gebleken dat kwik (Hg), koper (Cu) en zink (Zn) een hoog risico vormen voor mens en milieu in Europa en Zuidoost-Azië (Font-Palma, 2019).</p>	<p>nuttig gebleken voor de circulaire nutriënteneconomie, terwijl de fysische en chemische bodemkwaliteit en de duurzaamheid van het landbouwsysteem als geheel werden verbeterd. (Bosch-Serra <i>et al.</i>, 2020)</p>				
	Vaste mest	<p>Het hoogste potentieel voor koolstofvastlegging wordt gevonden in regio's met een lage gewasproductie, lage initiële SOC-waarden en in regio's waar dierlijke mest en gewasresten slechts gedeeltelijk worden gerecycled (Lessmann <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Uit de metastudie van Zavattaro <i>et al.</i> (2017) bleek echter dat het C-vastleggingspotentieel van stalmest bijna twee keer zo hoog was in vergelijking met een vloeibare drijfmest.</p>	<p>Emissies uit stallen kunnen worden verminderd door het genereren van verontreinigende stoffen tegen te gaan of door de lucht af te vangen en te behandelen wanneer deze het gebouw verlaat. (Copeland, 2010)</p> <p>Andere methoden die binnen gebouwen kunnen worden gebruikt, zijn het gebruik van beddinggrond, chemische toevoegingen aan dierlijk strooisel en het</p>	<p>Stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen komen voornamelijk voor in de vorm van NH₃-emissies, maar er worden ook hoge N₂- en N₂O-verliezen gerapporteerd uit vaste mest (Klages <i>et al.</i>, 2020). - Dit artikel concludeert dat er geen uniforme indicator is voor nutriëntenbeheer en waterkwaliteit op bedrijfsniveau.</p>	<p>Een literatuuroverzicht van Rayne & Aula (2020) toonde belangrijke bevindingen van bodemvariabelen op bodemgezondheid.</p> <p>Drijfmest; De grootte van de microbiële biomassa nam jaarlijks toe met 5,1% (c. 0,12 Mg C met 10 Mg C ha⁻¹ input). Er werd een hogere aggregaatstabiliteit tegen slakverstoring waargenomen. De pH van de bodem daalde licht, de vruchtbaarheid van P (Olsen) nam toe (tot 10 mg P kg⁻¹), evenals de beschikbaarheid van K (tot 140 mg K kg⁻¹) en de biologische beschikbaarheid van Mn</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie</p>	<p>Uit deze review van 407 documenten kwam naar voren dat mestkwaliteit belangrijker is voor de bodembiodiversiteit dan mesthoeveelheid. (Köninger <i>et al.</i>, 2021).</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie</p>	<p>De grootste bron van uitstoot van ammoniak (NH₃) in de atmosfeer is NH₃ afkomstig van de landbouw, waarvan het grootste deel voortkomt uit dierlijke mest. De uitgestoten NH₃ vormt een bedreiging voor de menselijke gezondheid door de vorming van fijne deeltjes, veroorzaakt eutrofiëring van natuurlijke ecosystemen en is een verlies van stikstof (N) uit mest (Sommers, Webb & Hutchings, 2019).</p>

			manipuleren van het dieet (Copeland, 2010)		en Ni. In koolzaadplanten nam het gehalte aan Ca, S, Cu en Mn in het zaad toe, net als K, S, Fe, Mn en Zn in de rest van de plantenbiomassa. Deze veranderingen lagen binnen aanvaardbare concentratiebereiken. De hogere N-gift van DCS is nuttig gebleken voor de circulaire nutriënteneconomie, terwijl de fysische en chemische bodemkwaliteit en de duurzaamheid van het landbouwsysteem als geheel werden verbeterd. (Bosch-Serra <i>et al.</i> , 2020)				
Kruidenrijk grasland	De botanische samenstelling van braak met meerdere soorten is van cruciaal belang, aangezien peulvruchten, diepgewortelde vaste planten (bijv. <i>Onobrychis viciifolia</i> en <i>Cichorium intybus</i>) en kruiden (bijv., <i>Plantago lanceolata</i>) de koolstof in de bodem kunnen verhogen , de bodemstructuur verbeteren, de behoefte aan stikstofmeststoffen verminderen en het herstel van de bodemfauna (bijv. regenwormen) in aangetaste akkerbouwgronden bevorderen, terwijl ze ook extra milieuvordelen opleveren (bijv. biologische nitrificatieremming en reductie van methaan via de darmen) (Cooledge <i>et al.</i> , 2022).	Studie in de VS: Graslanden en struikgewas kunnen in totaal 6,42 miljoen ton luchtverontreinigende stoffen verwijderen in de Verenigde Staten (Gopalakrishnan <i>et al.</i> , 2018) Er is geen directe literatuur gevonden tussen kruidenrijk grasland en het effect op de luchtkwaliteit.	De botanische samenstelling van braak met meerdere soorten is van cruciaal belang, aangezien peulvruchten, diepgewortelde vaste planten (bijv. <i>Onobrychis viciifolia</i> en <i>Cichorium intybus</i>) en kruiden (bijv. <i>Plantago lanceolata</i>) de koolstof in de bodem kunnen verhogen, de bodemstructuur verbeteren, de behoefte aan stikstofmeststoffen verminderen en het herstel van de bodemfauna (bijv. regenwormen) in aangetaste akkerbouwgronden bevorderen, terwijl ze ook extra milieuvordelen opleveren (bijv. biologische nitrificatieremming en reductie van methaan via de darmen) (Cooledge <i>et al.</i> , 2022).	De botanische samenstelling van braak met meerdere soorten is van cruciaal belang, aangezien peulvruchten, diepgewortelde vaste planten (bijv. <i>Onobrychis viciifolia</i> en <i>Cichorium intybus</i>) en kruiden (bijv. <i>Plantago lanceolata</i>) de koolstof in de bodem kunnen verhogen, de bodemstructuur verbeteren , de behoefte aan stikstofmeststoffen verminderen en het herstel van de bodemfauna (bijv. regenwormen) in aangetaste akkerbouwgronden bevorderen, terwijl ze ook extra milieuvordelen opleveren (bijv. biologische nitrificatieremming en reductie van methaan via de darmen) (Cooledge <i>et al.</i> , 2022).	Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie	De botanische samenstelling van braak met meerdere soorten is van cruciaal belang, aangezien peulvruchten, diepgewortelde vaste planten (bijv. <i>Onobrychis viciifolia</i> en <i>Cichorium intybus</i>) en kruiden (bijv. <i>Plantago lanceolata</i>) de koolstof in de bodem kunnen verhogen, de bodemstructuur verbeteren, de behoefte aan stikstofmeststoffen verminderen en het herstel van de bodemfauna (bijv. regenwormen) in aangetaste akkerbouwgronden bevorderen, terwijl ze ook extra milieuvordelen opleveren (bijv. biologische nitrificatieremming en reductie van methaan via de darmen) (Cooledge <i>et al.</i> , 2022).	Naast voedsel, vezels, medicijnen, energie en andere producten met directe economische waarde, leveren graslanden samen met hun biodiversiteit ook belangrijke niet-fysische diensten aan de mens, zoals klimaatregeling, erosiebeheersing, recreatie en erfenis van de nationale cultuur (Zhao <i>et al.</i> , 2020). Landschapswaardering is vooral gerelateerd aan bovengrondse biodiversiteit (Buijs <i>et al.</i> , 2019). De aanwezigheid van (bloeiende) kruiden verhoogt de landschappelijke waardering van graslanden (Schils <i>et</i>	In de verschillende onderdelen van de studie is de meest gegeven score een neutrale score, dus een verwachting dat een transitie naar kringlooplandbouw, een specifieke verandering in bedrijfspraktijk of een bredere ontwikkeling minder dan 10% effect heeft op één van de milieu- en volksgezondheidsthema's (Post <i>et al.</i> , 2021) Dat kruidenrijk grasland ook functioneel is voor de bedrijfsvoering wordt weliswaar nog weinig meegewogen, maar het draagt bij aan diegezonderheid , droogtetolerantie en stabiliteit van de productie (Erisman <i>et al.</i> , 2017)	

								<p><i>al., 2022). (Van den Hout et al., 2023)</i></p> <p>Ervaringen elders met het inzaaien van kruidenrijke mengsels zijn ook positief. De verschillen in soortenrijkdom en belevingswaarde tussen perceelsranden met spontane vegetatieontwikkeling en perceelsranden met ingezaaide kruiden zijn na jaren nog steeds groot (Van Well <i>et al.</i>, 2003)</p>	
Gras-maïs wisselteelt	<p>In het algemeen laten de metingen in de geselecteerde percelen zien dat een hoog aandeel grasland in een wisselteelt voor een toename in bodemkoolstof zorgt (Schepens <i>et al.</i>, 2022)</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en luchtkwaliteit</p>	<p>Er zitten wel wat haken en ogen aan de vruchtwisseling van gras en maïs. De eerste is dat snijmaïs <i>niet alle</i> vrijkomende stikstof kan opnemen die vrijkomt uit de gescheurde gras(klaver) zode. Dit heeft gedeeltelijk met de hoeveelheid N te maken, maar ook met het gegeven dat de bodemmineralisatie het hoogst is op het moment dat maïs nauwelijks of geen stikstof meer opneemt (nazomer / najaar). Hierdoor treden vaak aanzienlijke N-verliezen op. In het tweede en derde jaar maïs na het scheuren van het 3-jarige grasland, is dit veel minder het geval, omdat de zode van 3-jarig grasland dan weinig stikstof meer nalevert (De wolf <i>et al.</i>, 2017).</p>	<p>Positive effect of corn-grass crop rotation on bulk density (Schepens <i>et al.</i>, 2022)</p> <p>Jarenlange teelt van snijmaïs op hetzelfde perceel is problematisch. De opbrengst kan teruglopen tot wel 20%, mede omdat de bodemkwaliteit daalt. Introductie van een vruchtwisseling met gras kan deze problemen grotendeels ongedaan maken (De Wolf <i>et al.</i>, 2017)</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie</p>	<p>Het is belangrijk om bij het beoordelen van de duurzaamheid en biodiversiteit het complete systeem van gras en maïs in ogenschouw te nemen en rekening te houden met suboptimaal beheer in de praktijk (De Wolf <i>et al.</i>, 2017).</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en menselijke gezondheid</p>	

<p>Agroforestry</p>	<p>Agroforestry kan bijdragen aan de koolstofvastlegging in de bodem (Broom, 2017)</p> <p>In een silvopastoraal systeem met populieren met een dichtheid van 111 bomen/21 ha kan de jaarlijkse netto koolstofvastlegging oplopen tot 2,7 ton/21 ha/21 jaar. In een systeem met monocultuur is de jaarlijkse koolstofvastlegging minder dan 1,0 ton/21 ha/21 jaar (Broom <i>et al.</i>, 2013).</p>	<p>De voordelen van agroforestry omvatten een besparing in de veehouderij door het verminderen van de gevoels temperatuur, het beschermen van gewassen, het bieden van habitat aan wilde dieren, het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer en het produceren van zuurstof, het verminderen van de windsnelheid en daardoor het beperken van winderosie en deeltjes in de lucht, het verminderen van geluidsoverlast en het verminderen van stank uit de veehouderij (Yadav <i>et al.</i>, 2019).</p>	<p>Er was minder afspoeling en vervuiling van percelen, vanwege watervasthoudende eigenschappen van de bodem in een agroforestry systeem (Broom, 2017).</p> <p>Bufferstroken worden meestal aangelegd om de waterkwaliteit te beschermen. Dit kan direct worden gekoppeld aan agroforestry systemen (Mosquera-Losada <i>et al.</i>, 2018).</p>	<p>Silvopastorale systemen hebben over het algemeen een betere bodemstructuur, betere waterretentie en minder bodemerosie (Broom, 2017)</p> <p>Ook zorgen agroforestry systemen tot een geleidelijke verlenging van het groeiseizoen tijdens de zomerperiode, omdat schaduw doordat bomen in toenemende mate wordt beschermd tegen vochtverlies in de bodem (Mosquera-Losada <i>et al.</i>, 2006).</p>	<p>Agroforestry kan zorgen voor verkoeling. Deze koelingsvoordelen nemen lineair toe met -0,32 tot -2,4 graden Celcius/10 ton houtige koolstof/ha (Zeppetello <i>et al.</i>, 2022))</p>	<p>Agroforestry systemen hebben een biodiversiteit die vele male groter is dan de biodiversiteit in monocultuur. Het aantal vogelsoorten in agroforestry systemen nam toe met 200%. Het aantal mieren nam toe met 30% en er zijn ook meer vlinders aangetroffen (Broom, 2017).</p> <p>Silvopastorale systemen helpen het biodiversiteitsniveau te handhaven dat is gekoppeld aan begrazingssystemen met verschillende soorten dieren, waaronder wilde soorten, en ze profiteren van de structurele heterogeniteit die door de bomen wordt gecreëerd (Castro, 2009).</p>	<p>Agroforestry systemen kunnen de diversiteit verhogen en de esthetiek van het landschap verbeteren, wat aantrekkelijker is voor bezoekers in vergelijking met monocultuur. Agroforestry levert culturele diensten zoals erfgoedwaarde, recreatie en ecotoerisme, kennissystemen, spirituele interacties, esthetische waarden, en houdt soorten, habitats en landschappen in stand (Sollen-Norrlin <i>et al.</i>, 2020)</p>	<p>Agroforestry kan zorgen voor een groter werkplezier bij agrariërs (Broom, 2017, Broom <i>et al.</i>, 2013)</p>
<p>Niet-kerende grondbewerking in maïs</p>	<p>Het vernietigen van een oude zode zorgt voor mineralisatie van deze organische stof, wat kan leiden tot forse verliezen van koolstof (C) en grote hoeveelheden vrijkomende stikstof (N). Hoe ouder het grasland, hoe meer C en N er vrijkomt (De Wolf <i>et al.</i>, 2017).</p> <p>With deep ploughing reducing soil carbon by 6% when compared to minimum tillage. (Savage <i>et al.</i>, 2021)</p> <p>No-till treatments had higher OM content (Lal, 1974)</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en luchtkwaliteit</p>	<p>Langdurige niet-kerende grondbewerking verbeterde de stabiliteit van de bodem tegen vernatting (Tan <i>et al.</i>, 2002).</p>	<p>Niet-kerende grondbewerking verhoogt de overlevingskans van enkele ziekten en plagen (de Wolf <i>et al.</i>, 2017)</p> <p>NKG kan positieve effecten hebben op de bodemkwaliteit, stikstof efficiëntie en het beperken van verliezen (De Wolf <i>et al.</i>, 2017).</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en klimaatregulatie</p>	<p>Er is een positief effect gevonden van niet-kerende grondbewerking op bodembiota (DuPont <i>et al.</i>, 2010)</p> <p>Niet-kerende grondbewerking zorgde voor een toename van de biomassa van wormen (Tan <i>et al.</i>, 2002)</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en recreatie</p>	<p>Geen directe link gevonden tussen de maatregel en menselijke gezondheid</p>



Bijlage 2: Bouwplannen en maatregelpakketten uit Verstand *et al.* (2022) en lijst met afkortingen

NZK	Bouwplan aandeel (%)			Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)			
	Referentie	Variant 1	Variant 2	Referentie	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	Pakket - 2 Variant 1	Pakket 2 - Variant 2
Gewassen							
PA	33,3%	25%	20%	3360	3360	2520	2016
WT + GB	33,3%	50%	20%	669	669	1004	402
SB	33,3%	25%	20%	1226	1226	919	735
Grasklaver			40%		0	0	392
Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)				5.255	5.255	4.443	3.545

CZKF	Bouwplan aandeel (%)			Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)			
	Referentie	Variant 1	Variant 2	Referentie	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	Pakket - 2 Variant 1	Pakket 2 - Variant 2
Gewassen							
CA	25%	20%	17%	1850	1850	1480	1233
SB	25%	20%	17%	1081	1081	864	720
UI	25%	20%	17%	1488	1488	1190	992
WT+GB	25%	40%	50%	536	536	857	1072
Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)				4.954	4.954	4.392	4.017

CZKN	Bouwplan aandeel (%)			Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)			
	Referentie	Variant 1	Variant 2	Referentie	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	Pakket - 2 Variant 1	Pakket 2 - Variant 2
Gewassen							
PA	33%	17%	17%	3724	3724	1862	1862
SB	17%	17%	17%	720	720	720	720
UI	17%	17%	17%	992	992	992	992
WT+GB	17%	33%	50%	357	357	714	1072
TULP V	17%	17%	0%	509	509	509	0
Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)				6.302	6.302	4.797	4.646

NON	Bouwplan aandeel (%)			Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)			
	Referentie	Variant 1	Variant 2	Referentie	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	Pakket - 2 Variant 1	Pakket 2 - Variant 2
Gewassen							
ZA	50%	25%	33%	1617	1617	809	1078
SB	17%	25%	17%	573	573	859	573
ZG+GB	33%	50%	50%	341	341	512	512
Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)				2.531	2.531	2.179	2.163

ZOZ	Bouwplan aandeel (%)			Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)			
	Referentie	Variant 1	Variant 2	Referentie	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	Pakket - 2 Variant 1	Pakket 2 - Variant 2
Gewassen							
CA	25%	25%	25%	1825	1825	1825	1825
SN + VG	25%	13%	0%	485	485	242	0
Wasp	13%	13%	13%	1450	1450	1450	1450
CE + SSB	13%	13%	0%	550	550	550	0
SB	13%	13%	0%	452	452	452	0
Lelie-v	13%	0	13%	250	250	0	250
GR	0%	25%	0%	0	0	350	0
ZG+GB	0%	0%	50%	0	0	0	512
Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)				5.012	5.012	4.870	4.038

ZWZ	Bouwplan aandeel (%)			Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)			
	Referentie	Variant 1	Variant 2	Referentie	Pakket 1 - Referentie + GB + gewasresten	Pakket - 2 Variant 1	Pakket 2 - Variant 2
Gewassen							
CA	20%	17%	14%	1375	1375	1146	982
WT+GB	40%	50%	29%	857	857	1072	612
SB	20%	17%	14%	766	766	639	547
UI	20%	17%	14%	1010	1010	842	721
Graszaad	0%	0%	29%	0	0	0	550
Gem. bruto-geldopbrengst (€/ha)				4.009	4.009	3.698	3.413

Afkorting	Regio
NZK	Noordelijk Zeekleigebied
CZKF	Centraal Zeekleigebied, Flevopolder
CZKN	Centraal Zeekleigebied, Noordoostpolder
NON	Noordoost Nederland, zand- en dalgrond
ZOZ	Zuidoostelijk Zandgebied
ZWZ	Zuidwesterlijk Kleigebied
Afkorting	Gewas
CA	Consumptieaardappel
CE+SBB	Conservenerwt met volgteelt stamslaboon
GR	Grasland verhuur
LE-V	Lelieland verhuur
PA	Pootaardappel
SB	Suikerbiet
SN+VG	Snijbiet + vanggewas
TU-V	Tulpenland verhuur
Wasp	Waspeen
WT	Wintertarwe
ZA	Zetmeelaardappel
ZG	Zomergerst

