

Het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems in Nederland is haalbaar

Samenvatting van vijf jaar
onderzoek in Slim Landgebruik



Colofon

Slim Landgebruik is een beleidsondersteunend onderzoeksprogramma in het kader van de Klimaatenvolpe, waarin in de periode 2018-2023 onderzoek is gedaan naar de potentie voor koolstofvastlegging in Nederlandse minerale landbouwbodems in zes onderzoeksthema's. Het Ministerie van LNV heeft hiervoor subsidie verleend aan een brede groep relevante onderzoeks- en praktijkorganisaties. Deze samenvatting is opgesteld binnen Slim Landgebruik in samenwerking met Wageningen University & Research, het Louis Bolk Instituut en CLM Onderzoek en Advies en presenteert de belangrijkste resultaten. Uitgebreide informatie over programmaonderdelen en resultaten is te vinden op www.slimlandgebruik.nl.

Titel

Het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems in Nederland is haalbaar. *Samenvatting van vijf jaar onderzoek in Slim Landgebruik.*

Wageningen Environmental Research

Wageningen, november 2023

Projectnummer: BO-43.10-003-012

Auteurs

Thalisa Slier & Jennie van der Kolk

Met dank aan

Aan deze samenvatting hebben meegewerkt: Jan Peter Lesschen (WUR), Carin Rougoor (CLM), Jan Paul Wagenaar (LBI), Janjo de Haan (WUR), Chris Koopmans (LBI), Gerard Velthof (WUR), Wieke Vervuurt (WUR) en Bert Smit (WUR).

Redactie: Lidwien Daniels

Ontwerp: Thalisa Slier

Contact

Slimlandgebruik@wur.nl

Thalisa.slier@wur.nl



Het klimaatdoel van 0,5 Mton extra CO₂-vastlegging voor minerale landbouwbodems is in theorie haalbaar, mits maatregelen die hieraan bijdragen voldoende en kundig worden geïmplementeerd door agrarische ondernemers;



Om het doel te halen moeten boeren bereid zijn hun management aan te passen. Hiervoor is relevante kennis en een goed verdienmodel nodig;



Boeren kunnen zien welke maatregel het best past bij hun bedrijf door gebruik te maken van de praktijktool BodemCoolstof. Deze tool is ontwikkeld binnen Slim Landgebruik en geeft inzicht in de koolstofvastlegging op het bedrijf;



De effecten van de maatregelen op andere bodemfuncties (bodemvruchtbaarheid, biodiversiteit, klimaatadaptatie en waterkwaliteit) zijn neutraal tot licht positief;



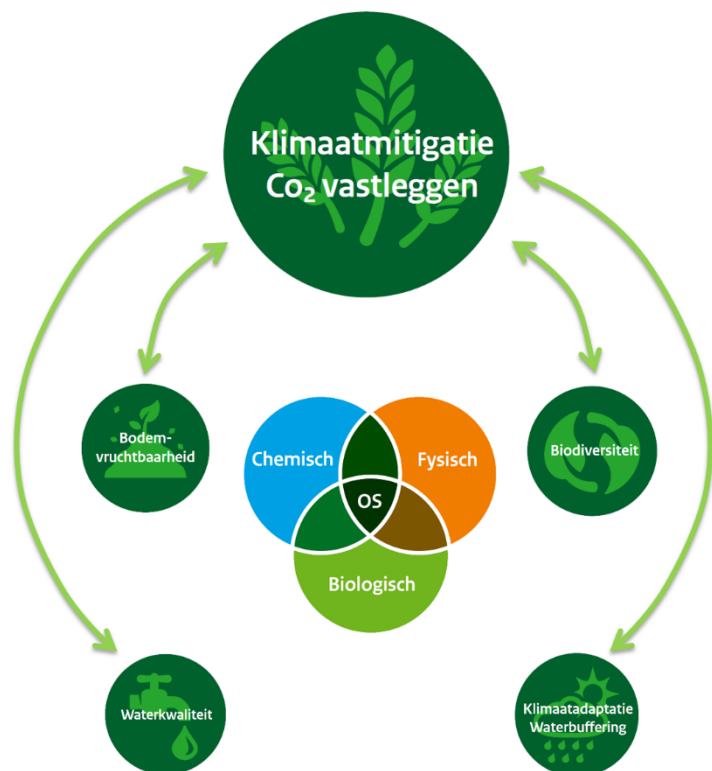
Op korte termijn lijkt het effect van de maatregelen op lachgasemissie beperkt.

Vertrekpunt

Tijdens de klimaatconferentie in Parijs (2015) is afgesproken dat de opwarming van de aarde maximaal 2,0°C mag zijn, met het streven om deze beperkt te houden tot 1,5°C. Nederland heeft het Akkoord van Parijs omgezet in het Klimaatakkoord dat in 2019 door de Tweede Kamer is goedgekeurd. Ook de landbouw- en landgebruikssector hebben zich gecommitteerd aan het Klimaatakkoord. Er is een specifiek doel gesteld voor minerale landbouwbodems, namelijk een jaarlijkse additionele vastlegging van 0,5 Mton CO₂-eq vanaf 2030 ten opzichte van 2017. Dit doel zou moeten worden behaald door het treffen van extra landbouwkundige maatregelen die koolstofvastlegging¹ in de bodem verhogen, waarbij landgebruiksverandering niet aan de orde is.

In de afgelopen jaren zijn hogere ambities geformuleerd door zowel Europa als de Nederlandse minister van Klimaat en Energie. Vanuit de EU is de ambitie uitgesproken te streven naar klimaatneutraal vanaf 2050. In Nederland heeft de sector landbouw en landgebruik daarom de opdracht gekregen een extra emissiereductie van 4 Mton CO₂-equivalenten te verwezenlijken. Voor minerale landbouwbodems is het klimaatdoel voornamelijk gelijk gebleven. In 2020 is het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL) gestart. In dit programma zijn de verschillende bodemopgaven verbonden. Het NPL kent vijf thema's: klimaatmitigatie, klimaatadaptatie, bodemvruchtbaarheid, (bodem)biodiversiteit en waterkwaliteit. Uiteindelijk doel van dit programma is dat in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam worden beheerd.

Om na te gaan hoe het doel van 0,5 Mton CO₂-eq extra vastlegging gerealiseerd kan worden, waarbij ook doelen van het NPL worden behaald, is in 2018 het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik gestart. Daarin is onderzoek uitgevoerd binnen de volgende vijf thema's: 1) effectiviteit van koolstofvastleggende maatregelen, 2) verbeterde inpassing van maatregelen in de bedrijfsvoering, 3) monitoring van de voortgang richting 0,5 Mton CO₂-vastlegging, 4) het stimuleren van boeren om extra koolstof vast te leggen en 5) kennisoverdracht richting beleid en de sector. De resultaten uit de verschillende thema's komen samen in het zesde thema: integratie van onderzoeksresultaten uit Slim Landgebruik. Deze samenvatting vormt hier deel van.



Figuur 1 Visuele weergave van het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik met een centrale rol voor CO₂-vastlegging.

¹ Koolstofvastlegging is het proces waarbij koolstof (C) via planten of andere organismen vanuit de atmosfeer naar de bodem wordt overgebracht, waar dit wordt vastgehouden als organische koolstof wat leidt tot een toename van de C-voorraad in de bodem (Don et al., 2023). Deze definitie is opgesteld binnen het European Joint Programme on Agricultural Soil Management (EJP Soil).

Maatregelen om koolstof vast te leggen

Om het klimaatdoel te halen zijn aanpassingen nodig in het beheer van minerale landbouwbodems. Binnen het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik is onderzoek gedaan naar verschillende maatregelen om hieraan invulling te geven, zonder dat land een andere functie krijgt. Hierbij is gekeken naar de effecten van maatregelen op koolstofvastlegging, lachgasemissie en bodemfuncties. Het doel hierbij was het toetsen van de koolstofvastlegging door landbouwkundige maatregelen, voor de Nederlandse condities. Dit is gedaan op basis van bodemmetingen in langetermijnexperimenten (LTE's) en met behulp van modelberekeningen met RothC. Er is zowel onderzoek gedaan naar graslandmaatregelen als bouwlandmaatregelen op zand- en kleibodems. Tevens is onderzocht hoe deze maatregelen de bodemkwaliteit beïnvloeden. Hiervoor zijn metingen gedaan volgens de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN 1.0) lijst. De indicatoren in de BLN-lijst zijn door deskundigen geselecteerd als de meest relevante indicatoren voor landbouwkundige bodemkwaliteit op het gebied van koolstof, bodemfysica, bodemchemie en bodembioïecologie². Met behulp van deze indicatoren is vervolgens bepaald in welke mate maatregelen resulteren in duurzaam beheer van de bodem. Daarnaast is onderzocht of de maatregelen mogelijk leiden tot extra lachgasemissie, een broeikasgas dat vele malen sterker is dan CO₂.

Modelberekeningen, experimenten en literatuuronderzoek

De potentiële koolstofvastlegging voor Nederland is bepaald met behulp van modelberekeningen³. Tabel 1 toont de potentiële CO₂-vastlegging als gevolg de maatregelen op zand en klei. De modelberekeningen laten zien dat er jaarlijks 0,9 Mton CO₂ extra kan worden vastgelegd in minerale landbouwbodems. Hierbij is ervan uitgegaan dat maatregelen overal waar mogelijk worden toegepast. De implementatie van maatregelen, oftewel het areaal waarop een maatregel wordt toegepast, bepaalt hoeveel CO₂ er uiteindelijk daadwerkelijk wordt vastgelegd. Maatregelen die veel kunnen bijdragen aan koolstofvastlegging zijn *meer blijvend grasland*, *het verhogen van de leeftijd van grasland*⁴, *groenbemesters/vanggewassen*, *het verhogen van het aandeel graan in het bouwplan* en *het toedienen van extra mest of compost*. De potentie is hoog door een hoge vastlegging per hectare, een grote mogelijkheid voor implementatie of een combinatie van beide.

Naast modelberekeningen zijn effecten van maatregelen ook in langetermijnexperimenten gemeten en is er ook een literatuurstudie uitgevoerd. Door al deze gegevens naast de modelberekening te leggen is er bepaald hoe groot de zekerheid van het effect van maatregelen op CO₂-vastlegging is. Tabel 1 toont dat de zekerheid van het effect van maatregelen op koolstofvastlegging varieert. Voor veel maatregelen is de zekerheid (zeer) hoog op basis van LTE's en literatuuronderzoek. Maatregelen die minder gangbaar zijn voor koolstofvastlegging of die lastig meetbaar zijn, scoren lager op zekerheid. De LTE's tonen tevens aan dat de zekerheid hoger is voor maatregelen op klei dan op zand.

² <https://edepot.wur.nl/550065>

³ <https://edepot.wur.nl/557330>

⁴ Deze maatregel is niet modelmatig doorgerekend, maar resultaten uit langetermijnexperimenten tonen een hoge potentie voor koolstofvastlegging.

Tabel 1 Maximale potentiële koolstofvastlegging (kton CO₂/jaar) in Nederland en mate van zekerheid van de vastlegging. Maximale potentiële koolstofvastlegging is berekend op basis van 30 cm bodemdiepte. Er is onderscheid gemaakt tussen effecten op zand en op klei. De zekerheid is bepaald met behulp van resultaten uit langetermijnexperimenten en literatuuronderzoek. n.b. = niet bekend.

Maatregel	Effect op Nederlandse zandgronden		Effect op Nederlandse kleigronden	
	Max. potentiële CO ₂ -vastlegging	Zekerheid CO ₂ -vastlegging ¹	Max. potentiële CO ₂ -vastlegging	Zekerheid CO ₂ -vastlegging ¹
	kton CO ₂ /jaar	-	kton CO ₂ /jaar	-
Meer blijvend grasland	211	Hoog	90	Hoog
Leeftijd grasland verhogen	n.b.	Hoog	n.b.	Zeer hoog
Wisselteelt mais-grasklaver	96	Redelijk	37	Redelijk
Aanpassen gewasrotatie	59	Redelijk	61	Redelijk
Groenbemesters/vanggewassen	39	Hoog	133	Hoog
Extra vaste mest	35	Hoog	42	Hoog
Extra compost	24	Hoog	35	Zeer hoog
Gewasresten (stro) achterlaten	19	Hoog	79	Hoog
Agroforestry	46	Hoog	46	Hoog
Vogelakkers	4	Redelijk	5	Redelijk
Akkerranden	3	Laag	6	Redelijk
Niet-kerende grondbewerking	0	Hoog	0	Hoog
Kruidenrijk grasland	n.b.	Laag	n.b.	Laag

¹ Zeer hoog Aantoonbaar positief effect gemeten in meerdere proeven (p<0,05) én in een internationale meta-analyse
 Hoog Aantoonbaar positief effect gemeten in meerdere proeven (p<0,05) óf in een internationale meta-analyse
 Redelijk Aantoonbaar positief effect gemeten in 1 proef (p<0,05) in Nederland en/of in veldproeven in landen met een vergelijkbaar klimaat
 Laag Geen aantoonbaar positief effect gemeten en/of geen overeenstemming tussen resultaten o.b.v. de verschillende methoden (modelsimulatie, LTE en literatuur).

Lachgasemissie als gevolg van koolstofvastlegging

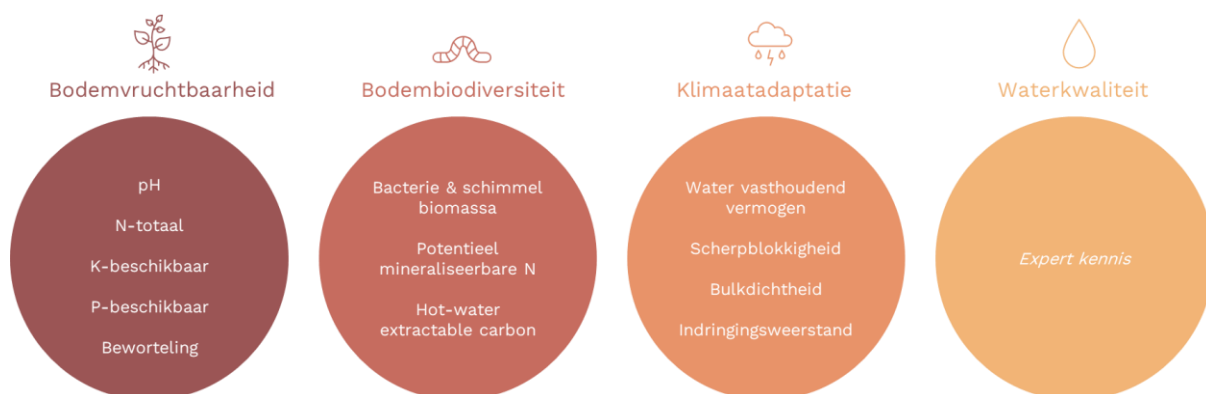
Om te bepalen of het doel van 0,5 Mton CO₂-eq vastlegging wordt behaald, dient de vastlegging van CO₂ te worden gecorrigeerd voor mogelijk toenemende lachgasemissies (N₂O-emissies) als gevolg van een hoger aandeel organische stof in de bodem. Lachgasemissies kunnen toenemen wanneer het bodemkoolstofgehalte 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. Op basis van de eerste resultaten van de lachgasmetingen uit Slim Landgebruik, emissiefactoren uit de nationale emissieregistratie (NEMA), literatuuronderzoek en expertkennis is een eerste inschatting gemaakt van het effect van de in Slim Landgebruik onderzochte maatregelen op de lachgasemissie. Op basis van deze schatting is de verwachting dat

de toename van de lachgasemissie als gevolg van een hoger aandeel organische stof op de korte termijn lager zal zijn dan de koolstofvastlegging. Met andere woorden: ook wanneer de lachgasemissie toeneemt door het treffen van een maatregel, zal het effect door de koolstofvastlegging groter blijven en zal er dus netto een positief effect voor het klimaatdoel optreden. Een uitzondering geldt voor de maatregel *niet-kerende grondbewerking*. Resultaten tonen dat koolstofvastlegging als gevolg van deze maatregel niet plaatsvindt, maar de lachgasemissie neemt mogelijk wel toe.

Effect op bodemfuncties voor duurzaam bodembeheer

Het doel van het Nationaal Programma Landbouwbodems is dat alle landbouwbodems duurzaam worden beheerd in 2030. Landbouwbodems met een goede kwaliteit dragen naast koolstofvastlegging bij aan de 1) bodemvruchtbaarheid, 2) biodiversiteit, 3) klimaatadaptatie en 4) waterkwaliteit. In Slim Landgebruik is naast koolstof ook gemeten aan bodemkwaliteitsindicatoren volgens de BLN-lijst. Om een kwalitatieve uitspraak te doen over de effecten van maatregelen op duurzaam bodembeheer zijn de BLN-indicatoren vertaald naar de vier bodemfuncties. Figuur 2 toont welke gemeten indicatoren per bodemfunctie zijn meegenomen.

Op basis van deze indicatoren is kwalitatief beoordeeld wat het effect is van een maatregel op de betreffende bodemfunctie. Zie Tabel 2 voor de resultaten op zand- en kleigronden.








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

Het effect van de klimaatmaatregelen op de bodemfuncties is over het algemeen positief tot neutraal (Tabel 2). Er is op basis van de kwalitatieve beoordeling geen reden om aan te nemen dat er door CO₂-vastlegging negatieve effecten op de bodemfuncties ontstaan. De resultaten op basis van de BLN-indicatoren bieden echter niet voor iedere bodemfunctie een volledig beeld van het effect van de maatregel.

Tabel 2 Effect van maatregelen op de bodemfuncties¹ bodemvruchtbaarheid, bodembiodiversiteit, klimaatadaptatie en waterkwaliteit op zand- en kleigronden.

Maatregel	Bodem- vruchtbaarheid	Bodem- biodiversiteit	Klimaat- adaptatie	Waterkwaliteit
Effect op zandgronden				
Meer blijvend grasland	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Leeftijd grasland verhogen	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Wisselteelt mais-grasklaver	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Aanpassen gewasrotatie	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Groenbemesters/vanggewassen	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Extra vaste mest	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Extra compost	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Gewasresten (stro) achterlaten	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Agroforestry	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Vogelakkers	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Akkerranden	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Licht negatieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Niet-kerende grondbewerking	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Kruidenrijk grasland	Geen effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Licht negatieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Effect op kleigronden				
Meer blijvend grasland	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Leeftijd grasland verhogen	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Wisselteelt mais-grasklaver	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Aanpassen gewasrotatie	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Groenbemesters/vanggewassen	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Extra vaste mest	Geen effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Extra compost	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Gewasresten (stro) achterlaten	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Agroforestry	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Vogelakkers	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Akkerranden	Positieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht
Niet-kerende grondbewerking	Geen effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Licht negatieve effecten gemeten of verwacht	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht
Kruidenrijk grasland	Geen effecten gemeten of verwacht	Geen effecten gemeten of verwacht	Licht negatieve effecten gemeten of verwacht	Positieve effecten gemeten of verwacht

¹ Het effect op een bodemfunctie is bepaald op basis van gemeten BLN-indicatoren in de LTE's of de PPS Beter Bodembeheer, of van verwachte effecten op basis van expertkennis. De kleuren hebben de volgende betekenis:

	Positieve effecten gemeten of verwacht
	Licht positieve effecten gemeten of verwacht
	Geen effecten gemeten of verwacht
	Licht negatieve effecten gemeten of verwacht
	Zowel positieve als negatieve effecten gemeten of verwacht

Ervaringen op het boerenerf

Vanaf 2018 is er met een achttal regionale netwerken in de veehouderij en akkerbouw gewerkt aan koolstofvastlegging in de praktijk. Op praktijkbedrijven is door middel van toepassen, meten, monitoren en demonstreren van maatregelen handen en voeten gegeven aan duurzaam bodembeheer en klimaatvriendelijke landbouwmaatregelen. Kansen en belemmeringen, maar ook kosten en baten van klimaatmaatregelen onder lokale en regionale condities, zijn inzichtelijk gemaakt. Uit keukentafelgesprekken en kennisbijeenkomsten is duidelijk geworden hoe ondernemers maatregelen hebben ervaren en hoe ingezet kan worden op bredere toepassing van klimaatmaatregelen.

Een belangrijke reden voor akkerbouwers en veehouders om deel te nemen aan één van de netwerken van Slim Landgebruik is niet in eerste instantie de bijdrage aan klimaatdoelen, maar de wens om de bodemkwaliteit te verbeteren. Koolstof is daar een belangrijk onderdeel van.

Akkerbouwers hadden een andere reflectie op koolstofvastlegging dan veehouders. Omdat het onderhouden van bodemorganische stof essentieel is voor een rendabele akkerbouwproductie, ook op termijn, zijn zij al langer aan de slag met koolstofvastleggende maatregelen. Akkerbouwers gaven aan dat deelname aan Slim Landgebruik niet per se geleid heeft tot het treffen van extra maatregelen. Het nieuwe GLB (2023) heeft akkerbouwers wel gestimuleerd extra maatregelen toe te passen. Akkerbouwers gaven aan dat het effect van het combineren van maatregelen nog onduidelijk is, terwijl dit juist voor hen aantrekkelijk kan zijn. Het toepassen van rekenmodellen, zoals de praktijktool BodemCoolstof of NDICEA, kan hiervoor een oplossing zijn.

Voor veehouders is (extra) koolstofvastlegging een logische stap in het optimaliseren van de huidige bedrijfsvoering. Die is gericht op het in stand houden van een goede kwaliteit graszode in combinatie met ruwvoeropbrengst en duurzaam bodembeheer op bouwland waar voedergewassen worden geteeld. Maatregelen waren vooral gericht op aanpassingen in het huidige management, zodat bijvoorbeeld het vernieuwen van grasland uitgesteld kan worden. Veehouders vonden dit op zich goed uitvoerbaar, maar droge zomers gedurende de projectperiode ervoeren zij als lastig. Ook voor de veehouderij is het verkennen van effecten van maatregelen op termijn m.b.v. rekenmodellen een relevant aandachtspunt.

Jaarlijkse feedback, over een periode van meerdere jaren, gecombineerd met kennisinput en -uitwisseling werd door deelnemers gewaardeerd en als nuttig ervaren. Goed contact, vertrouwen en onafhankelijke raadgevingen van praktijkonderzoekers en adviseurs vormen daarbij de basis voor effectieve kennisoverdracht. Inzichten, ervaringen en vragen van individuele deelnemers werden uitgewerkt in casussen (voorbeeldbedrijven), die in communicatie en bijeenkomsten werden benut voor verdere kennisverdieping. Voorbeelden hiervan zijn koolstofbalansen, kosten - baten van maatregelen en koolstofvastlegging bedrijfsbreed berekenen. In een aantal regio's gaven door Slim Landgebruik geïnitieerde demonstraties een belangrijke impuls aan maatregelen en een bredere blik op koolstofvastlegging, bv. *kruidenrijk grasland* (veehouderij) en *groenbemesters* (akkerbouw).

Kansen en belemmeringen van koolstofvastlegging in de praktijk

Via de keukentafelgesprekken is achterhaald wat kansen en belemmeringen zijn bij het toepassen van maatregelen. De deelnemers zijn vaak enthousiast over de maatregelen en de effecten die zij terugzien in de bodem. Toch zijn voor een aantal maatregelen ook knelpunten vastgesteld.

Nagenoeg alle deelnemers uit de akkerbouw zijn aan de slag gegaan met *groenbemesters*. Een deel daarvan experimenteert ook met het *laten overwinteren van groenbemesters*. Hier zitten echter wel haken en ogen aan, vinden zij. Zo zijn groenbemesters na de winter lastiger onder te werken en dan moeten er zwaardere maatregelen getroffen worden (zoals ploegen of het toedienen van glyfosaat).

Het *aanpassen van de gewasrotatie met meer graan* wordt in meerdere regio's toegepast, maar de verschillen tussen regio's zijn groot. In sommige regio's is het lastig om het aandeel graan in het bouwplan te verhogen vanwege de hoge grondprijs en de relatief lage saldi voor graan. Daarentegen zien deelnemers van de praktijknetwerken wel de meerwaarde van het *achterlaten van stro op het land*, met name vanwege de verwachte positieve bijdrage aan bodemkwaliteit. Wel wordt er aangegeven dat er dan meer stikstofbemesting nodig is om tot vertering van het stro te komen.

Ondernemers die vanuit de praktijknetwerken *extra vaste mest en compost* willen toedienen, geven aan dat de stikstofnorm, naast de fosfaatnorm, een beperking vormt om extra dierlijke mest toe te passen. Daarnaast zijn veel akkerbouwers matig enthousiast over de inzet van compost vanwege de hoge mate van vervuiling door o.a. glas en blik. Melkveehouders hebben echter positieve ervaringen met vaste mest toedienen. Ze hebben de stellige indruk dat de opbrengsten beter zijn en het gewas minder droogtegevoelig is.

Tabel 1 toont dat het *verhogen van het aandeel blijvend grasland* een zeer goede maatregel is voor het vastleggen van koolstof in de bodem. Melkveehouders uit de praktijknetwerken geven aan dat de hoge grondprijzen hen voor uitdagingen stelt deze maatregel toe te passen. Regelmatig wordt weiland verkocht als bouwgrond en dan is het lastig om aan nieuwe grond te komen voor meer blijvend grasland.

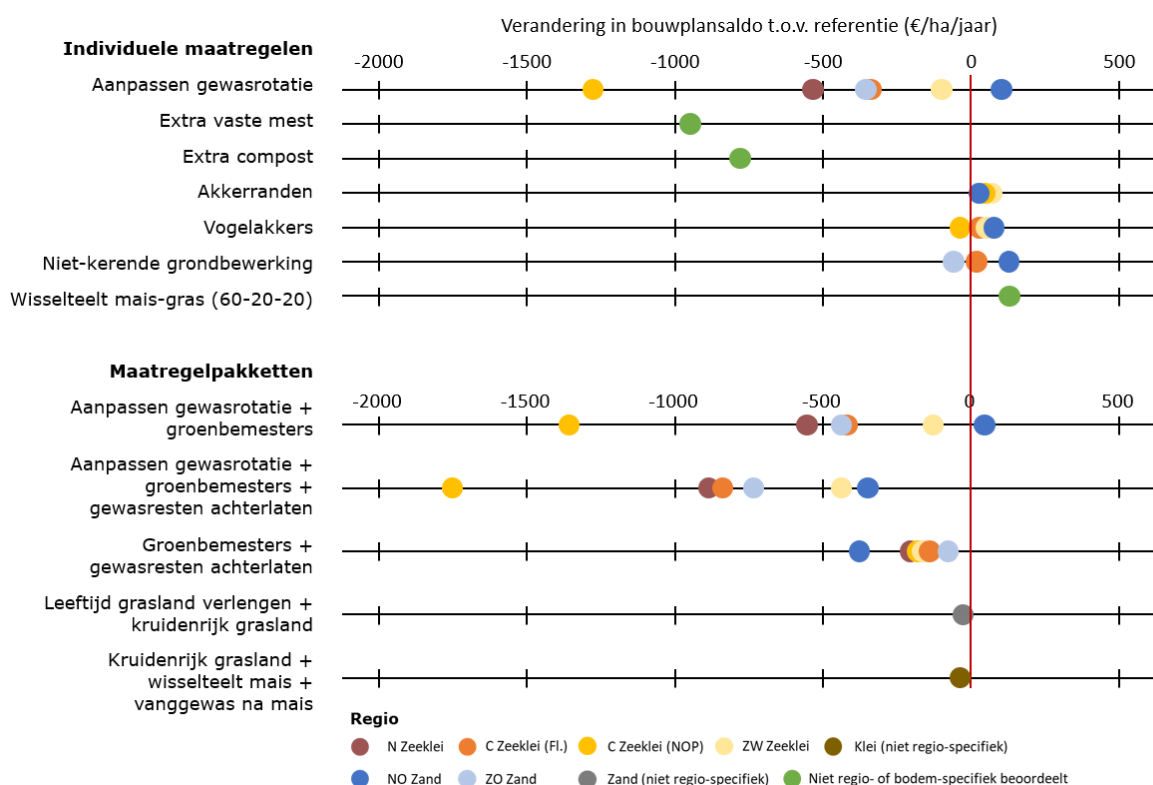
In de loop van Slim Landgebruik zijn veel melkveehouders aanvullend aan de slag gegaan met *kruidenrijk grasland*. Hun ervaringen zijn tot nu toe positief: zo lijkt kruidenrijk grasland droogteresistenter te zijn en lijkt het de bodemstructuur te verbeteren.



Drijfveren om met koolstofvastlegging aan de slag te gaan

Kosten en baten van koolstofvastlegging

Een belangrijke stimulans voor ondernemers om met koolstofvastlegging aan de slag te gaan is als deze zorgt voor een beter bedrijfseconomisch resultaat. Dat betekent dus óók dat als de kosten van een maatregel veel hoger zijn dan baten, zij weinig geneigd zijn de maatregel in te zetten. De kosten van koolstofmaatregelen op de korte termijn zijn goed te kwantificeren. Voor de opbrengsten is dit echter lastiger. Dat komt enerzijds omdat een hoger koolstofgehalte tot allerlei positieve gevolgen leidt, zoals een verbeterde bodemstructuur en weerbaarheid tegen klimaatextremen. Deze baten zijn afzonderlijk of als totaal moeilijk in euro's uit te drukken. Anderzijds is er weinig wetenschappelijke literatuur beschikbaar waarin de bijkomende positieve effecten van koolstofmaatregelen worden gemonitord. Onderzoek naar de kosten en baten op de korte termijn toont dat de regionale verschillen groot kunnen zijn (Figuur 3). Een regiospecifieke benadering is dus een manier om ondernemers te stimuleren die hun bedrijf in kansrijke regio's hebben.



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

Incentives voor koolstofvastlegging

Om koolstofvastlegging een vast onderdeel te maken van de bedrijfsstrategie van boeren zijn verschillende (financiële) prikkels mogelijk. Deze kunnen zowel publiek als privaat worden gefinancierd (Figuur 4). Onder

andere overheden, ketenpartijen en banken kunnen hier een rol spelen: zo zijn bijvoorbeeld in de ecoregeling bodemkoolstofmaatregelen opgenomen. Daarnaast kunnen ketenpartijen maatregelen opnemen in (brede) duurzaamheidsprogramma's en kunnen banken de rentetarieven verlagen als ondernemers duurzaam werken. Ten slotte kunnen boeren koolstofcertificaten verkrijgen en deze verkopen. Om te toetsen hoe effectief verschillende incentives zijn in de praktijk, zijn binnen Slim Landgebruik verschillende initiatieven gevolgd, zoals On the way to PlanetProof, pilots van ZLTO met Windpark Krammer en met Eindhoven Airport. Alhoewel deze initiatieven zich in verschillende fases bevinden, zijn er wel al belangrijke aandachtspunten voor te distilleren:

- Ieder initiatief heeft een eigen aanpak, omdat een overzicht van eisen voor bepaling van koolstofvastlegging en sturing op dit vlak ontbreken. Het gemis aan heldere kaders en praktische handvatten en de onzekerheid hoe de verkoop van certificaten zich verhoudt tot sectordoelen maken dat partijen vaak geen concrete handen en voeten kunnen geven aan het initiatief;
- Meerdere partijen in het werkveld van certificaten zien koolstofvastlegging primair als potentieel verdienmodel. De bijdrage aan klimaatmitigatie staat minder centraal. Vooral boeren die al actief bezig zijn met duurzaam bodembeheer doen mee aan pilots rondom koolstofcertificaten. Het betrekken van boeren die hier nog niet bewust mee bezig zijn, vormt een uitdaging;
- Duurzaamheidsprogramma's van ketenpartijen hebben als beperking dat deelname van een agrarisch bedrijf op ieder moment kan stoppen. Dit maakt dat langjarige opslag van bodemkoolstof niet kan worden gegarandeerd, terwijl dit een belangrijke randvoorwaarde is van de EU;
- Koolstofvastlegging (en de financiering ervan) kan pas goed van start gaan als er duidelijk beleid is over emissietoekenning en verplichtingen per sector en bedrijf, ook als er met partijen buiten de landbouw wordt samengewerkt. Als helder beleid achterwege blijft, stellen partijen zich nog terughoudend op;
- Dit betekent dat de overheid heldere sturing, kaders en eisen moet opstellen voor partijen die met koolstofcertificaten aan de slag gaan. Op Europees niveau is al begonnen met het bepalen van eisen en ook de Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK) biedt kaders. Deze stichting richt zich op het stimuleren van een vrijwillige markt voor koolstofcertificaten;
- Het opstarten van pilots kost in de beginfase veel tijd en geld, terwijl de financiële opbrengsten pas na meerdere jaren beginnen te tellen. Ondernemers zouden geholpen zijn met leningen of startsubsidies.



Figuur 4 Financieringsstructuren voor koolstofvastlegging zijn mogelijk via de publieke sector, via ketenpartijen en via de vrijwillige koolstofmarkt voor het vastleggen.

Om de mogelijkheden te vergroten om als boer via koolstofcertificaten geld te verdienen, is binnen Sim Landgebruik, in samenwerking met andere partijen, gewerkt aan de ontwikkeling van twee methodieken voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Eén voor het stimuleren van de maatregel *meer blijvend grasland* en één voor maatregelen in de akkerbouw. Deze methodieken zijn ondergebracht bij SNK. Projecten en gerealiseerde emissiereducties binnen SNK-projecten worden door onafhankelijke instellingen of deskundigen geverifieerd, om zo de kwaliteit van de certificaten te garanderen. Momenteel worden er verschillende pilots gestart, gebaseerd op de grasland- en akkerbouwmethodieken.

Praktijktool BodemCoolstof

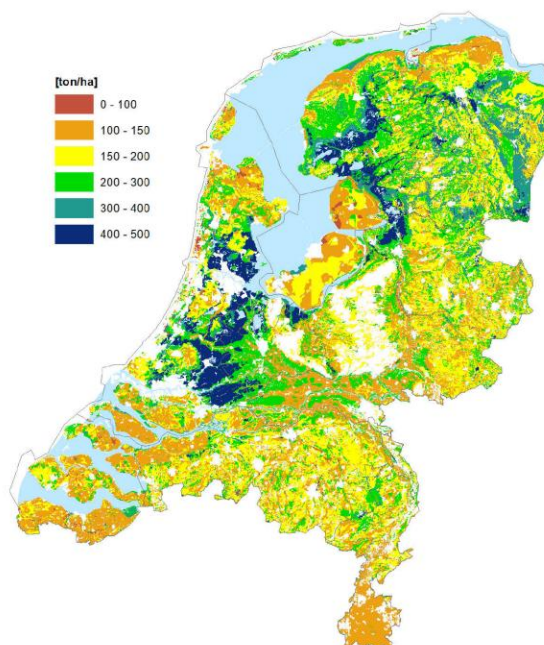
Om toe te werken naar de klimaatdoelen is inzicht in de mogelijke vastlegging een pré. De Nederlandse minerale landbouwbodem heeft de potentie om extra CO₂ vast te leggen, maar de potentie van een bedrijf en de keuze voor het opnemen van koolstofmaatregelen in het bedrijfsplan kunnen verschillen. Daarom is het belangrijk om boeren inzicht te geven in het effect dat verschillende koolstofmaatregelen op perceel- en bedrijfsniveau kunnen hebben op het behoud en de opbouw van organische stof in de bodem. Om hieraan invulling te geven is de praktijktool BodemCoolstof ontwikkeld. Deze tool biedt agrarische ondernemers en hun adviseurs de mogelijkheid om de effecten van koolstofmaatregelen op hun bedrijf of perceel inzichtelijk te maken. Daarnaast wordt de tool als instrument aanbevolen om een schatting te geven van de bodemkoolstofvoorraad na tien jaar als gevolg van het toepassen van maatregelen binnen de SNK-methodiek.



Monitoring van koolstofvastlegging in Nederland

De klimaatdoelen waaraan Nederland zich gecommitteerd heeft, moeten uiterlijk in 2030 worden gehaald. Om na te gaan of Nederland ook aan die verplichting kan voldoen, wordt er gerapporteerd aan de UNFCCC⁵ en EC⁶. Om de effecten van getroffen maatregelen ook duidelijk te maken in deze rapportages heeft Slim Landgebruik bijgedragen aan de update van de emissieberekeningen door de onderzochte maatregelen hierin op te nemen. De resultaten tonen dat de netto koolstofbalans voor minerale landbouwbodems in de periode 2005-2021 is verbeterd. Dit is met name te danken aan de toename van het areaal vanggewassen en groenbemesters in de akkerbouw.

Om na te gaan of het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems bereikt wordt, is het noodzakelijk om de koolstofvoorraad in de Nederlandse bodem te monitoren. In 2018 zijn er in dat kader in heel Nederland op ongeveer 1.150 locaties bodemmonsters genomen, genaamd CC-NL, en is de koolstofvoorraad in de Nederlandse bodem bepaald. De vergelijking met een meting in 1998 toont aan dat de koolstofvoorraad significant is afgenomen. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de afname van veen en moerige gronden en anderzijds door een afname in de bulkdichtheid. De gebruikte methode voor de bepaling van de bulkdichtheid is echter niet heel nauwkeurig en is ook beïnvloed door de droge zomer van 2018. Het koolstofgehalte van minerale landbouwbodems is niet significant veranderd tussen 1998 en 2018. In 2024 zal de landelijke bemonstering worden herhaald en ontstaat er meer inzicht of en zo ja, in hoeverre de koolstofvoorraad sinds 2018 is veranderd. Ook is in 2018 de bodemkwaliteit bepaald door een aantal metingen volgens de BLN-lijst uit te voeren. Deze metingen zullen in 2024 worden herhaald om te bepalen of en zo ja, in welke mate de bodemkwaliteit is veranderd in de afgelopen zes jaar.



Figuur 5 Totale koolstofvoorraad in de bodem (ton C/ha) in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van gloeiverlies in de CC-NL steekproef 2018.

⁵ UNFCCC staat voor United Nations Framework for Convention on Climate Change en is een internationaal klimaatverdrag onder verantwoordelijkheid van de Verenigde Naties.

⁶ European Commission

Conclusie: Het beleidsdoel van een additionele vastlegging van 0,5 Mton CO₂ per jaar is haalbaar

Het doel van het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik is om te achterhalen of een additionele vastlegging van 0,5 Mton CO₂-equivalenten per jaar in minerale landbouwbodems haalbaar is. Alle onderzoeksresultaten in ogenschouw nemende blijkt dat dit technisch haalbaar is. Afgelopen jaren is er onderzoek gedaan naar diverse maatregelen die bijdragen aan koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Wanneer deze voldoende worden geïmplementeerd, is het mogelijk om te komen tot 0,5 Mton extra CO₂-vastlegging. Tevens heeft het onderzoek aangetoond dat er neutrale tot licht positieve, maar vooral geen negatieve effecten optreden voor bodemvruchtbaarheid, (bodem)biodiversiteit, klimaatadaptatie en waterkwaliteit. Hiermee dragen de maatregelen ook bij aan de doelen gesteld in het Nationaal Programma Landbouwbodems.

Hoe nu verder?

Om tot succesvolle implementatie en effectieve vastlegging te komen is het echter belangrijk dat de opgedane kennis en inzichten op de juiste manier bij boeren terechtkomen, omdat zij de cruciale rol spelen bij het halen van deze doelstelling. Daarom is het van belang dat agrarische ondernemers, hun adviseurs en onderzoekers geregeld kennis en ervaringen uitwisselen. Hierbij kunnen demonstraties (van zowel maatregelen als praktijktools zoals BodemCoolstof) helpen, maar ook bodemadviseurs en het MBO- en HBO-onderwijs kunnen een rol spelen in kennisoverdracht.

Het is goed om te realiseren dat de landbouw ook andere doelen kent o.a. op het gebied van biodiversiteit, stikstof, waterkwaliteit en mest. Beleidsplannen zijn echter niet altijd op elkaar afgestemd. Om de doelen voor koolstofvastlegging te halen is een integrale benadering essentieel om tot goede afwegingen en beleidsinvulling te komen.

Onderzoek binnen Slim Landgebruik heeft aangetoond dat het mogelijk is de koolstofvoorraad te verhogen en daarmee het klimaatdoel te halen. De vraag blijft staan waar dit het beste kan. En hoelang we nog kunnen doorgaan met het verhogen van de koolstofvoorraad. Treedt er op een bepaald moment verzadiging van de bodem op? En zo ja, op welke termijn? Daarnaast is het onduidelijk wat er met de koolstofvoorraad gebeurt wanneer boeren na verloop van tijd besluiten te stoppen met bepaalde maatregelen. Blijft de dan opgebouwde koolstof in de bodem of gaat deze weer verloren? Ondanks dat we al veel weten, zijn er nog een aantal essentiële vragen die nog onbeantwoord zijn.



Bijlage 1

Binnen Slim Landgebruik wordt onderzoek gedaan naar een brede set van klimaatmaatregelen. Hieronder volgt de definitie van de maatregelen:

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, die 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:	het aanleggen van een meerjarig groenvoedergewas afgewisseld met stroken natuurbraak, waarbij de groenvoedergewassen drie à vier 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 raaigras.

Deze definities zijn een algemene leidraad voor de invulling van de maatregelen. De exacte invulling van een maatregel kan afhangen van de context: de modelberekeningen op landelijk niveau vereisen soms een andere insteek dan de LTE's op perceelsniveau.

Bijlage 2

Deze samenvatting is geschreven op basis van onderzoeksresultaten uit het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik. Het programma kent vijf thema's, met daarin verschillende projecten. Onderstaand overzicht toont de thema's en de projecten. Rapporten en artikelen zijn beschikbaar via de link in het onderstaand overzicht.

Thema	Project
Effectiviteit van koolstofvastleggende maatregelen	Onderbouwing koolstof vastlegging door vergelijking met internationale literatuur
	Kengetallen gewasresten achterlaten en groenbemesters op koolstofvastlegging
	Impact van pakketten van maatregelen
	No-regret maatregelen voor klimaatdoelen
	Afwenteling naar lachgasemissies
	Evaluatie van de effectiviteit van koolstof vastleggende maatregelen
Verbeterde inpassing in de bedrijfsvoering	Demonstraties en netwerken - fase 1 - voorbereiding en selectie
	Kosten en baten van koolstofmaatregelen
	Netwerken Akkerbouw
	Netwerken Veehouderij
	Demonstraties Akkerbouw en Veehouderij
Monitoren van de voortgang richting 0,5 Mton	Naar een robuust meetnet voor monitoring van de koolstofvoorraad in de bodem
	Ontsluiting van reeds verzamelde data
	Praktijktool BodemCoolstof
	Monitoringsstrategie emissieregistratie
Stimuleren van boeren	Doorontwikkeling Methodiek Koolstofcertificaten
	Evaluatie en verbetering van bestaande incentives
Kennisoverdracht	Bewust behoud bodemstructuur
	Boer bij Kennis: Bodemcursussen voor erfbetreders
	Een duik in de bodem
	Bij de les met bodem en klimaat
	Communicatie
Integrale resultaten uit Slim Landgebruik	Data management
	Integrale effecten van klimaatmaatregelen uit Slim Landgebruik

