

# CO<sub>2</sub>Bodem

## Tussenresultaten Slim Landgebruik

### Leeswijzer

Dit overzicht brengt de resultaten uit het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik samen. Het doel van Slim Landgebruik is het leveren van kennis die nodig is om te komen tot een jaarlijkse vastlegging van 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten vanaf 2030 voor minerale landbouwbodems in Nederland, waarbij tevens een bijdrage wordt geleverd aan het doel om vanaf 2030 alle landbouwbodems in Nederland duurzaam te beheren. In Slim Landgebruik wordt onderzoek gedaan naar het effect van maatregelen op koolstofvastlegging, lachgasemissie, bodemfuncties en kosten en baten. In deze samenvatting lees je wat het effect is van de maatregelen op deze indicatoren (Tabel 1 & 2). De maatregelen worden kort toegelicht en de resultaten geven een gemiddeld beeld van het verwachte effect in Nederland. De resultaten komen voort uit modelstudies, lange termijn experimenten (LTE's), economische analyses en expertkennis. Dit overzicht kan worden gebruikt door beleidsmakers, maar is ook geschikt voor mensen die graag meer inzicht willen verkrijgen in het effect van klimaatmaatregelen.

### Maatregelen in CO<sub>2</sub>Bodem

Binnen Slim Landgebruik wordt onderzoek gedaan naar een brede set van klimaatmaatregelen. Hieronder volgt een korte toelichting per maatregel:

- Meer blijvend grasland: het omzetten van tijdelijk grasland en snijmais naar permanent grasland
- Leeftijd grasland verhogen: het voorkomen dat grasland wordt gescheurd, zodat de leeftijd van grasland toeneemt
- 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% mais
- Aanpassen gewasrotatie: het verhogen van het aandeel rustgewassen in de vorm van graan naar maximaal 50%
- Groenbemesters/vanggewassen: inzet van groenbemesters/vanggewassen na de teelt van het hoofdgewas, welke vervolgens worden ingewerkt in de bodem
- Extra compost: het vervangen van kunstmest of drijfmest door extra compost
- Extra vaste mest: het vervangen van kunstmest en drijfmest door extra vaste mest verkregen uit mestscheiding of -verwerking
- Gewasresten achterlaten: gewasresten van graangewassen (stro) achterlaten op het land na de oogst
- Agroforestry: het telen van meerjarige houtige gewassen (vaak bomen) in een weide of als strook tussen akkergewassen
- Vogelakkers: aanleggen van een meerjarig groenvoedergewas afgewisseld met stroken natuurbraak, waarbij de groenvoedergewassen 3 à 4 keer per seizoen worden gemaaid
- Akkerranden: het inzetten van meerjarige onbemeste akkerranden in de vorm van kruid- en grasachtigen langs sloten en/of wegen
- Niet-kerende grondbewerking: het afzien van intensief keren of mengen van de bodem, waarbij alleen de bovenlaag van de bodem wordt losgemaakt met woelers, tanden of schijven en gewasresten aan het oppervlak blijven
- Kruidenrijk grasland: het inzetten van graskruidenmengsels in het grasland in plaats van enkel engels raigras

Deze definities zijn een algemene leidraad voor de invulling van de maatregelen. De exacte invulling van een maatregel kan afhankelijk zijn van de context: de modelberekeningen op landelijk niveau vereisen soms een andere insteek dan de LTE's op perceelsniveau. In de achterliggende rapporten kan meer informatie gevonden worden over hoe maatregelen zijn ingevuld binnen een bepaalde context.

Tabel 1. CO<sub>2</sub>Bodem overzichtstabel van effecten van maatregelen op koolstofvastlegging, N<sub>2</sub>O emissies en bodemfuncties op zandgronden.

Effect op Nederlandse zandgronden							
Maatregelen	Max. CO <sub>2</sub> -vastlegging <sup>1</sup>	Zekerheid CO <sub>2</sub> -vastlegging <sup>2</sup>	Geschatte N <sub>2</sub> O emissie <sup>3</sup>	Bodemfuncties <sup>4</sup>			
	kton CO <sub>2</sub> /jaar	●●/●/○	kton CO <sub>2</sub> -eq/jaar	Bodemvruchtbaarheid	Bodem-biodiversiteit	Klimaat-adaptatie	Waterkwaliteit
Meer blijvend grasland	211		-31 tot 125	0/+	+	+	-/+
Leeftijd grasland verhogen	n.b.	○	n.b.	0/+	+	+	-/+
Wisselteelt mais-grasklaver	96	●	-17 tot 67	-/+	0/+	0/+	+
Aanpassen gewasrotatie	59	○	-25 tot 25	+	+	+	+
Groenbemesters/vanggewassen	39	○	10 tot 19	0/+	0	0	-/+
Extra vaste mest	35		-5 tot 5	+	+	+	+
Extra compost	24	○	1 tot 2	0/+	0/+	0	+
Gewasresten achterlaten	19		1 tot 7	+	+	0/+	-/+
Agroforestry	46		-3 tot 8	+	+	0/+	+
Vogelakkers	4		0	+	+	0	+
Akkerranden	3	○	-2 tot -1	-/+	0	0/-	+
Niet-kerende grondbewerking	0	○	12 tot 40	0/+	0	-/+	-/+
Kruidenrijk grasland	n.b.	○	-27 tot -5	0	0	0/-	0/+

Tabel 2. CO<sub>2</sub>Bodem overzichtstabel van effecten van maatregelen op koolstofvastlegging, N<sub>2</sub>O emissies en bodemfuncties op kleigronden.

Effect op Nederlandse kleigronden							
Maatregelen	Max. CO <sub>2</sub> -vastlegging <sup>1</sup>	Zekerheid CO <sub>2</sub> -vastlegging <sup>2</sup>	Geschatte N <sub>2</sub> O emissie <sup>3</sup>	Bodemfuncties <sup>4</sup>			
	kton CO <sub>2</sub> /jaar	●●/●/○	kton CO <sub>2</sub> -eq/jaar	Bodemvruchtbaarheid	Bodem-biodiversiteit	Klimaat-adaptatie	Waterkwaliteit
Meer blijvend grasland	90		-19 tot 75	0/+	+	+	-/+
Leeftijd grasland verhogen	n.b.	●●	n.b.	0/+	+	+	-/+
Wisselteelt mais-grasklaver	37		-8 tot 33	+	+	0/+	+
Aanpassen gewasrotatie	61	○	-25 tot 25	+	+	+	+
Groenbemesters/vanggewassen	133		40 tot 81	+	+	0	-/+
Extra vaste mest	42	○	-5 tot 5	0	0	0/+	+
Extra compost	35	●●	1 tot 3	0/+	+	0	+
Gewasresten achterlaten	79		1 tot 15	+	+	0/+	-/+
Agroforestry	46		-2 tot 7	+	+	0	+
Vogelakkers	5		-1 tot 1	+	+	0	+
Akkerranden	6	●	-1 tot 3	+	+	0	+
Niet-kerende grondbewerking	0	○● <sup>5</sup>	18 tot 60	0	0	0/-	-/+
Kruidenrijk grasland	n.b.	○	-23 tot -5	0	0	0	0/+

<sup>1</sup> Maximale CO<sub>2</sub>-vastlegging per jaar op basis van modelberekeningen en literatuuronderzoek (Lesschen et al., 2021; Slier et al., 2022). Toelichting op pagina 3.

<sup>2</sup> Op basis van metingen in LTE's in de bodemlaag 0-30 cm (Schepens et al., 2022b). Daarbij zijn drie verschillende groepen onderscheiden.

- Significant positief effect gemeten in meerdere proeven (p<0,05)
- Significant positief effect gemeten in 1 proef (p<0,05)
- Geen significant positief effect gemeten

Wanneer er geen symbool is weergegeven is de maatregel niet onderzocht in een LTE. Toelichting op pagina 4.

<sup>3</sup> Geschatte N<sub>2</sub>O emissie in CO<sub>2</sub>-equivalenten op basis van Slier et al., (2022). Een negatief getal betekend een afname in N<sub>2</sub>O emissie ten opzichte van de referentie, een positief getal betekend een toename in N<sub>2</sub>O emissie door toepassing van de maatregel. Toelichting op pagina 5.

<sup>4</sup> Het effect op een bodemfunctie op basis van gemeten BLN-indicatoren (zwart) in de LTE's (Hoogmoed et al., 2021b; Schepens et al., 2022a) of de PPS Beter Bodembeheer (Selin Norén et al., 2021 & 2022), of van verwachte effecten op basis van expert kennis (grijs) (van der Kolk et al., 2021). Toelichting op pagina 5.

- +
  - 
  - 0
  - +/-
  - 0/+ of 0/-
- Positieve effecten gemeten of verwacht  
Negatieve effecten gemeten of verwacht  
Geen effecten gemeten of verwacht  
Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht  
Licht positieve/negatieve effecten gemeten of verwacht

<sup>5</sup> Wel een significant effect in de 0- 30 laag in maisteelt, niet in de akkerbouw. Resultaten op basis van metingen tonen in de 30-60 laag een lichte afname van bodemkoolstof (Schepens et al., 2022b).

## CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem

In het programma Slim Landgebruik wordt de effectiviteit van maatregelen voor CO<sub>2</sub>-vastlegging bepaald aan de hand van lange termijn experimenten (LTE's) en modelberekeningen. De LTE's geven inzicht in de effectiviteit van een maatregel onder bepaalde omstandigheden, maar hoeven daarmee niet representatief te zijn voor heel Nederland. Om de potentiële CO<sub>2</sub>-vastlegging voor heel Nederland te bepalen wordt het model RothC gebruikt. Het RothC-model is een dynamisch model dat de koolstofdynamiek in minerale bodems kan simuleren (Coleman & Jenkinson, 1996). Het model houdt rekening met de effecten van bodemtype, temperatuur, vochtgehalte en bodembedekking op de afbraak van organische koolstof. In het model wordt de koolstof verdeeld over vijf koolstof compartimenten/pools die elk een specifieke afbraakcoëfficiënt hebben. Maandelijks tijdstappen worden gebruikt om veranderingen in de organische koolstofvoorraad te berekenen op een tijdschaal van één jaar tot eeuwen. In de studie van Lesschen et al. (2021) is de berekening met RothC uitgevoerd op regionale schaal op basis van input data over bodem, gewasarealen, gewasopbrengst en bemesting voor het jaar 2017 op 4-cijferig postcodeniveau. Hierbij is de jaarlijkse koolstofbalans berekend met en zonder maatregel, en het verschil is omgerekend naar CO<sub>2</sub>-vastlegging. In Slier et al. (2022) zijn de berekeningen van Lesschen et al. (2021) geüpdatet met de meest recente data uit 2021.

De totale potentie voor CO<sub>2</sub>-vastlegging in Nederland wordt geschat op 0,9 Mton per jaar, waarbij maatregelen die leiden tot meer blijvend grasland het meest bijdragen, maar ook groenbemesters, het aanpassen van de gewasrotatie en het achterlaten van gewasresten zijn belangrijke maatregelen volgens de modelresultaten (Tabel 3). De potentiële CO<sub>2</sub>-vastlegging is berekend als een gemiddelde voor Nederland. Lokaal zal de potentie hoger of lager kunnen zijn door verschillen in de bodem (o.a. organische stofgehalte) en het huidige bodembeheer. De potentiële CO<sub>2</sub>-vastlegging wordt berekend door de CO<sub>2</sub>-vastlegging (kg CO<sub>2</sub>/ha/jaar) te vermenigvuldigen met de implementatie (hectare). De implementatie van maatregelen geeft weer op hoeveel hectare een maatregel mogelijk toegepast kan worden, waarbij reeds is gecorrigeerd voor het areaal waarop een maatregel op dit moment al wordt toegepast. De implementatie geeft daarmee aan op hoeveel hectare de maatregel maximaal kan worden toegepast en geeft géén inzicht in het aantal hectares waarop een maatregel ook daadwerkelijk wordt toegepast (Lesschen et al., in 2021; Slier et al., 2022).

Tabel 3. Potentiële CO<sub>2</sub>-vastlegging (totaal en per hectare) en additioneel areaal waarop de maatregel kan worden toegepast, uitgesplitst naar zand- en kleigrond. Uit Slier et al. (2022). Het betreft hier alleen de CO<sub>2</sub>-vastlegging, er is niet gecorrigeerd voor N<sub>2</sub>O emissies.

Maatregelen	Totale vastlegging		Areaal		Vastlegging per hectare	
	kton CO <sub>2</sub> /jaar		1000 ha		kg CO <sub>2</sub> /ha/jaar	
	Zand	Klei	Zand	Klei	Zand	Klei
Meer blijvend grasland	211	90	80	49	2617	1847
Groenbemesters/ vanggewassen	39	133	17	72	2304	1860
Aanpassen gewasrotatie	59	61	31	31	1905	1994
Wisselteelt mais-grasklaver	96	37	45	22	2120	1676
Extra vaste mest	35	42	661	742	54	56
Achterlaten gewasresten	19	79	24	48	765	1650
Extra compost	24	35	287	381	82	91
Vogelakkers	4	5	2	3	1864	1430
Akkerranden	3	6	6	8	515	778

Enkele maatregelen uit CO<sub>2</sub>Bodem ontbreken in de modelberekeningen van Lesschen et al. (2021). Dit geldt voor de maatregelen Niet-kerende grondbewerking, Kruidenrijk grasland, Leeftijd grasland verhogen en Agroforestry. Uit onderzoek in lange termijn experimenten en uit literatuuronderzoek blijkt dat de maatregel Niet-kerende grondbewerking in Nederland geen eenduidig effect heeft op koolstofvastlegging (Schepens et al., 2022b; Lesschen et al., 2021). Om deze reden is de CO<sub>2</sub>-vastlegging van deze maatregel in CO<sub>2</sub>Bodem dan ook aangegeven met 0 kton CO<sub>2</sub>/jaar.

Voor de maatregel Kruidenrijk grasland ontbreekt het op dit moment nog aan wetenschappelijk verkregen data om uitspraken te kunnen doen over mogelijke koolstofvastlegging. In de LTE's is in 2018 een nulmeting uitgevoerd, welke in 2023 herhaald zal worden om de mogelijke koolstofvastlegging te kunnen bepalen.

Voor de maatregel Leeftijd grasland verhogen is het op dit moment nog niet mogelijk deze door te rekenen met het RothC model. Op basis van lange termijn experimenten lijkt de potentie van deze maatregel echter hoog, met een gemiddelde significante vastlegging van 4,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar op klei en 6,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar op zand (trend zichtbaar, maar niet significant; Schepens et al., 2022b). De totale potentie van deze maatregel voor Nederland is afhankelijk van de implementatie. Een inschatting hiervan ontbreekt nog.

Voor de maatregel Agroforestry heeft Lesschen et al. (2021) een literatuurstudie uitgevoerd. De resultaten laten zien dat wanneer er aan de doelstelling van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit wordt voldaan en er 25.000 hectare agroforestry wordt gerealiseerd in Nederland, dit een totale jaarlijkse vastlegging kan opleveren van 0,1 Mton CO<sub>2</sub>. Deze vastlegging wordt gerealiseerd in zowel bodemkoolstof als in biomassa.

## Zekerheid van de CO<sub>2</sub>-vastlegging

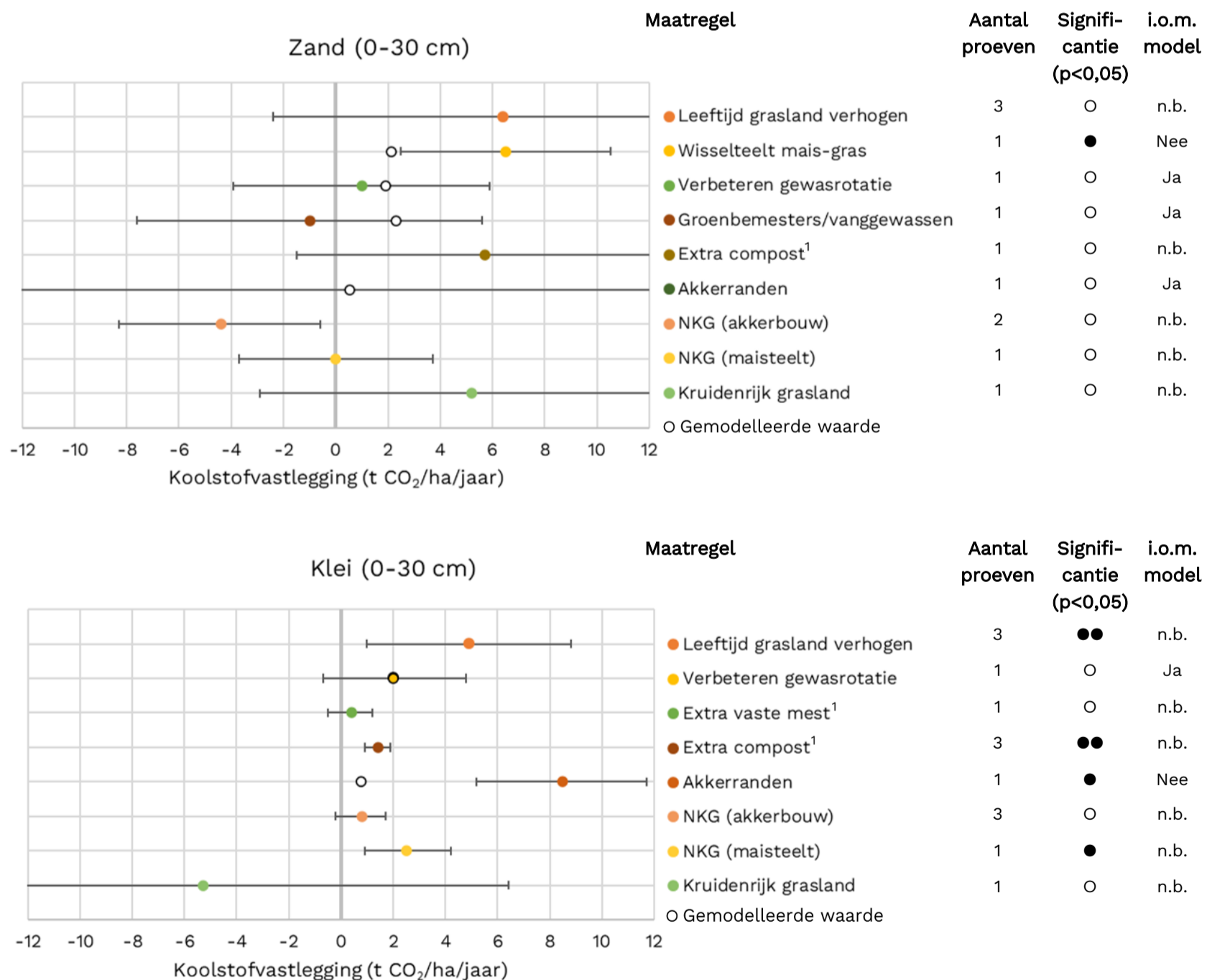
Sinds 2018 zijn data verzameld over de potentiële koolstofvastlegging door maatregelen aan de hand van metingen aan bodemkoolstof in LTE's. Hierbij is gemeten in behandelingen mét en zonder toepassing van de maatregel. Er zijn metingen uitgevoerd voor de maatregelen Extra vaste mest en compost, Groenbemesters/Vanggewassen, Leeftijd grasland verhogen, Wisselteelt mais-grasklaver (60-20-20), Aanpassen gewasrotatie, NKG en Akkerranden. Veel van deze maatregelen zijn in meerdere jaren en/of proeflocaties gemeten, waarbij Schepens et al. (2022b) een meerjarige analyse heeft uitgevoerd naar de gemiddelde effecten van maatregelen op koolstofvastlegging op basis van de verzamelde data.

Met deze meetdata kunnen we iets zeggen over de zekerheid rondom de effectiviteit van maatregelen, en kunnen we toetsen of de gemodelleerde waarden op landelijke schaal aannemelijk zijn. De symbolen in Tabel 1 en 2 verwijzen naar een wel of niet significante CO<sub>2</sub>-vastlegging op basis van LTE's, en het aantal proeflocaties en meetjaren waarin dit is waargenomen.

- Significant positief effect gemeten in meerdere proeven ●●
- Significant positief effect gemeten in 1 proef ●
- Geen significant positief effect gemeten ○

Uit de analyse van Schepens et al. (2022b) blijkt dat de zekerheid van koolstofvastlegging het grootst is op kleibodems, en dat met name voor Leeftijd grasland verhogen en Extra compost significant positieve effecten zijn gemeten in meerdere proeven. Op zandbodems is de spreiding van de CO<sub>2</sub>-vastlegging hoog voor alle gemeten maatregelen, waardoor de gemiddelde vastlegging op basis van de driejarige analyse weinig significant positieve resultaten toont. Het is vooralsnog onduidelijk of dit aan de bodemprocessen in zandgronden kan worden toegeschreven of inherent is aan de LTE proeven op zand.

Daarnaast is de gemeten vastlegging vergeleken met de gemodelleerde vastlegging (Figuur 1). Hieruit is af te leiden dat voor de resultaten op zand het modelresultaat veelal binnen de betrouwbaarheidsinterval valt. Voor de resultaten op klei zijn er slechts twee maatregelen waarin de resultaten vergelijkbaar zijn. Om beter onderbouwde uitspraken te doen over de overeenkomsten tussen modellen en LTE's, en dus over de zekerheid van de effecten van maatregelen, zijn aanvullende modelberekeningen van proeven gewenst. Dit zal in 2022 worden uitgevoerd, waarna op basis van de resultaten modelberekeningen mogelijk worden geoptimaliseerd.



Figuur 1. Koolstofvastlegging door maatregelen, zoals gemeten in de LTE's (gekleurde bolletjes). De horizontale lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Op basis van Schepens et al. (2022b). De gemodelleerde waarden zijn weergegeven met open bolletjes. Wanneer de modeluitkomst binnen de betrouwbaarheidsinterval van de gemeten waardes valt, is dit aangegeven met een 'Ja'. Wanneer het buiten de betrouwbaarheidsinterval valt, is dit aangegeven met een 'Nee', Wanneer modeluitkomsten ontbreken is dit aangegeven met 'n.b.'.

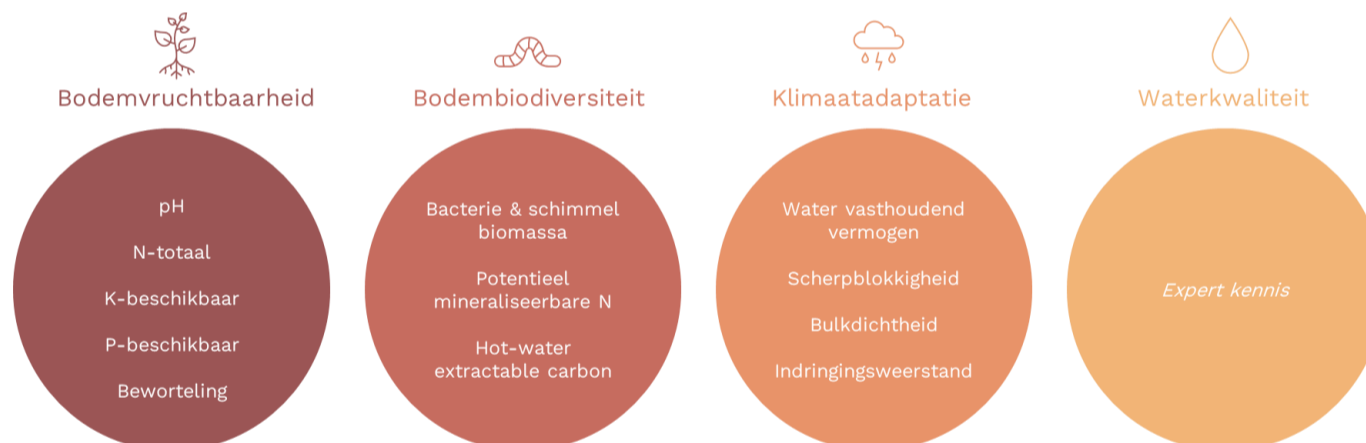
<sup>1</sup>Hoewel de maatregelen Extra vaste mest en Extra compost wel gemodelleerd zijn is de benadering tussen LTE's en de modelberekening dusdanig anders dat er in deze figuur geen vergelijking is gemaakt tussen de gemodelleerde en de gemeten vastlegging.

## Effect op bodemfuncties

Het doel van het Nationaal Programma Landbouwbodems is alle landbouwbodems duurzaam beheerd in 2030. Landbouwbodems met een goede kwaliteit dragen naast koolstofvastlegging bij aan de 1) bodemvruchtbaarheid, 2) biodiversiteit, 3) klimaatadaptatie en 4) waterkwaliteit. Om dit effect te toetsen is met behulp van BLN-indicatoren (de Haan et al., 2021) bepaald wat het effect van maatregelen op deze vier bodemfuncties is. Voor het koppelen van de BLN-indicatoren aan de bodemfuncties is aangesloten bij het Landmark-project, waar per bodemfunctie is bepaald welke indicatoren bijdragen aan de bodemfunctie (Henriksen et al., 2018, Rutgers et al., 2018; Schröder et al., 2018; Wall et al., 2018) (Figuur 2). De BLN-indicatoren zijn gemeten in de lange termijn experimenten binnen Slim Landgebruik (Hoogmoed et al., 2021b, Schepens et al., 2022a) en proeven uit de PPS Beter Bodembeheer (Selin Norén et al., 2021; Selin Norén et al., 2022). Voorzichtigheid bij de implementatie van het effect van maatregelen op de bodemfuncties is geboden. De BLN-indicatorset is niet in de eerste plaats ontwikkeld om uitspraken te doen over de verschillende bodemfuncties. Wanneer er voor maatregelen beperkte/geen meetdata beschikbaar was zijn de effecten op bodemfuncties met expert kennis beoordeeld (van der Kolk et al., 2021).

Een +, - en 0 geven respectievelijk een positief, negatief of neutraal effect van een maatregel op een bodemfunctie aan. Wanneer de indicatoren tegenstrijdig zijn, bijvoorbeeld bij verschillen tussen proeven of varianten van een maatregel, en het effect op een bodemfunctie dus niet eenduidig is, is dat aangegeven met +/- . Wanneer de effecten niet overwegend positief of negatief zijn (bijvoorbeeld overwegend neutraal met slechts één positieve of negatieve indicator) wordt het effect op een bodemfunctie aangeduid met 0/+ of 0/-. In Figuur 2 is aangegeven welke indicatoren zijn opgenomen voor de verschillende bodemfuncties. De BLN-indicatoren bieden onvoldoende onderbouwing voor het scoren van het effect op waterkwaliteit, waardoor dit effect is gebaseerd op expert kennis (van der Kolk et al., 2021). Voor de maatregel Meer blijvend grasland is aangenomen dat de effecten op de bodemfuncties vergelijkbaar zijn met de maatregelen Leeftijd grasland verhogen, aangezien deze maatregel niet is beoordeeld in van der Kolk et al. (2021) of is gemeten in LTE's. Voor de maatregelen Aanpassen gewasrotatie en Leeftijd grasland verhogen is er in de analyse van Hoogmoed et al. (2021) geen onderscheidt gemaakt tussen zand en klei, waardoor er in Tabel 1 en 2 is aangenomen dat het effect op zand en klei vergelijkbaar is.

Uit deze analyse blijkt dat de koolstofmaatregelen een overwegend positief of neutraal effect hebben op de verschillende bodemfuncties. De effecten zijn niet in alle gevallen éénduidig positief, wat voornamelijk komt door onderlinge verschillen tussen de indicatoren van één bodemfunctie. Er zijn geen (overwegend) negatieve effecten op een bodemfunctie gemeten of verwacht.



Figuur 2. Overzicht van bodemfuncties en bijbehorende indicatoren, gebaseerd op de beschrijving uit het NPL en de beschikbaarheid vanuit de LTE's.

## Lachgasemissie door klimaatmaatregelen

Om te bepalen of het doel van 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-eq vastlegging wordt behaald, dient de vastlegging van CO<sub>2</sub> te worden gecorrigeerd voor mogelijk toenemende lachgasemissies (N<sub>2</sub>O) als gevolg van een hoger aandeel organische stof in de bodem. Lachgasemissies kunnen toenemen wanneer het bodemkoolstofgehalte toeneemt, doordat de organische stof waarin de koolstof zit, een energiebron is voor denitrificerende bacteriën. Deze bacteriën zijn verantwoordelijk voor lachgasemissies. Lachgasemissies zijn van nature zeer variabel door o.a. weersinvloeden, wat het bepalen van de gemiddelde lachgasemissie lastig maakt. De eerste resultaten uit Slim Landgebruik tonen dat verschillende emissiefactoren voor lachgas achterhaald zijn. Bovendien heeft bemesting een grote invloed op de lachgasemissie en het is nog onduidelijk welke bemestingsnormen er straks zullen gelden bij de toepassing van verschillende maatregelen. Om deze reden is het enkel mogelijk een eerste grove inschatting te maken van het effect van maatregelen op de lachgasemissie. De inschatting door Slier et al. (2022) is gebaseerd op eerste resultaten uit de lachgasmetingen uit Slim Landgebruik, getallen uit de nationale emissieregistratie (NEMA), literatuuronderzoek en expert kennis.

Uit deze inschatting blijkt dat de (directe) lachgasemissies (in CO<sub>2</sub>-eq) door toepassing van een maatregel naar verwachting niet hoger zal zijn dan de gemodelleerde landelijke CO<sub>2</sub>-vastlegging. Er bestaat dus weliswaar een risico op afwenteling van lachgasemissie, maar deze is op de korte termijn niet hoger dan de koolstofvastlegging. Op de lange termijn (>50 jaar) bestaat er echter wel een risico dat de koolstofvastlegging afvlakt, terwijl de N<sub>2</sub>O emissie hoog blijft.

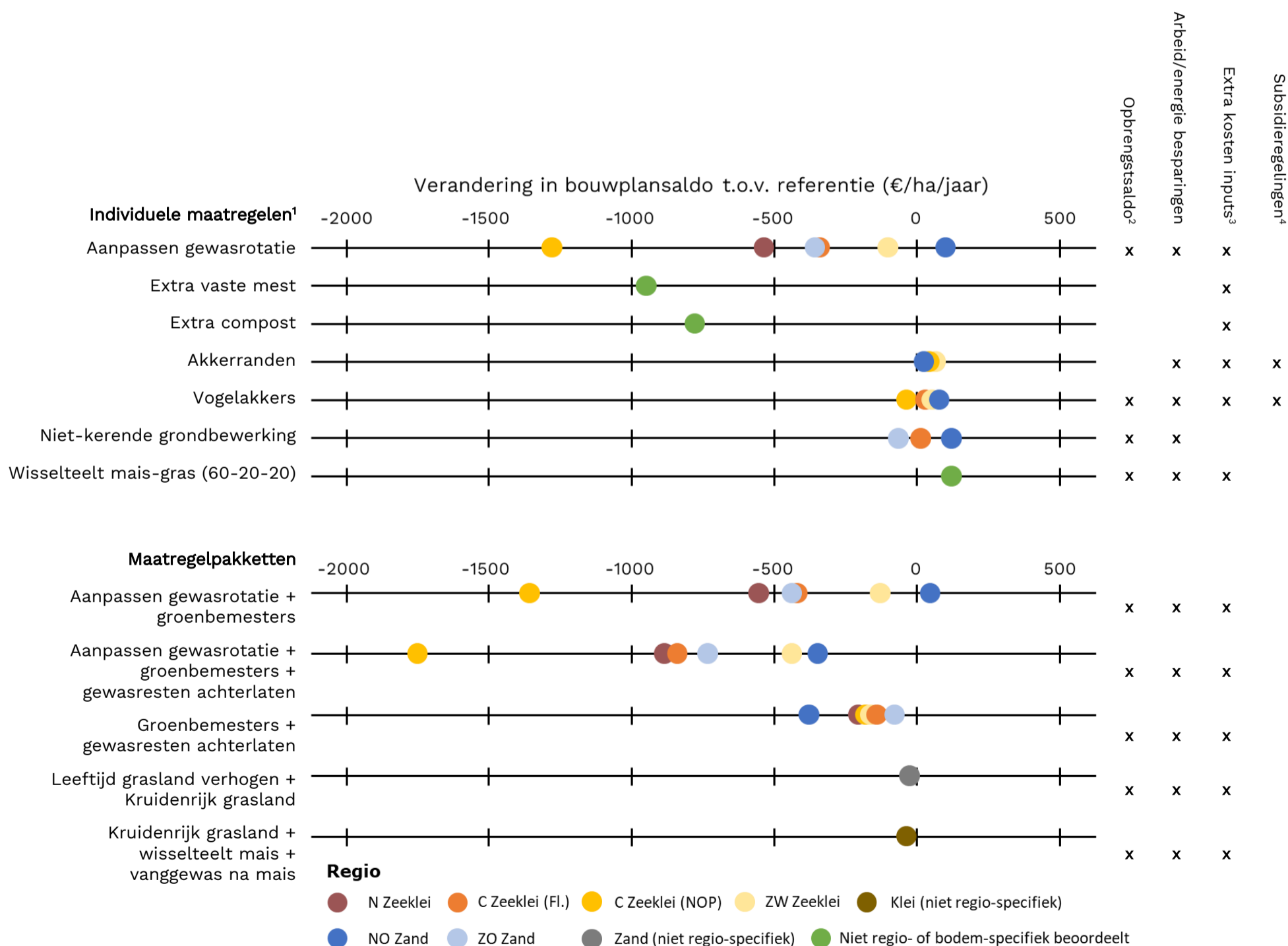
Slier & Velthof (2021) geven aan dat er uit onderzoek geen bewijs komt voor een significant verschil tussen lachgasemissie als gevolg van maatregelen op zand en klei. Om deze reden is de totale lachgasemissie uit Slier et al. (2022) naar rato van implementatieareaal verdeeld over zand en klei (Tabel 3).

## Kosten en baten van maatregelen

Om inzichtelijk te maken welke financiële gevolgen maatregelen meebrengen, zijn kosten en baten analyses uitgevoerd (Janmaat & Koopmans, 2020; Hoogmoed et al. 2021a; van Eekeren et al. 2018; Verstand et al., 2022). De kosten zijn gedefinieerd als de korte termijn extra kosten die een maatregel met zich meebrengt t.o.v. de referentie behandeling/bouwplan. De baten zijn gedefinieerd als de extra opbrengsten of kostenbesparingen op de korte termijn als gevolg van het toepassen van een maatregel. De baten zijn hierbij slechts uitgedrukt in financiële baten op de korte termijn, overige baten zoals een verbeterde bodemstructuur of toenemende gewasopbrengsten op de lange termijn zijn hierbij niet meegenomen. In Tabel 1 en 2 geeft het effect op de bodemfuncties echter wel een indicatie van mogelijke lange termijn baten van maatregelen.

De balans zoals gepresenteerd in dit overzicht (Figuur 3) is gebaseerd op onderzoek in de netwerken Veehouderij en Akkerbouw uit het programma Slim Landgebruik. De balans is gebaseerd op een regionale benadering, aangezien blijkt dat de kosten en baten tussen regio's zeer variabel kunnen zijn. Bij een positieve balans levert de maatregel per hectare land op de korte termijn jaarlijks meer inkomsten op dan bij de referentie behandeling. Bij een negatieve balans kost de maatregel op de korte termijn jaarlijks per hectare meer dan de referentie behandeling.

Uit deze economische analyses blijkt dat Niet-kerende grondbewerking, Wisselteelt mais-grasklaver, en combinaties van Leeftijd grasland verhogen + Kruidenrijk grasland en Kruidenrijk grasland + Wisselteelt mais + Vanggewas na mais een neutraal effect hebben op het bouwplansaldo in verschillende regio's. Akkerranden en Vogelakkers vallen ook neutraal uit, maar dat is voornamelijk dankzij de subsidieregelingen die hierbij voorhanden zijn. De kosten en baten balans van maatregelen die leiden tot een aanpassing in het bouwplan zijn sterk regio-afhankelijk. Het aanpassen van de gewasrotatie door de implementatie van meer rustgewassen veroorzaakt (ook in combinatie met andere maatregelen) een verlaagd bouwplansaldo, met name in regio's met een intensieve en hoog-salderende bouwplannen zoals de Centrale Zeeklei. Ook het toepassen van extra organische mest is een relatief dure maatregel, met name ten opzichte van de referentie waar varkensdrijfmest wordt toegepast, waar de akkerbouwer geld op toe krijgt.



Figuur 3. Overzicht van de verandering in bouwplansaldo door toepassing van verschillende maatregelen en maatregelpakketten, geaggregeerd per regio.

<sup>1</sup> Van de volgende individuele maatregelen zijn (nog) geen inschattingen van de verandering in bouwplansaldo gemaakt: Gewasresten achterlaten; Vanggewassen/Groenbemesters; Agroforestry; Leeftijd grasland verhogen; Kruidenrijk grasland.

<sup>2</sup> Gewasopbrengsten volgens KWIN-AGV 2018; Melkopbrengsten volgens rekenprogramma's DairyWise en BBRP.

<sup>3</sup> Extra kosten voor inputs als bemesting; zaaigoed; krachtvoer en gewasbeschermingsmiddelen.

<sup>4</sup> Op Vogelakkers en Akkerranden zijn ANLb subsidieregelingen van toepassing, in dit geval vanuit het Flevolands Agrarisch Collectief; Agrarische Natuur Drenthe en ANB Brabant.

## Kernboodschappen

CO<sub>2</sub>Bodem geeft een integraal overzicht van het effect van in Slim Landgebruik onderzochte klimaatmaatregelen. Aan de hand van deze samenvatting kunnen een aantal kernboodschappen worden geformuleerd:

- Op basis van modelberekeningen is aangetoond dat er jaarlijks potentieel 0,9 Mton CO<sub>2</sub> extra kan worden vastgelegd t.o.v. het referentiejaar 2017 (hierbij is niet gecorrigeerd voor lachgas). De implementatie van maatregelen bepaald hoeveel CO<sub>2</sub> er uiteindelijk daadwerkelijk wordt vastgelegd in minerale landbouwbodems.
- Op basis van modelberekeningen hebben de volgende maatregelen de hoogste totale potentie (kton CO<sub>2</sub>/jaar) op zandgronden: Meer blijvend grasland, Wisselteelt mais-grasklaver en Aanpassen gewasrotatie. Uit de LTE's blijkt dat Wisselteelt mais-grasklaver de meeste zekerheid geeft voor koolstofvastlegging. De potentie op kleigronden is het hoogst voor de maatregelen Groenbemesters/Vanggewassen, Meer blijvend grasland en Gewasresten achterlaten. De maatregel Leeftijd grasland verhogen kent een hoge zekerheid op kleigronden op basis van LTE's, maar de potentie van deze maatregel is modelmatig nog niet bepaald. Dit zal in 2022 worden uitgevoerd.
- De potentie van bovengenoemde maatregelen is hoog doordat de maatregelen per hectare relatief veel CO<sub>2</sub> vastleggen, maar ook doordat de mogelijkheden voor implementatie hoog zijn. Op zand is de vastlegging per hectare tevens hoog voor Groenbemesters/Vanggewassen, maar is het implementatieareaal beperkt. Op klei geldt dit voor de maatregel Aanpassen gewasrotatie.
- De zekerheid van het effect van maatregelen op basis van LTE's is aanzienlijk hoger voor maatregelen op klei dan op zand. Op zandgronden is de spreiding van het gemeten effect hoog, waardoor significante resultaten ontbreken en de mate van CO<sub>2</sub>-vastlegging onzeker is.
- Er is een eerste kwantitatieve inschatting gemaakt van de lachgasemissie als gevolg van de maatregelen. Het resultaat toont dat er enkel voor de maatregel Niet-kerende grondbewerking een risico bestaat voor een netto toename van broeikasgasemissies. Onzekerheden rondom bemesting en emissiefactoren vragen echter verder onderzoek.
- Het effect van de klimaatmaatregelen op de bodemfuncties is over het algemeen licht positief tot positief. Er is op basis van de kwalitatieve beoordeling geen reden om aan te nemen dat er door CO<sub>2</sub>-vastlegging negatieve effecten op de bodemfuncties ontstaan. Echter bieden de resultaten op basis van de BLN-indicatoren niet voor iedere bodemfunctie een volledig beeld van het effect van de maatregel op deze functie. Daarmee is er dus voorzichtigheid geboden met het implementeren van deze resultaten.
- De financiële kosten en baten balans voor het bedrijf als gevolg van het toepassen van maatregelen verschilt sterk per regio. Maatregelen waarin een aanpassing in het bouwplan vereist is leiden relatief vaak tot (financiële) kosten op de korte termijn, evenals het aanwenden van extra vaste mest of compost.

## Referenties

- Coleman, K., & Jenkinson, D. S. (1996). RothC-26.3-A Model for the turnover of carbon in soil. In Evaluation of soil organic matter models (pp. 237-246). Springer, Berlin, Heidelberg.
- de Haan, J. J., van den Elsen, E., & Visser, S. M. (2021). *Evaluatie van de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN), versie 1.0: BLN, versie 1.1 en de schets van een ontwikkelingspad naar een BLN, versie 2.0* (No. WPR-883). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Open Teelten.
- Henriksen, C. B., Six, J., Van de Broek, M., Lugato, E., Debeljak, A., Ghaley, B. B., ... & Creamer, R. E. (2018). KEY INDICATORS AND MANAGEMENT STRATEGIES FOR CARBON SEQUESTRATION AND CLIMATE REGULATION.
- Hoogmoed, M., Janmaat, L., Verstand, D., Bijker, J.W., Schurer, B., Timmermans, B., Heesmans, H., Specken, J., Westerhof, H., Michielsen, C., Colombijn-van der Wende, K., & Koopmans, C. (2021a). Bodem en Klimaat Netwerk Akkerbouw: Voortgangsrapportage maart 2021. Louis Bolk Instituut, Bunnik.
- Hoogmoed, M., Timmermans, B., Bloem, J., van Asperen, P., Crujisen, J., de Haan, J., Norén, I.S., Slier, T., Wagenaar, J.P., Elsen, A., Martens, S., & Koopmans, C. (2021b). Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen: In beeld gebracht aan de hand van de BLN-indicatorset. Louis Bolk Instituut, Bunnik.
- Janmaat, L., & Koopmans, C. 2019. Bodem & Klimaat Netwerk – Akkerbouw. Louis Bolk Instituut, Bunnik.
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw.
- Rutgers, M., Trinsoutrot Gattin, I., Van Leeuwen, J., Menta, C., Gatti, F., Visioli, G., ... & Creamer, R. (2018). Key indicators and management strategies for soil biodiversity and habitat provisioning.
- Selin Norén, I., Verstand, D., & de Haan, J. (2021). Effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties en bodemkwaliteit: integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer en eerste vertaalslag naar praktische boodschappen (No. WPR-856). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Open Teelten.
- Selin Norén, I., Vervuurt, W., Bakker, N., Koopmans, C., Verstand, D., de Haan, J. (2022). Kwantitatieve effecten van bodemmaatregelen op bodemfuncties. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 898.
- Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Herbert, Z.G.J., Hoogmoed, M., Fuchs, L., Heupink, D.T., Slier, T., Wagenaar, J.P., & Koopmans, C.J. (2022a). Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)-bodemkwaliteit indicatoren—Deel 2. 34 pagina's.
- Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Fuchs, L.M., Peters, R., Bloem, J., Heupink, D.T., Wagenaar, J.P., Slier, T., & Koopmans, C.J. (2022b). Meerjarige evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden.
- Schröder, J., Debeljak, M., Trajanov, A., Creamer, R. E., Delgado, T., Spiegel, H., ... & Wall, D. (2018). KEY INDICATORS AND MANAGEMENT STRATEGIES FOR NUTRIENT CYCLING.
- Slier, T., Stout, B., Vervuurt, W., Schepens, J., Martinez Garcia, L., Velthof, G., Lesschen, J.P., Agricola, H., Westerik, D., Koopmans, C., & van Middelaar, J. (2022). Integratierapport Slim Landgebruik. *Verdieping op de effecten van maatregelen binnen Slim Landgebruik*. Wageningen Environmental Research.
- Slier, T., & Velthof, G., (2021). 30 vragen en antwoorden over lachgasemissies uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research.
- 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: Een verkennende studie. Wageningen Environmental Research.
- Van Eekeren, N., de Wit, J., Evers, A., & de Haan, M. (2018). Verandering land gebruik voor bodemkwaliteit ook winst gevend voor intensieve bedrijven. focus, 33.
- Verstand, D., Bijker, W., Evers, A., van der Burgt, E., van Hal, O., Wagenaar, J.P., Smit, B., & de Haan, M. (2022) Kosten en baten van koolstofmaatregelpakketten.
- Wall, D., O'Sullivan, L., Debeljak, M., Trajanov, A., Schröder, J. E., & Bugge Henriksen, C. (2018). Key indicators and management strategies for water purification and regulation.

## Auteurs

Thalisa Slier, Dorien Westerik, Jan Peter Lesschen, Chris Koopmans, Jonas Schepens & Wieke Vervuurt