

Een roadmap naar het behalen van beleidsdoelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer in minerale landbouwbodems in Nederland

Thalisa Slier, Jennie van der Kolk, Chantal Hendriks, Wieke Vervuurt, Carin Rougoor, Jan Paul Wagenaar, Chris Koopmans, Jonas Schepens, Marianne Hoogmoed, Janjo de Haan & Jan Peter Lesschen

Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen University & Research, het Louis Bolk Instituut en CLM Onderzoek en Advies met subsidie van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend Programma Slim Landgebruik (BO-43.10-003-016).

Augustus, 2024

Contact: Slimlandgebruik@wur.nl

Slier, T., van der Kolk, J., Hendriks, C., Vervuurt, W., Rougoor, C., Wagenaar, J.P., Koopmans, C., Schepens, J., Hoogmoed, M., de Haan, J. & Lesschen, J.P. (2024). *Een roadmap naar het behalen van beleidsdoelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer in minerale landbouwbodems in Nederland*. Wageningen. Slim Landgebruik.

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 5 |
| 1 Inleiding | 8 |
| 1.1 Aanleiding | 8 |
| 1.2 Doel Slim Landgebruik | 8 |
| 1.2.1 Slim Landgebruik 2018-2023 | 8 |
| 1.2.2 Slim Landgebruik 2024-2026 | 9 |
| 1.3 Roadmap richting 2030 | 9 |
| 1.4 Leeswijzer | 9 |
| 2 Methode | 10 |
| 2.1 Methodiek Roadmap en Theory of Change | 10 |
| 2.2 Consultaties | 10 |
| 2.3 Onderzoek naar het behalen van de outcomes | 12 |
| 3 Omgevingsanalyse | 13 |
| 3.1 Beleidsanalyse | 13 |
| 3.2 Recent en huidig onderzoek | 14 |
| 4 Theory of Change | 16 |
| 5 Outcomes voor klimaatdoelen en duurzaam bodembeheer | 18 |
| 5.1 <i>Outcome 1: Koolstofvastlegging kan langjarig worden toegepast op agrarische bedrijven</i> | 18 |
| 5.1.1 Aanleiding | 19 |
| 5.1.2 Beschrijving van de outcome | 19 |
| 5.1.3 Stand van zaken | 19 |
| 5.1.4 Kennishiaten | 20 |
| 5.1.5 Outputs | 20 |
| 5.1.6 Acties | 21 |
| 5.2 <i>Outcome 2: Implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk door handelingsperspectief en opschaling</i> | 23 |
| 5.2.1 Aanleiding | 23 |
| 5.2.2 Beschrijving van de outcome | 23 |
| 5.2.3 Stand van zaken | 24 |
| 5.2.4 Kennishiaten | 28 |
| 5.2.5 Outputs | 28 |
| 5.2.6 Acties | 29 |
| 5.3 <i>Outcome 3: Inzicht in de lange termijn potentie voor koolstofvastlegging en -opslag</i> | 31 |
| 5.3.1 Aanleiding | 31 |
| 5.3.2 Beschrijving van de outcome | 32 |
| 5.3.3 Stand van zaken | 33 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3.4 | Kennishiaten | 35 |
| 5.3.5 | Outputs | 35 |
| 5.3.6 | Acties | 36 |
| 5.4 | <i>Outcome 4: Inzicht in de interactie tussen landbouwbeleid in relatie tot de mogelijkheden voor koolstofvastlegging</i> | 38 |
| 5.4.1 | Aanleiding | 38 |
| 5.4.2 | Beschrijving van de outcome | 39 |
| 5.4.3 | Stand van zaken | 39 |
| 5.4.4 | Kennishiaten | 42 |
| 5.4.5 | Outputs | 42 |
| 5.4.6 | Acties | 43 |
| 5.5 | <i>Outcome 5: De potentie van koolstofvastlegging voor duurzaam bodembeheer is inzichtelijk en wordt toegepast op het bedrijf</i> | 45 |
| 5.5.1 | Aanleiding | 45 |
| 5.5.2 | Beschrijving van de outcome | 46 |
| 5.5.3 | Stand van zaken | 46 |
| 5.5.4 | Kennishiaten | 51 |
| 5.5.5 | Outputs | 51 |
| 5.5.6 | Acties | 53 |
| 5.6 | <i>Outcome 6: Kennis omtrent koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer stroomt door naar boeren en wordt toegepast</i> | 55 |
| 5.6.1 | Aanleiding | 55 |
| 5.6.2 | Beschrijving van de outcome | 56 |
| 5.6.3 | Stand van zaken | 56 |
| 5.6.4 | Kennishiaten | 59 |
| 5.6.5 | Outputs | 60 |
| 5.6.6 | Acties | 61 |
| 6 | Roadmap | 63 |
| 7 | Referenties | 68 |
| | Bijlage 1 Theory of Change | 77 |
| | Bijlage 2 Definities | 80 |
| | Bijlage 3 Resultaat van consultaties ten behoeve van het vullen van de Theory of Change | 83 |
| | Bijlage 4 Relevante publicaties uit Slim Landgebruik 2018-2023 | 84 |

Samenvatting

Het rapport presenteert een roadmap voor het behalen van klimaat- en duurzaamheidsdoelen in de Nederlandse landbouw voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Dit initiatief is onderdeel van het programma "Slim Landgebruik", waarin onderzoek wordt gedaan naar koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems ten behoeve van het halen van klimaatdoelen en doelen voor duurzaam bodembeheer. Het doel van Slim Landgebruik is:

Kennisontwikkeling en kennis beschikbaar maken voor beleid en praktijk voor het verbeteren van koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Dit moet bijdragen aan:

- De klimaatdoelen voor 2030 en 2050;
- De regionale invulling van het hoofddoel;
- het duurzaam beheren van landbouwbodems vanaf 2030.

De roadmap sluit aan bij het Klimaatakkoord van 2019, dat voor de landbouwsector streeft naar een reductie van broeikasgasemissies en extra vastlegging van koolstof in de bodem. Het doel voor de extra koolstofvastlegging is vastgesteld op een extra 0.5 Mton CO₂-vastlegging per jaar vanaf 2030. Daarnaast draagt de roadmap bij aan het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL), dat duurzaam bodembeheer tot doel heeft.

De roadmap identificeert de kritische factoren voor het bereiken van de klimaat- en duurzaamheidsdoelen. De roadmap is tot stand gekomen door consultatie van beleidsmedewerkers van het ministerie van LNV, experts binnen de agrarische sector en onderzoekers vanuit het programma Slim Landgebruik. Gezamenlijk zijn de randvoorwaarden voor de roadmap vastgesteld:

| | |
|---------------------------|---|
| <i>Tijdschaal</i> | <i>vanaf heden tot 2030 met een doorkijkje naar 2050</i> |
| <i>Doelgroep</i> | <i>voor beleid en agrarische praktijk</i> |
| <i>Ruimtelijke schaal</i> | <i>zowel op landelijke als op regionale schaal en op bedrijfsniveau</i> |

De roadmap is gebaseerd op een samen met de diverse stakeholders opgestelde Theory of Change (ToC). Een Theory of Change is een methodiek die helpt inzichtelijk te maken hoe een bepaalde impact op de lange termijn gerealiseerd kan worden. Dit proces heeft geresulteerd in het vaststellen van zes "outcomes". Outcomes zijn de specifieke veranderingen in gedrag, kennis, vaardigheden, status of levensomstandigheden van de doelgroep die direct voortvloeien uit de activiteiten en outputs van het programma. Dit zijn de korte termijn- of middellange termijn doelstellingen die een directe bijdrage leveren aan het bereiken van de impact. Deze zes outcomes zijn cruciaal voor het behalen van de doelen:

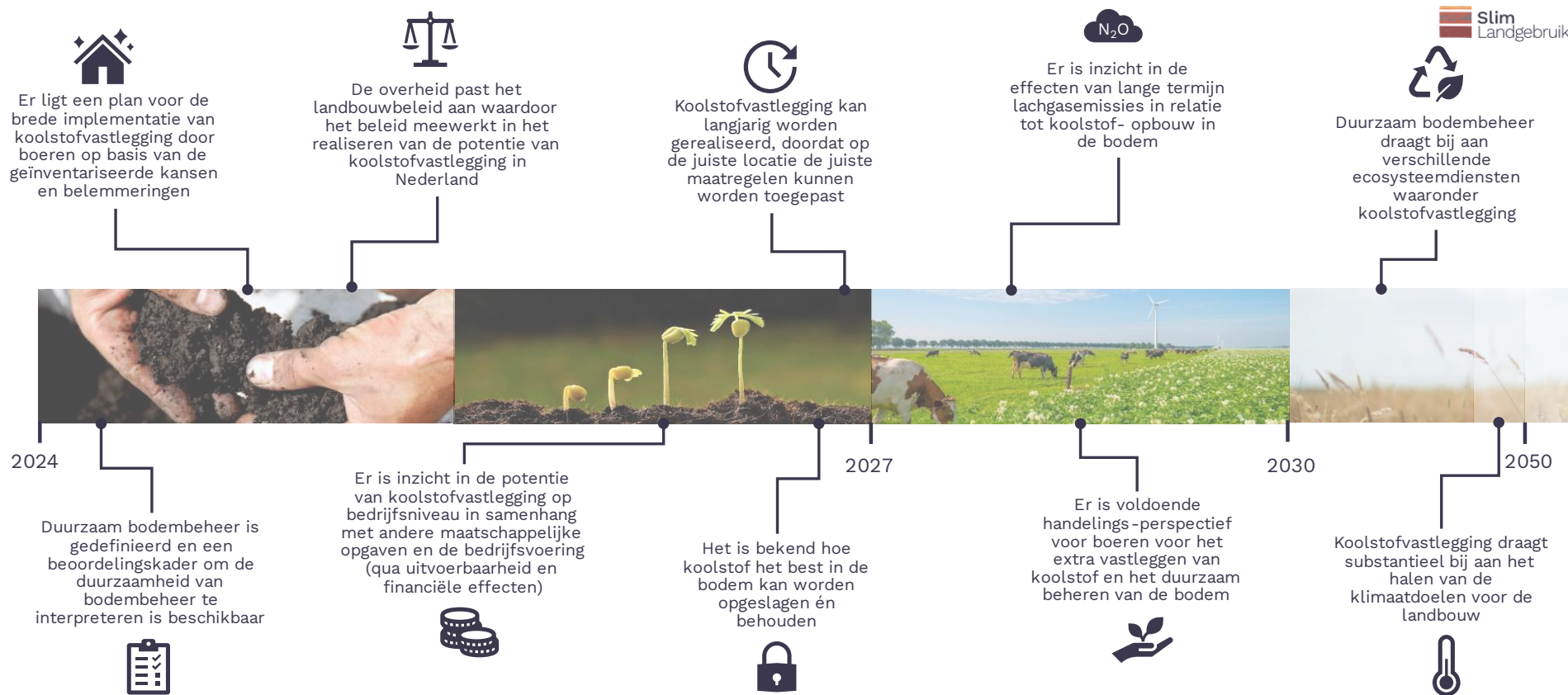
1. Koolstofvastlegging kan langjarig worden toegepast op agrarische bedrijven
2. Implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk door handelingsperspectief en opschaling
3. Inzicht in de lange termijn potentie voor koolstofvastlegging en -opslag
4. Inzicht in de interactie tussen landbouwbeleid in relatie tot de mogelijkheden voor koolstofvastlegging
5. De potentie van koolstofvastlegging voor duurzaam bodembeheer is inzichtelijk en wordt toegepast op het bedrijf
6. Kennis omtrent koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer stroomt door naar boeren en wordt toegepast

Per outcome is onderzocht wat de stand van zaken is en welke kennishiaten er op dit moment zijn. Op basis van deze kennishiaten zijn outputs en acties gedefinieerd. Door navolging te geven aan deze acties wordt het aannemelijk om de doelen voor 2030 te behalen. De tijdslijn waarin de belangrijkste acties en outputs gerealiseerd moeten worden, is op de volgende pagina weergegeven in de roadmap.

Om de doelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer =voor 2030 te behalen, zijn diverse stappen en maatregelen nodig in de Nederlandse landbouw. Een duidelijke definitie van duurzaam bodembeheer en een beoordelingskader zijn essentieel voor de korte termijn. Er moet ook een opschalingsplan worden ontwikkeld om meer boeren te betrekken bij koolstofvastlegging. Daarnaast is een afgewogen landbouwbeleid nodig om synergiën en tegenstrijdigheden tussen maatregelen te beheren. Er is ook behoefte aan een integrale benadering voor koolstofvastlegging op bedrijfsniveau, inclusief de financiële en praktische aspecten. Op middellange termijn moeten handelingsperspectieven voor boeren worden ontwikkeld om de implementatie te stimuleren. Op lange termijn moeten de effecten van koolstofvastlegging op lachgasemissies en het bereiken van bredere ecosysteemdiensten worden begrepen en geoptimaliseerd. De sector moet bijdragen aan de klimaatneutraliteit van Europa in 2050 door middel van koolstofvastlegging, als compensatie voor de niet te vermijden emissies.

Voor Slim Landgebruik 2024-2026 biedt het rapport handvatten voor het onderzoek dat in 2024-2026 uitgevoerd moet worden. Het rapport benadrukt echter ook de noodzaak van samenwerking tussen overheid, onderzoekers en de agrarische sector om de gestelde doelen te bereiken. Het wordt aanbevolen om de voortgang van de roadmap te monitoren en deze jaarlijks te updaten op basis van de nieuwste ontwikkelingen.

Roadmap voor koolstofvastlegging in Nederlandse minerale landbouwbodems



Essentieel om het doel te bereiken

Koolstof- vastlegging kan langjarig worden toegepast op agrarische bedrijven

Implementatie van koolstof vastlegging in de praktijk door handelingsperspectief en opschaling

Inzicht in de lange termijn potentie voor koolstofvastlegging en- opslag

Inzicht in de interactie tussen landbouwbeleid in relatie tot koolstofvastlegging

De potentie van koolstofvastlegging voor duurzaam bodembeheer is inzichtelijk en wordt toegepast op het bedrijf

Kennis omtrent koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer stroomt door naar boeren en wordt toegepast

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het klimaatakkoord van 2019 is voor de landbouwsector een doel gesteld om bij te dragen aan een reductie van de emissie van broeikasgassen in Nederland. De verschillende landbouwsectoren moeten hieraan bijdragen en hebben een eigen doelstelling gekregen. Het doel voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems is gesteld op 0,5 Mton extra CO₂-vastlegging per jaar vanaf 2030. Om dit doel te halen moest worden nagegaan wat hiervoor nodig was. Daarom is, voorafgaand aan het klimaatakkoord van 2019, in 2018 door het Ministerie van LNV een subsidie verleend om onderzoek te doen naar hoe dit doel kan worden gehaald. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik (www.slimlandgebruik.nl).

In 2019 heeft het Ministerie van LNV ook doelen gesteld voor duurzaam bodembeheer in Nederland in haar Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL). In het NPL is klimaatmitigatie één van de thema's waar duurzaam bodembeheer aan moet voldoen. Daarom is de vraag geweest om de doelen van het NPL voor wat betreft koolstofvastlegging op minerale landbouwbodems mee te laten liften met het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik.

1.2 Doel Slim Landgebruik

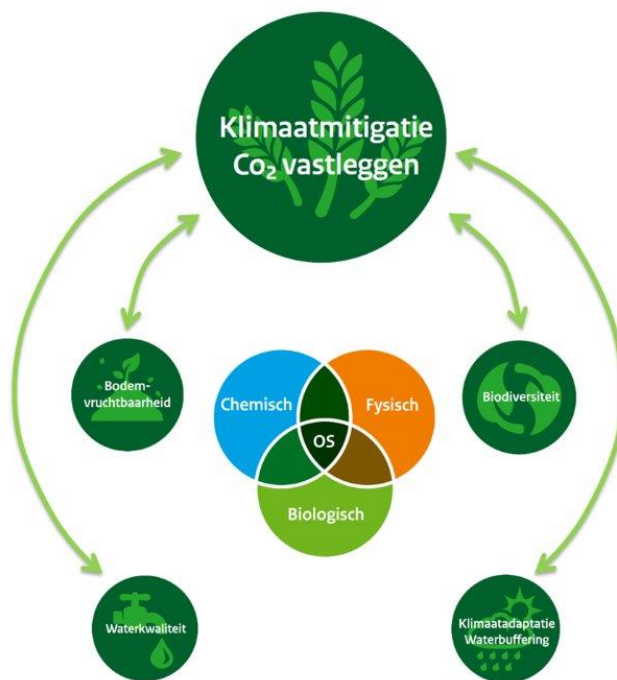
1.2.1 Slim Landgebruik 2018-2023

Bij de start van Slim Landgebruik in 2018 is het doel van het programma bepaald: "Het leveren van kennis die nodig is om te komen tot een vastlegging van 0,5 Mton CO₂ aan de bodem per jaar vanaf 2030 of eerder, voor minerale landbouwbodems in Nederland en bijdraagt aan realiseren van duurzaam beheren van alle landbouwbodems in Nederland".

Om dit doel te bereiken zijn er zes thema's vastgesteld op basis waarvan in de periode 2018-2023 onderzoek is verricht. Deze thema's zijn:

- effectiviteit van koolstofvastleggende maatregelen, inclusief afwenteling naar lachgasemissies
- inpassing in de praktijk, inclusief kosten en baten
- monitoring
- incentives voor koolstofvastlegging
- eenduidige en duidelijke kennisverspreiding
- integratie van resultaten

Hier zijn belangrijke resultaten opgehaald. Slier et al. (2023) concludeert na het samenvatten van de resultaten uit vijf jaar onderzoek dat het klimaatdoel van 0,5 Mton extra CO₂-vastlegging voor minerale landbouwbodems in theorie haalbaar is, mits maatregelen die hieraan bijdragen voldoende en kundig worden geïmplementeerd door agrarische ondernemers.



Figuur 1 Visualisatie van het programma Slim Landgebruik (naar het schema uit het Nationaal Programma Landbouwbodems, NPL). Hierin zijn de thema's van de visualisatie van het NPL herschikt in lijn met de prioriteiten binnen het programma Slim Landgebruik.

1.2.2 Slim Landgebruik 2024-2026

Met het onderzoek dat is uitgevoerd in de periode 2018-2023 is de basis gelegd voor het behalen van het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems. Echter, tijdens het onderzoek in Slim Landgebruik kwamen nog een heel aantal vragen naar voren. Deze vragen varieerden van boeren die zeiden dat koolstofvastlegging op hun bedrijf niet mogelijk is omdat hun organische stof gehalte al heel hoog is tot boeren die zeiden niets te kunnen doen omdat ander beleid dit niet toelaat. Dit soort vragen zijn bepalend of uiteindelijke beleidsdoelen worden gehaald. Om deze reden heeft het Ministerie van LNV voor een periode van 3 jaar subsidie verleend voor vervolgonderzoek naar koolstofvastlegging in minerale landbouw bodems. Om te bepalen waar het onderzoek zich de komende 3 jaar op moet richten - binnen het toegekende budget - is in overleg met LNV besloten om een roadmap op te stellen die de basis moet zijn voor het werkplan 2024-2026 van Slim Landgebruik.

De focus van het onderzoek in 2024-2026 wordt enigszins verlegd van het halen naar het klimaatdoel naar koolstofvastlegging ten behoeve van het halen van het klimaatdoel én ten behoeve van bodemkwaliteitsdoelen.

Het doel is als volgt vastgesteld:

Kennisontwikkeling en kennis beschikbaar maken voor beleid en praktijk voor het verbeteren van koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Dit moet bijdragen aan:

- De klimaatdoelen voor 2030 en 2050;
- De regionale invulling van het hoofddoel;
- het duurzaam beheren van landbouwbodems vanaf 2030.

1.3 Roadmap richting 2030

Zoals eerder genoemd, is er de afgelopen jaren al veel onderzoek uitgevoerd in een zestal thema's. De resultaten van dit onderzoek hebben veel inzicht opgeleverd in de potentie van maatregelen, de kansen en belemmeringen van het toepassen van maatregelen in de praktijk en methodieken om maatregelen te implementeren in de vorm van incentives. Echter zijn er ook nog een aantal witte vlekken welke ingevuld moeten worden voordat de doelen in 2030 ook daadwerkelijk zullen worden gehaald. Om deze reden omvat dit rapport een roadmap met daarin de stappen die genomen moeten worden om te komen tot het behalen van de doelen in 2030. Dit onderzoek draagt daarmee bij aan het vaststellen van kennishiaten welke gedicht dienen te worden richting 2030.

De resultaten uit deze roadmap zijn gericht op zowel beleid als praktijk en overstemmen hetgeen in Slim Landgebruik gerealiseerd kan worden in de periode 2024-2026. Echter biedt het onderzoek wel handvatten voor zowel onderzoek, beleid als praktijk over stappen die genomen moeten worden richting 2030 om de doelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer te halen. Om te borgen dat de doelen richting 2030 daadwerkelijk gehaald worden, is het aan te bevelen de voortgang van de roadmap te monitoren en deze (jaarlijks) te updaten.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2, Methode, wordt toegelicht hoe het proces van het invullen van de roadmap is verlopen en welke acties daarvoor zijn uitgevoerd. In Hoofdstuk 3 volgt een omgevingsanalyse, waarin wordt toegelicht welk beleid raakt aan de beleidsdoelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer en welke projecten er momenteel lopen dat raakt aan de beleidsdoelen. In Hoofdstuk 4 wordt er ingegaan op de vastgestelde invulling van de Theory of Change, welke vervolgens verder wordt uitgewerkt in hoofdstuk 5. Daar wordt per outcome toegelicht wat benodigde outputs en acties zijn om tot de outcome te komen. In Hoofdstuk 6 wordt vervolgens de roadmap gepresenteerd.

2 Methode

2.1 Methodiek Roadmap en Theory of Change

Een roadmap is een strategisch plan dat de stappen en mijlpalen schetst die nodig zijn om een bepaald doel te bereiken. Het is een visueel hulpmiddel dat helpt bij het plannen, prioriteren en communiceren van de strategie en de voortgang over een bepaalde periode.

Voor het opstellen van de roadmap is allereerst gebruikt gemaakt van een Theory of Change. Een Theory of Change is een methodiek die helpt inzichtelijk te maken hoe een bepaalde impact op de lange termijn gerealiseerd kan worden. In een Theory of Change (ToC) komen de volgende aspecten terug:

- **Doelstelling:** De doelstelling verwijst naar de uiteindelijke doelen of gewenste eindresultaten die een project, programma of interventie beoogt te bereiken. Het is de overkoepelende visie of het lange termijn doel dat de richting en het doel van alle activiteiten en interventies bepaalt.
- **Impact:** Impact verwijst naar de lange termijn veranderingen die een project, programma of interventie beoogt te bereiken.
- **Outcome:** Outcomes zijn de specifieke veranderingen in gedrag, kennis, vaardigheden, status of levensomstandigheden van de doelgroep die direct voortvloeien uit de activiteiten en outputs van het programma. Dit zijn de korte termijn- of middellange termijn doelstellingen die een directe bijdrage leveren aan het bereiken van de impact.
- **Output:** Outputs zijn de directe resultaten van de activiteiten van een programma. Dit zijn de concrete, tastbare producten, diensten of evenementen die door de interventie worden geleverd.
- **Acties:** Acties zijn de te ondernemen activiteiten die bijdragen aan het genereren van de gewenste output.

Hierbij helpt een ToC bij het begrijpen van waarom en hoe een verandering kan plaatsvinden, terwijl een roadmap helpt deze te vertalen naar een realistische tijdlijn. Samen zorgen ze voor een geïntegreerde aanpak van strategische planning en operationele uitvoering.

Het doel van deze roadmap, ook wel routekaart genoemd, is om een Theory of Change te vertalen naar een uitvoerbaar werkplan en tijdlijn, gebaseerd op identificatie van kritische factoren die bepalend zijn voor het behalen van het doel; in dit geval zijn dat het klimaatdoel voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems en alle landbouwbodems duurzaam beheerd. Hiervoor moeten de meest bepalende factoren rondom koolstofvastlegging en duurzaam bodembeheer in kaart worden gebracht en hoe deze (kunnen) worden beïnvloed om de implementatie van de doelen te kunnen realiseren. Om vooruit te kunnen plannen moet er een voldoende zicht zijn op de stand van zaken qua beleid, onderzoek en maatschappelijke ontwikkelingen.

2.2 Consultaties

Voor het opstellen van de ToC zijn verschillende groepen stakeholders geconsulteerd; beleidsmedewerkers van het Ministerie van LNV, betrokkenen bij de agrarische sector en onderzoekers uit het Slim landgebruik consortium. Voorafgaand aan de consultaties waren de outcomes voor de ToC op hoofdlijnen al vastgesteld in verschillende bijeenkomsten met beleidsmedewerkers van LNV en onderzoekers.

Consultatie met beleidsmedewerkers

Allereerst heeft er een bijeenkomst plaatsgevonden met een vijftal beleidsmedewerkers van het Ministerie van LNV. Deze bijeenkomst had tot doel om 1) de randvoorwaarden voor de roadmap vast te stellen en 2) het definiëren van einddoelen en impact voor de ToC.

Hierbij is tot de volgende randvoorwaarden voor de roadmap gekomen:

| | |
|--------------------|--|
| Tijdschaal | vanaf heden tot 2030 met een doorkijkje naar 2050 |
| Doelgroep | voor beleid en agrarische praktijk |
| Ruimtelijke schaal | zowel op landelijke als op regionale schaal en op bedrijfsniveau |

Deze roadmap biedt daarmee de stappen die genomen dienen tot worden tot 2030 voor het behalen van de doelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer. Dit betekent niet dat alle stappen die in dit rapport worden vastgesteld, zullen worden uitgevoerd binnen Slim Landgebruik 2024-2026.

Het einddoel voor de ToC en roadmap zijn de beleidsdoelen uit het klimaatakkoord voor koolstofvastlegging op minerale landbouwbodems en het beleidsdoel om vanaf 2030 alle landbouwbodems duurzaam te beheren (NPL). De acties, outputs en outcomes zoals beschreven in deze roadmap moeten tot de volgende impacts leiden:

- Kennisontwikkeling levert handelingsperspectief voor CO₂-vastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer;
- Boeren beschikken over de juiste kennis om bodems duurzaam te beheren en voldoende CO₂ vast te leggen;
- Koolstofvastlegging en duurzaam bodembeheer zijn afgewogen tegen andere beleidsdomeinen;
- Landbouwbodems worden duurzaam beheerd.

Consultatie met betrokkenen bij de agrarische sector

Bij een online bijeenkomst waren vertegenwoordigers aanwezig van Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW), LTO Noord, BO-akkerbouw, ZLTO, COSUN en Agrifirm. Tijdens deze consultatie is getoetst of de outcomes zoals vastgesteld met de beleidsmedewerkers ook bijdragen aan de vragen die er in de praktijk spelen. De conclusie was dat de outcomes goed overeenkomen met de wensen vanuit de praktijk. Wel ligt er vanuit de praktijk meer de wens om op bedrijfsniveau onderzoek te doen, zodat kennis makkelijker is te implementeren in de praktijk (Figuur 2).



Figuur 2 Screenshot van de Wooclap resultaten op de vraag: Wat zien de deelnemers als kennishiaten om doelen voor 2030 te behalen?

Consultatie met onderzoekers

Tijdens een bijeenkomst met onderzoekers van WR, LBI en CLM, is nagegaan of dit vanuit onderzoek de vragen zijn die beantwoord moeten worden om aan de doelen te kunnen voldoen. Dit is gedaan door benodigde outputs en acties voor de verschillende outcomes te definiëren, vanuit een wetenschappelijk perspectief. Vervolgens zijn teams van onderzoekers gevormd om de verschillende outcomes en bijbehorende outputs en acties verder uit te werken.

De resultaten die zijn opgehaald in de verschillende consultaties staan in Bijlage 3.

2.3 Onderzoek naar het behalen van de outcomes

Op basis van de consultaties is een zestal outcomes gedefinieerd. Per outcome is er vervolgens onderzoek uitgevoerd naar de kennishiaten binnen de outcome. Dit is met name gedaan op basis van literatuuronderzoek en de resultaten uit de consultaties. Vervolgens zijn er verschillende outputs en daarbij horende acties vastgesteld door de onderzoekers om invulling te kunnen geven aan de outcome. De nadruk in deze acties ligt met name op het onderzoek. Echter is bijdrage van zowel beleid als praktijk essentieel om de acties ook daadwerkelijk te behalen.

3 Omgevingsanalyse

3.1 Beleidsanalyse

In het nationaal Klimaatakkoord uit 2018 is de doelstelling van 0,5 Mton extra CO₂ vastlegging in landbouwbodems in 2030 opgenomen, wat de basis is geweest voor de start van het Slim Landgebruik programma. Ondertussen is het nationale klimaatbeleid verder ontwikkeld en is de nationale reductiedoelstelling aangescherpt tot minstens 55% emissiereductie in 2030 t.o.v. 1990. In de brief van minister Jetten van april 2023, is er een de doelstelling omgevormd naar restemissies. Voor de landgebruikssector is deze restemissie vastgesteld op 1,8 Mton CO₂ in 2030 (Rijksoverheid, 2023). Op dit moment ligt er nog geen apart doel voor minerale landbouwbodems. Op dit moment wordt ook gewerkt aan het beleid voor na 2030. De Europese Commissie heeft onlangs een reductiedoelstelling van 90% in 2040 voorgesteld, maar hier zijn nog geen sectorale doelen over afgesproken en ook de verdeling van de opgave over de lidstaten is nog niet bekend. Echter, het einddoel van klimaatneutraal in 2050 is wel duidelijk, en het is ook duidelijk dat koolstofverwijdering (carbon removals) daar ook een rol in zullen spelen en dat extra koolstofvastlegging in landbouwbodems nodig zal zijn.

Subsidies volgend uit andere beleidsterreinen zullen zoveel mogelijk ook de klimaatdoelen meenemen. Voor de landbouw gaat het dan met name om aanpassingen van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB). In 2023 is bijvoorbeeld de Eco-regeling als onderdeel van het GLB ingevoerd, dit is een extra betaling boven op de basispremie, die bijdraagt aan het verbeteren van 5 doelen: biodiversiteit, bodem en lucht, klimaat, landschap en water. Onder de te kiezen eco-activiteiten (RVO, 2021) vallen verschillende maatregelen die kunnen bijdragen aan koolstofvastlegging. Ook regionaal zal er gewerkt worden aan het verbeteren van bodem, via de gebiedsprogramma's die in het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) (Rijksoverheid, n.b.) worden uitgewerkt.

Naast publieke financiering voor klimaatmitigatie, uit o.a. GLB, wordt er ingezet op private financiering voor koolstofvastlegging (Carbon Farming). Hiervoor is onlangs het EC voorstel voor een certificeringskader voor koolstofverwijdering goedgekeurd, waarin de regels op hoofdlijnen zijn vastgelegd. Dit wordt nu verder uitgewerkt in specifieke methodieken voor koolstofcertificering voor de verschillende Carbon Farming activiteiten. Dit betekent waarschijnlijk dat er een harmonisatieslag zal plaatsvinden van de bestaande methodieken, zoals in Nederland die van SNK. Dit zou ook kunnen aansluiten bij financiering voor regeneratieve landbouwpraktijken vanuit het bedrijfsleven.

Naast klimaatbeleid is er het Nationaal Programma Landbouwbodems (Kamerbrief, 20219) dat is gericht op een duurzaam beheer van alle agrarische grond in 2030. Hier is echter niet direct beleid aan gekoppeld, maar o.a. via herziening van het pachtbeleid, aanpassingen in het GLB, Eco-regeling en gebiedsprogramma's wordt bij gedragen aan dit doel. In de zomer van 2023 is door de EU de Richtlijn Bodemmonitoring en Bodemveerkracht gepresenteerd. Dit voorstel is nu nog in onderhandeling, maar moet uiteindelijk bijdragen aan het verbeteren en harmonisatie van de bodemmonitoring en duurzaam bodembeheer bevorderen.

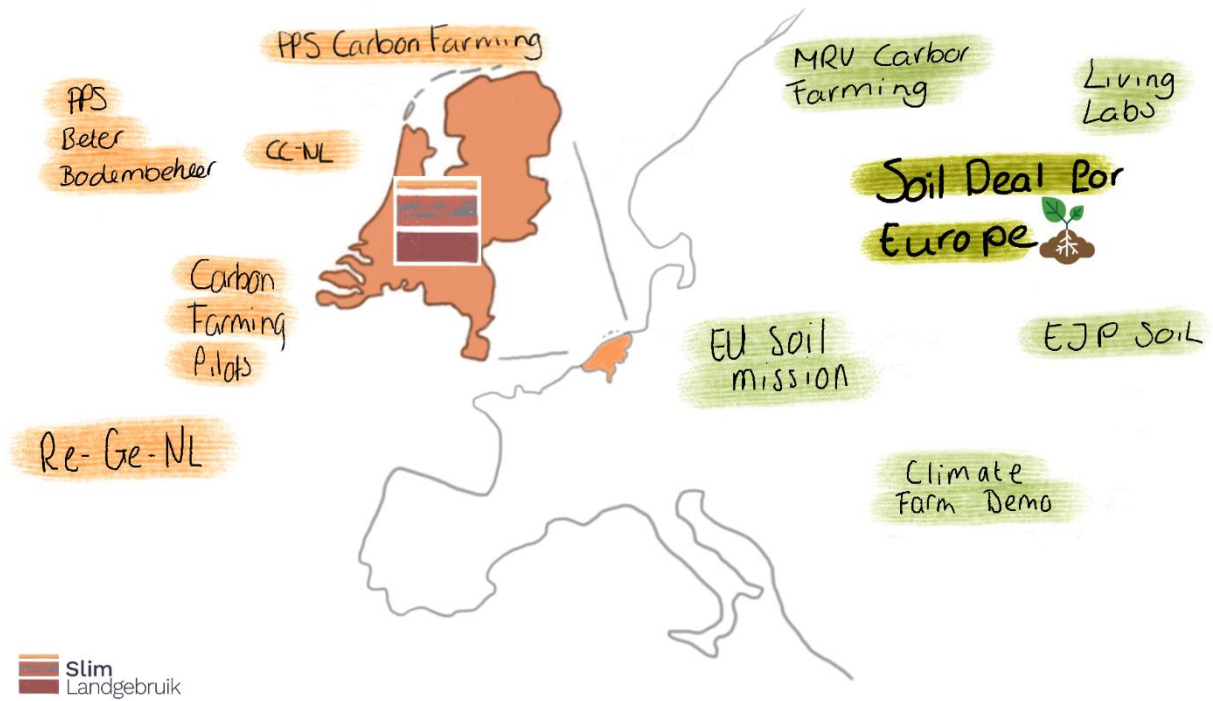
Daarnaast kan de Europese biodiversiteitsstrategie effect hebben op bodemkoolstof. In de EU-wet voor natuurherstel zijn bindende streefcijfers opgenomen die ervoor moeten zorgen dat 20% van de land- en zeegebieden in de EU in 2030 hersteld zijn, waarbij in eerste instantie de focus zal liggen op Natura-2000 gebieden. In 2050 moeten er maatregelen zijn genomen om alle ecosystemen te herstellen. Voor landbouwecosystemen dient de wet om de biodiversiteit in de landbouwecosystemen te verbeteren, met name door een toename van graslandvlinders en akker- en weidevogels. Daarnaast moeten EU-landen ook maatregelen nemen om 30% van de drooggelegde veengebieden te herstellen, de koolstofvoorraad in minerale bodems te verbeteren en landschapselementen aan te brengen (Europese Raad, 2024). Voor dit laatste aspect is ook het in 2022 gepresenteerde aanvalsplan landschapselementen (Samen voor Biodiversiteit, n.b.) van belang, waarin ambities, doelen en aanbevelingen worden gedaan voor een 10% groenblauwe dooradering van het landelijk gebied in 2050.

Het mestbeleid raakt sterk aan koolstofvastlegging en heeft duidelijke invloed op de mogelijkheden voor koolstofvastlegging in landbouwbodems. Met name maatregelen uit het 7^e actieprogramma Nitraatrichtlijn (Rijksoverheid, 2021) zijn van belang. Voor koolstofvastlegging. Het gaat dan met name om duurzame bouwplannen (meer rustgewassen en meer vanggewassen) en verruiming van de toepassing van organische stofrijke meststoffen. De uitzonderingspositie (derogatie) voor Nederlandse boeren om meer dierlijke mest te mogen uitrijden dan de 170 kg N/ha wordt vanaf 2023 in drie jaar afgebouwd. In de derogatiebeschikking zijn afspraken gemaakt over aanvullende voorwaarden, waaronder inpassen van vanggewassen in het bouwplan, het aanhouden van bufferstroken, het korten van de gebruiksnormen met 20% in nog aan te wijzen nutriënten-verontreinigde gebieden en een vermindering van de nationale stikstof- en fosfaatexcretie met 10% ten opzichte van 2020. Deze maatregelen zijn met name ingericht op het behalen van de doelen voortkomend uit de Kader Richtlijn Water. Voor koolstofvastlegging betekent dit voor grasland een lagere aanvoer van koolstof uit dierlijke mest en mogelijk ook risico op omzetting van grasland naar bouwland, aangezien de verplichting van minimaal 80% grasland bij derogatie ook gaat vervallen. Om de omzetting van grasland naar bouwland tegen te gaan is er recentelijk een subsidie beschikbaar gekomen die gebruikt kan worden door landbouwbedrijven die gebruikmaken van de derogatieregeling. Het doel van de subsidie is het aantrekkelijk maken van het behouden van het grasland en het opvangen van de extra kosten als gevolg van het vervallen van de derogatie (RVO, 2024).

Verschillende urgente opgaven komen bij elkaar in het Nationaal Programma Landelijk gebied (NPLG) (Kamerbrief, 2022). In het NPLG zijn opgaven en gebiedsplannen rond Stikstofreductie en Natuurverbetering verbreed naar integrale gebiedsprogramma's waar de klimaatopgave deel van uitmaakt. Het landelijk gebied zal de komende jaren flink moeten veranderen. Zo wordt de draagkracht van natuur, bodem- en watersysteem op veel plekken overschreden. Bovendien vraagt de klimaatopgave om een sterke daling van de broeikasgasemissies van landbouw en landgebruik. Met een integrale, gebiedsgerichte aanpak van deze problematiek wil het NPLG een betere balans bereiken tussen wat de natuur kan dragen en wat als samenleving wordt gevraagd: Een vitaal landelijk gebied, met een gezonde natuur, een robuust watersysteem, lage impact op het klimaat en met perspectief voor de landbouw. De noodzakelijke omslag zal in de tussenliggende periode een grote impact hebben op alle betrokkenen, en niet in de laatste plaats op (agrarisch) ondernemers.

3.2 Recent en huidig onderzoek

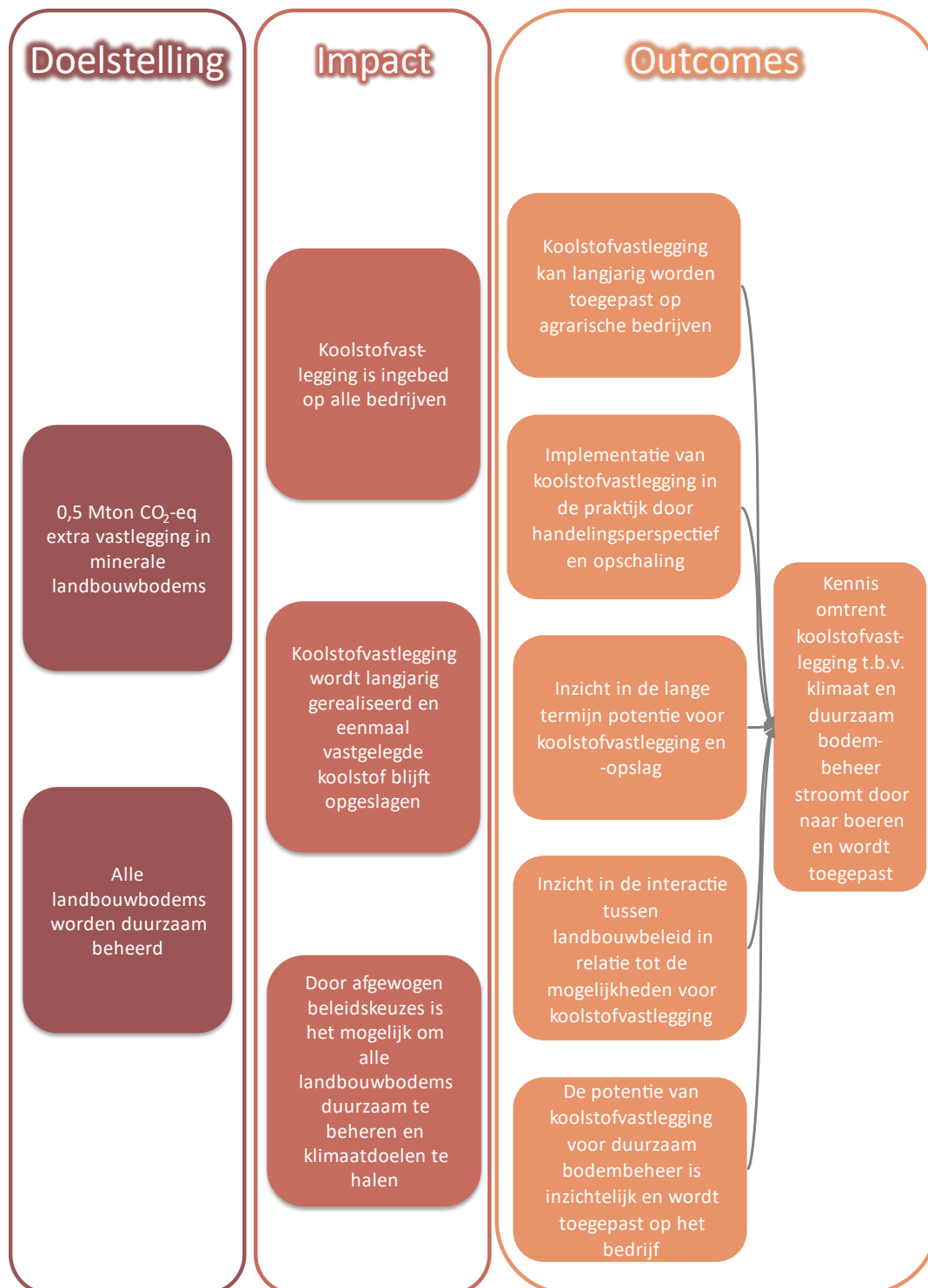
Voor een beter inzicht in de omgeving en de daaruit voortvloeiende kennishiaten, is een overzicht nodig van lopende en recent afgeronde projecten gerelateerd aan koolstofvastlegging in Nederland en Europa. Figuur 3 geeft een overzicht hiervan. Resultaten uit deze projecten zijn meegenomen bij het identificeren van kennishiaten en opgenomen in de zogenaamde Stand van zaken paragrafen in Hoofdstuk 5.



Figuur 3 Omgevingsanalyse van aanpalende projecten en trajecten m.b.t. onderzoek naar koolstofvastlegging in landbouwbodems.

4 Theory of Change

Door het opstellen van een Theory of Change is het mogelijk om inzichtelijk te maken welke activiteiten en gewenste veranderingen er moeten plaatsvinden om de beleidsdoelen voor bodem en klimaat in 2030 te behalen. Er is in de Theory of Change (ToC) onderscheid gemaakt in het einddoel, de impact, outcomes, outputs en acties. Figuur 4 toont de Theory of Change, waarbij het einddoel, de impact en de outcomes zijn opgenomen in samenhang. In Bijlage 1 is een complete ToC opgenomen.



Figuur 4 Theory of Change voor het behalen van de doelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer in Nederland voor 2030.

Eindoelen

De Theory of Change is ingericht op het behalen van twee beleidsdoelen, namelijk 1) vanaf 2030 wordt er jaarlijks 0,5 Mton CO₂-eq extra vastgelegd in de Nederlandse minerale landbouwbodems en 2) alle landbouwbodems worden vanaf 2030 duurzaam beheerd. Het eerste doel is geformuleerd in het Nederlandse Klimaatakkoord (2019), waarbij de landbouwsector heeft ingestemd met een bijdrage aan de klimaatdoelen middels koolstofvastlegging in de bodem. Het tweede doel is geformuleerd in het Nationaal Programma Landbouwbodems. Tevens sluit dit doel aan bij de Europese wensen, zoals vastgelegd in de Directive on Soil Monitoring and Resilience, met als doel het verbeteren van de bodemkwaliteit in Europa.

Impact 2030

De beoogde impact is een brede, duurzame verandering of het uiteindelijke resultaat op de lange termijn dat optreedt als gevolg van een reeks van outcomes van een programma. Het omvat de diepgaande en blijvende effecten op het leven van mensen en het milieu.

Er is een drietal impacts gedefinieerd welke bijdragen aan de klimaat en bodemdoelen voor 2030.

1. Koolstofvastlegging is ingebed op alle bedrijven Om de klimaatdoelen te bereiken is het belangrijk dat maatregelen op een zo groot mogelijke schaal worden toegepast. Hierbij is het tevens van belang dat de maatregelen correct worden toegepast, zodat deze ook tot het gewenste resultaat zullen leiden.
2. Koolstofvastlegging wordt langjarig gerealiseerd en eenmaal vastgelegde koolstof blijft opgeslagen Door koolstof vast te leggen in de bodem, neemt de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer af. Dit draagt bij aan klimaatmitigatie. Idealiter blijft deze koolstof langjarig in de bodem, anders komt deze opnieuw vrij in de atmosfeer als CO₂ en wordt het eerder behaalde klimaatmitigatie-effect opgeheven.
3. Door afgewogen beleidskeuzes is het mogelijk om alle landbouwbodems duurzaam te beheren en klimaatdoelen te halen Er zijn vele beleidsdossiers die een impact hebben op de bodem, elk opgesteld vanuit een andere probleemstelling. Om uiteindelijk tot duurzaam beheerde bodems te komen die jaarlijks extra koolstof opslaan, moeten alle beleidsmaatregelen met impact op de bodem zorgvuldig overwogen worden. Er moeten weloverwogen keuzes gemaakt worden om de juiste maatregelen op de juiste locatie met het gewenste effect te implementeren.

Outcomes

Een outcome is een meetbare verandering of verbetering in kennis, vaardigheden of gedrag die direct voortvloeit uit de outputs van een programma. Het vertegenwoordigt een stap in de richting van de uiteindelijke impact die men wil bereiken.

Er is een zestal outcomes gedefinieerd:

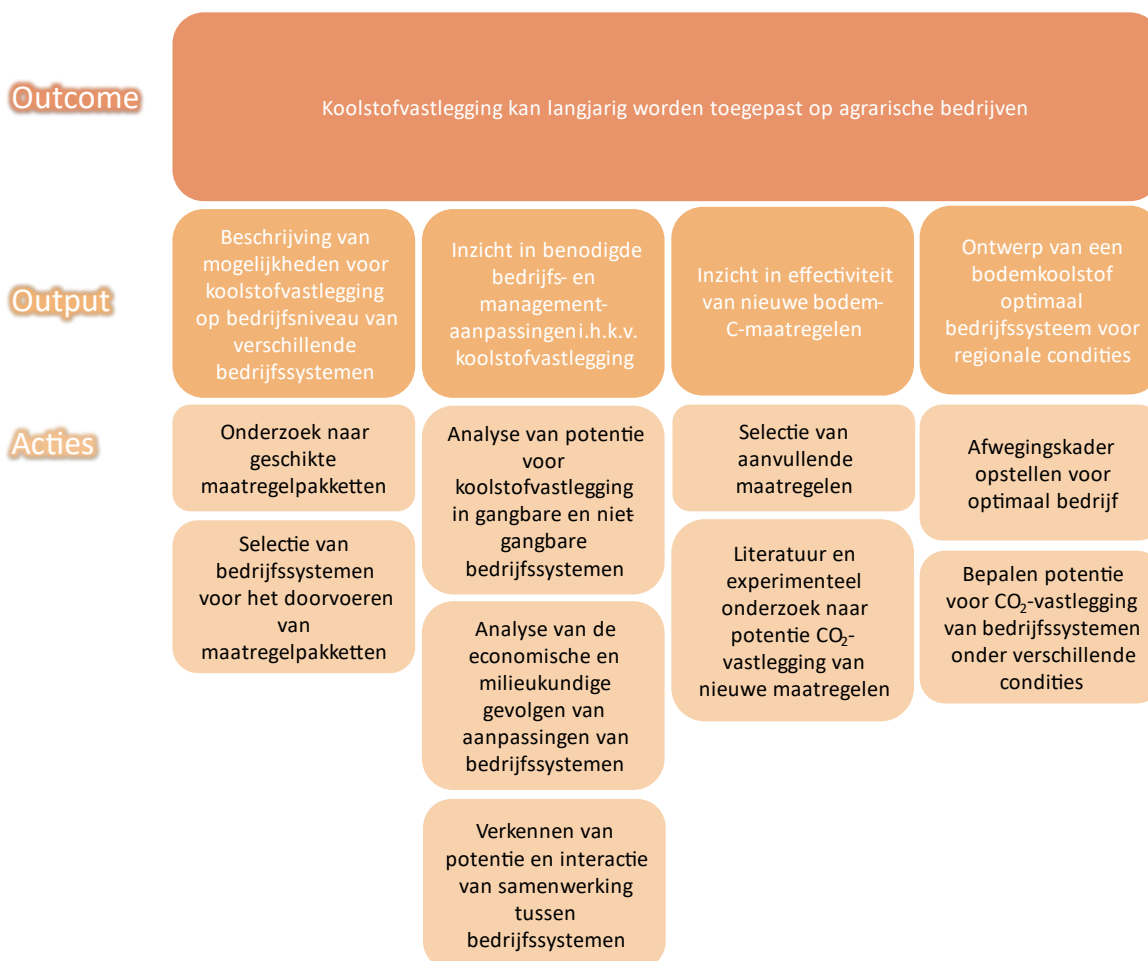
1. Koolstofvastlegging kan langjarig worden toegepast op agrarische bedrijven
2. Implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk door handelingsperspectief en opschaling
3. Inzicht in de lange termijn potentie voor koolstofvastlegging en -opslag
4. Inzicht in de interactie tussen landbouwbeleid in relatie tot de mogelijkheden voor koolstofvastlegging
5. De potentie van koolstofvastlegging voor duurzaam bodembeheer is inzichtelijk en wordt toegepast op het bedrijf
6. Kennis omtrent koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer stroomt door naar boeren en wordt toegepast

De beschrijving van deze outcomes is te lezen in Hoofdstuk 5. Hier worden per outcome ook de outputs en acties beschreven.

5 Outcomes voor klimaatdoelen en duurzaam bodembeheer

Zoals benoemd in Hoofdstuk 4 zijn er zes outcomes geïdentificeerd. In dit hoofdstuk wordt per outcome een beschrijving gegeven met daarin de aanleiding voor de betreffende outcome, een beschrijving van hetgeen we verstaan onder de outcome, de stand van zaken wat betreft de huidige kennis over de outcome, de kennishiaten (deze volgen uit het onderzoek naar de stand van zaken), en een beschrijving van de output en acties om de outcome te kunnen realiseren. De outcomebeschrijving dient als invulling van de Theory of Change en de roadmap.

5.1 Outcome 1: Koolstofvastlegging kan langjarig worden toegepast op agrarische bedrijven



Figuur 5 Uitwerking van de Theory of Change voor Outcome 1. Een beschrijving van de outcome en de bijbehorende outputs en acties wordt in dit hoofdstuk gegeven.

5.1.1 Aanleiding

Een agrarisch ondernemer is geïnteresseerd in het handelingsperspectief voor koolstofvastlegging op zijn bedrijf, en hoe hij/zij zijn bouwplan zodanig kan vormgeven dat er langjarig koolstof in de bodem wordt opgeslagen. Maar voor verschillende bedrijfssystemen zijn er ook in bredere context maatschappelijke en milieukundige doelstellingen. Op de bedrijven zelf komen deze allemaal bij elkaar. Hoe kunnen bedrijven worden ingericht om bij te dragen aan koolstofvastlegging?

Agrariërs kunnen via de implementatie van een bepaald bedrijfssysteem met bijbehorende maatregelen sturen op vastlegging van bodemkoolstof en integrale bodemkwaliteit. Om implementatie van maatregelen te stimuleren, is inzicht nodig hoe maatregelen in te passen zijn op het bedrijf. Ook inzicht welk bedrijfssysteem maximaal kan bijdragen aan bodemkoolstof, kan helpen de implementatie in de praktijk te vergroten.

5.1.2 Beschrijving van de outcome

Om vanuit de verschillende bedrijfssystemen handen en voeten te geven aan wat er mogelijk is, omvat deze outcome:

1. Een systeem voor koolstofvastlegging waarin maatregelen (inclusief eventuele nieuwe maatregelen) voor koolstofvastlegging zijn geïntegreerd in het langjarig bedrijfsmanagement. Deze maatregelen zijn onderling afgestemd en houden rekening met andere relevante beleidsmaatregelen, zoals bemestingsnormen, N-efficiëntie, het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) en de ecoregeling. Hiermee verkrijgen we tevens inzicht in op welke plaatsen en onder welke condities het handelingsperspectief voor koolstofvastlegging het best is.
2. Inzicht in de effecten van mogelijk nieuwe C-maatregelen op bodemkoolstof. Dit zijn maatregelen die tot nu toe nog niet of beperkt zijn meegenomen binnen Slim Landgebruik. Denk hierbij bijvoorbeeld aan cultivarkeuze, biochar, en meerjarige gewassen zoals miscanthus etc.
3. Inzicht in de randvoorwaarden (hoe ziet een (combinatie van) maatregelen er precies uit, hoe past dit langjarig in een bedrijfssysteem, en hoe combineert dit met andere maatregelen?).
4. Een ontwerp voor optimale systemen voor koolstofvastlegging: bedrijfssystemen waarin optimale koolstofvastlegging in de bodem plaatsvindt – met in achtneming van impact op overige bodem-ecosysteemdiensten. Dit is ambitieuzer dan punt 1, omdat hier nadrukkelijk een bedrijf wordt ontworpen dat een zo groot mogelijke bijdrage kan leveren aan koolstofvastlegging, met inachtneming van de overige beleidsopgaven.

5.1.3 Stand van zaken

Binnen Slim Landgebruik zijn er een drietal rapporten verschenen met betrekking tot de relatie tussen bedrijfssystemen, de inpasbaarheid van maatregelen en bodemkoolstof. Timmermans et al. (2022) hebben een tweetal maatregelenpakketten (te weten (1) groenbemester optimalisatie en maximaal gewasresten achterlaten, (2) aangevuld met bouwplanverruiming) voor de akkerbouw opgesteld en de effecten hiervan op bodem-C in beeld gebracht binnen bouwplannen voor verschillende regio's te weten Noordelijke Zeeklei, Centrale Zeeklei Flevoland, Noordoost Polder, Noordoostelijke Zand en Dalgronden, Zuidoostelijke Zand, en Zuidwestelijke Zeeklei. Voor de melkveehouderij zijn combinaties van maatregelen leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-gras doorgerekend voor een typisch zandbedrijf en een typisch kleibedrijf.

In de studies van Timmermans et al. (2022) en Verstand et al. (2022) is voor een aantal combinaties van maatregelen bepaald wat de effecten zijn op additionele koolstofvastlegging en welke kosten dit met zich meebrengt, voor verschillende regio's. Bij het vaststellen van een combinatie van maatregelen is rekening gehouden met de relevantie en toepasbaarheid van de maatregelen op de grondsoorten in de specifieke regio's. Voor de melkveehouderij zijn dezelfde referentiebedrijven gehanteerd en voor de akkerbouw zijn dezelfde bouwplannen geanalyseerd als beschreven door Timmermans et al. (2022).

In 2024 verschijnt binnen Slim Landgebruik een rapportage over de lange termijn kosten en baten van bodemkoolstofmaatregelen. Dit zal naar verwachting belangrijke input zijn voor het onderdeel 'bedrijfssystemen'. Daarnaast zijn er buiten Slim Landgebruik de verschillende studies uitgevoerd naar bedrijfssystemen, en de relatie tussen bedrijfssystemen en bodemkoolstof:

Schils et al. (2023) heeft voor 9 melkveebedrijven de jaarlijkse verandering in bodemkoolstof gesimuleerd met RothC. De omzetting van tijdelijk grasland naar blijvend grasland had een groot effect op bodemkoolstofopslag. Andere maatregelen, zoals vanggewassen, compost, en verhoging van de leeftijd van permanent grasland hadden matige effecten. Hieruit werd geconcludeerd dat het aandeel grasland de sleutelfactor is voor koolstofvastlegging op melkveebedrijven. De effecten verschilden sterk tussen bedrijven als gevolg van verschillen in grondsoort, landgebruik en management. Deze kennis kan worden meegenomen in deze outcome als wordt gekeken naar de verschillende bedrijfssystemen in de melkveehouderij.

Met behulp van het model NDICEA hebben Timmermans et al. (2023) gekeken naar de samenhang tussen OS-, P- en N-balansen binnen systeemproeven om te kunnen werken aan een integrale optimalisatie van de drie balansen. De resultaten lieten zien dat een balans moet worden gezocht tussen interne en externe aanvoer (zoals compost) van organische stof. Bij te veel focus op interne maatregelen dreigen hoge kosten en op lange termijn een achteruitgang van bodemvruchtbaarheid. Maar bij te veel focus op externe maatregelen dreigen verliezen van N en P en onevenwichtige ophoping van enkele andere nutriënten. Deze kennis zal worden meegenomen bij de stap naar het optimaliseren van bedrijfssystemen.

Het onderzoek van Jongeneel et al. (2024) heeft onderzoek gedaan naar duurzamere bedrijfsmodellen. Hierbij zijn 10 melkveehouderijbedrijfssystemen (op zand, klei, veen, extensief en intensief, klein, groot, gangbaar en biologisch) en 5 akkerbouwbedrijfstypen (op zand en klei, met verschillen in bouwplan) geïdentificeerd. Deze indeling kan als inspiratie dienen voor de te onderscheiden bedrijfssystemen binnen deze outcome.

Naast deze Nederlandse studies zijn er ook vele internationale onderzoeken. Deze zullen echter minder aansluiten bij de Nederlandse bedrijfssystemen en klimatologische en bedrijfseconomische omstandigheden.

5.1.4 Kennishiaten

De volgende kennishiaten worden binnen dit onderzoek gedacht:

- Hoe kunnen koolstofmaatregelen worden ingebed en toegepast in een langjarig systeem op bedrijfsniveau?
- Hoe kan er inzicht worden verkregen in de benodigde bedrijfs- en managementaanpassingen en de effectiviteit hiervan voor koolstofvastlegging, toegepast binnen verschillende bestaande bedrijfssystemen, inclusief zicht op kosten en (maatschappelijke) baten?
- Wat is het effect van nieuwe maatregelen op de bodemkoolstofvoorraad?
- Onder welke condities en waar kunnen koolstofvastleggende maatregelen het beste worden toegepast?
- Hoe kan een langjarig systeem voor koolstofvastlegging worden afgestemd op andere doelen en maatschappelijke opgaven waar een bedrijf mee te maken heeft?

5.1.5 Outputs

De volgende outputs zijn nodig (2024-2030) om invulling te kunnen geven aan de outcome:

Output 1: Beschrijving van mogelijkheden voor koolstofvastlegging op bedrijfsniveau van verschillende bedrijfssystemen

Een beschrijving van langjarige systemen voor koolstofvastlegging binnen verschillende bedrijfssystemen (voor akkerbouw en melkveehouderij, gangbaar en nichebedrijven) uitgewerkt naar verschillende regio's en verschillende condities. De effecten van koolstofmaatregelen verschillen tussen bedrijfssystemen. Om hier meer duidelijkheid over

te verkrijgen, is een heldere onderverdeling van akkerbouw- en melkveehouderijbedrijven naar verschillende systemen van belang.

Output 2: Inzicht in benodigde bedrijfs- en managementaanpassingen i.h.k.v. koolstofvastlegging

Inzicht in benodigde bedrijfs- en managementaanpassingen en de effectiviteit voor koolstofvastlegging hiervan toegepast binnen verschillende bestaande bedrijfssystemen en de bedrijfseconomische consequenties van deze aangepaste bedrijfssystemen. Tot nu toe is binnen Slim Landgebruik in beeld gebracht wat de effecten en kosten van individuele maatregelen zijn. Een vertaling is nodig van het maatregelniveau naar bedrijfsaanpassingen, met daarbij aandacht voor de gevolgen hiervan voor de gehele bedrijfsvoering en voor de koolstofvastlegging binnen het bedrijf, de economische consequenties voor de verschillende bedrijfssystemen en de relatie tussen koolstof en stikstof op het bedrijf.

Output 3: Inzicht in effectiviteit van nieuwe bodem-C-maatregelen

Effect van nieuwe maatregelen op bodemkoolstof. Dit kunnen meer of minder ingrijpende maatregelen zijn, op perceelsniveau of op bedrijfsniveau. Mogelijk zijn er nieuwe teelten, of slimme cultivarkeuzes binnen bestaande teelten, etc. die mogelijkheden bieden voor het vastleggen van bodemkoolstof en die tot op heden binnen Slim Landgebruik buiten beeld zijn gebleven.

Output 4: Ontwerp van een bodemkoolstof optimaal bedrijfssysteem voor regionale condities

Bepaling van de beste condities voor koolstofvastlegging en een beschrijving van verdergaande, optimalere bedrijfssystemen, beoordeeld vanuit bodemkoolstof (voor akkerbouw en melkveehouderij), tevens rekening houdend met ander doelen en maatschappelijke opgaven waar het bedrijf mee te maken heeft. De kennis over bodemkoolstof en de mogelijkheden binnen verschillende bedrijfssystemen kan worden gebruikt om verdergaande bedrijfssystemen te definiëren die mogelijk structurele aanpassingen in de bedrijfsvoering vragen waardoor structureel meer bodemkoolstof kan worden vastgelegd.

5.1.6 Acties

Per output zijn de volgende acties vastgesteld:

Output 1: Beschrijving van mogelijkheden voor koolstofvastlegging op bedrijfsniveau van verschillende bedrijfssystemen.

- Actie 1.1. Bepaling van mogelijkheden voor vastlegging van bodemkoolstof op bedrijfsniveau, integraal bekeken vanuit verschillend (toekomstig) beleid gerelateerd aan bodembeheer. Op basis van ervaringen in de praktijk zullen potentieel kansrijke maatregelpakketten worden opgesteld. Er worden praktisch bruikbare maatregelpakketten geformuleerd voor langjarige toepassing.
- Actie 1.2. Selectie / definitie van te onderscheiden huidige bedrijfssystemen die deze aanpassingen kunnen doorvoeren.

Output 2: Inzicht in benodigde bedrijfs- en managementaanpassingen i.h.k.v. koolstofvastlegging

- Actie 2.1. Nadere analyse van de gevolgen van aanpassingen van bedrijfssystemen voor de melkveehouderij. Dit bestaat uit de volgende deelacties:
 - 2.1.a. Inventarisatie welke informatie uit al lopende melkveehouderijprojecten en systemen kan worden gebruikt om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen reguliere bedrijfssystemen en koolstofvastlegging. Mogelijke informatiebronnen zijn bijvoorbeeld de Kringloopwijzer (KLW) en het project Koeien en Kansen.
 - 2.1.b. Modelmatige kwantificering van koolstofvastlegging per aangepast bedrijfssysteem
 - 2.1.c. Kwalitatieve analyse van de te verwachten effecten van de verschillende bedrijfssystemen op andere beleids- en milieudoelen, waaronder nitraat, fosfaat en ammoniak. Onderdeel hiervan is de analyse hoe het C- en N-management binnen een bedrijfssysteem zich tot elkaar verhoudt.
 - 2.1.d. Bedrijfseconomische aspecten worden per bedrijfssysteem voor de melkveehouderij modelmatig in beeld gebracht.

- Actie 2.2. Nadere analyse van de gevolgen van aanpassingen van bedrijfssystemen voor de akkerbouw. Dit bestaat uit de volgende deelacties:
 - 2.2.a. Modelmatige kwantificering van koolstofvastlegging per aangepast bedrijfssysteem.
 - 2.2.b. Bedrijfseconomische effecten per aangepast bedrijfssysteem voor de akkerbouw worden in beeld gebracht.
 - 2.2.c. Inventarisatie welke informatie uit al lopende akkerbouwprojecten kan worden gebruikt om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen reguliere bedrijfssystemen en koolstofvastlegging.
- Actie 2.3. Nadere analyse van (mogelijkheden voor) koolstofvastlegging binnen niche bedrijven, waaronder biologische bedrijven. Mogelijkheden verkennen om data uit andere projecten te gebruiken, in combinatie met een nieuwe meting om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van bodemkoolstof in de tijd in relatie tot de gehanteerde bedrijfsvoering.
- Actie 2.4. Interactie en samenwerking tussen bedrijfssystemen. In bovengenoemde acties worden akkerbouw- en melkveebedrijven onafhankelijk van elkaar beoordeeld. Door modelmatig de situatie in een bepaalde regio als geheel door te rekenen (bestaande uit zowel melkvee- als akkerbouwbedrijven) kan inzicht worden verkregen wat samenwerking (inclusief grondruil) betekent voor de bodemkoolstofvastlegging.

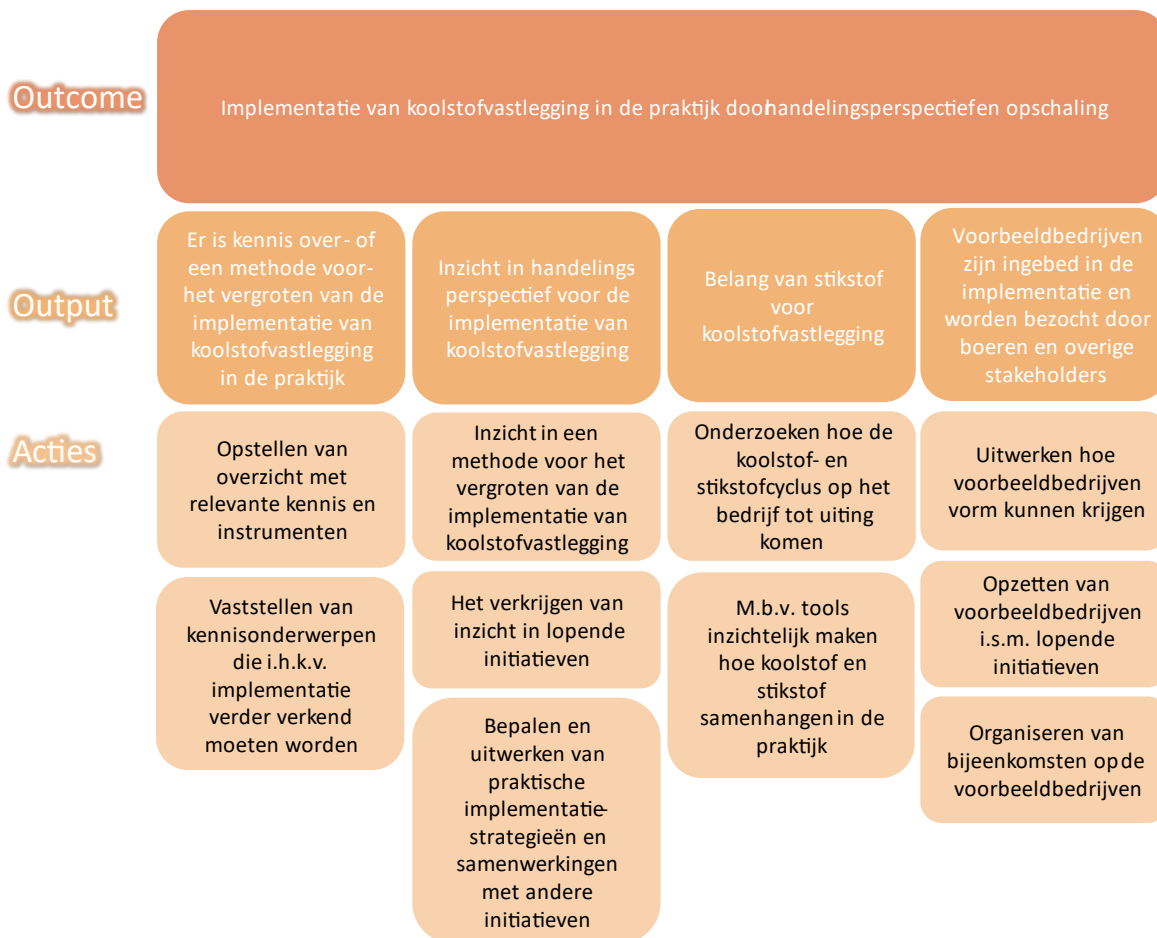
Output 3: Inzicht in effectiviteit van nieuwe bodem-C-maatregelen

- Actie 3.1. Selectie van nieuwe maatregelen die nog niet zijn onderzocht, maar mogelijk kunnen bijdragen aan koolstofvastlegging. Hierbij kan worden gedacht aan maatregelen als nieuwe teelten (bijv. Miscanthus), biochar en de (on)mogelijkheden van slimme cultivarkeuze binnen een bepaalde teelt (met bijv. extra wortelgroei).
- Actie 3.2. Literatuuronderzoek naar de potentie voor koolstofvastlegging van deze maatregelen
- Actie 3.3. Als geen of onvoldoende informatie beschikbaar is, wordt nagegaan of kennis kan worden gehaald uit al lopende proeven op deze thema's (lange termijn experimenten). Omdat effecten op bodemkoolstof pas na vele jaren zichtbaar zijn, moet kritisch worden beoordeeld of het opzetten van nieuwe experimenten (met resultaten voor 2030) haalbaar en realistisch is.

Output 4: Ontwerp van een voor bodemkoolstof optimaal bedrijfssysteem voor regionale condities

- Actie 4.1. Afwegingskader om te komen tot een bedrijfsvoering met optimale vastlegging van bodemkoolstof. Zowel voor de akkerbouw als voor de melkveehouderij worden maatregelpakketten/bedrijfssystemen gedefinieerd die structurele wijzigingen in de bedrijfsvoering vragen, en daardoor meer bij kunnen dragen aan bodemkoolstof (en duurzaam bodembeheer) dan de huidige bedrijfssystemen. Om te bepalen wat 'optimaal' is, zal gestart worden met het opstellen van een afwegingskader.
- Actie 4.2. Inzicht op welke plaatsen en onder welke omstandigheden maatregelen het best kunnen worden toegepast.
- Actie 4.2. Afstemming met de praktijk over toepasbaarheid van deze maatregelpakketten om haalbaarheid na te gaan. Dit onderdeel zal in samenwerking met de Outcome 2 worden opgepakt.
- Actie 4.3. Doorrekenen van de geselecteerde maatregelpakketten; wat betekent dit voor koolstofvastlegging? Daarnaast zullen metingen op verschillende voorbeeldbedrijven die reeds aan de gang zijn met maatregel(pakket)en (zie Outcome 2) naar o.a. bodemkoolstof bijdragen aan het onderbouwen van de modelresultaten.

5.2 Outcome 2: Implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk door handelingsperspectief en opschaling



Figuur 6 Uitwerking van de Theory of Change voor Outcome 2. Een beschrijving van de outcome en de bijbehorende outputs en acties wordt in dit hoofdstuk gegeven.

5.2.1 Aanleiding

Koolstofvastlegging kan technisch mogelijk zijn, maar het is wel nodig dat dit dan ook in de agrarische praktijk wordt opgepakt. In deze outcome wordt verkend hoe toepassing van koolstofvastlegging in de praktijk geïmplementeerd kan worden. Uiteindelijk moet in de praktijk de extra koolstof worden vastgelegd en samengaan met duurzaam bodembeheer. Naast validatie, technische ontwikkeling en modellering van (gecombineerde) maatregelen is het belangrijk om kennis en inzichten m.b.t. toepassing in de bedrijfsvoering dusdanig te richten opdat de impact op de klimaat- en bodemdoelen zo groot mogelijk is. Hierbij hoort ook het meenemen van bodemtype of specifieke regionale context. Rond praktijkinteractie c.q. implementatie is er de afgelopen decennia veel ervaring opgedaan met het werken met boeren en stakeholders. Toch blijkt een effectieve aanpak om het implementeren van maatregelen te promoten lastig te zijn en is het waardevol hier aandacht aan te besteden.

5.2.2 Beschrijving van de outcome

Om er voor te zorgen dat boeren daadwerkelijk overgaan tot het nemen van maatregelen om extra koolstof vast te leggen in de bodem, hebben zij handelingsperspectief nodig. Duurzaam bodembeheer en het onderhouden van een optimaal organische stofgehalte (koolstof) zijn integraal met elkaar verbonden. M.b.t. deze doelen begint handelingsperspectief met het voorhanden zijn van maatregelen die onderbouwd (gevalideerd) zijn en aansluiten op

de bedrijfsvoering. Slim Landgebruik heeft hier een goede basis voor gelegd o.a. door validatie van maatregelen, toepassing van maatregelen in netwerken en modellering in een praktijktool. Om tot bredere toepassing in de praktijk te komen moet een duidelijker beeld verkregen worden van:

- a) wat hebben boeren nodig om daadwerkelijk tot het nemen van maatregelen over te gaan?
- b) wat zijn de financiële consequenties van de implementatie van maatregelen (kosten/baten) en is er een passend verdienmodel beschikbaar?
- c) welke partijen kunnen bijdragen om de implementatie in de praktijk te vergroten?

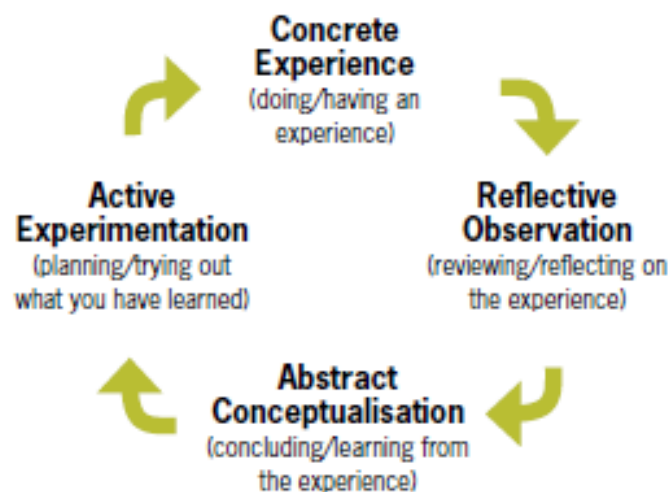
Deze outcome is met name gericht op het bereiken van boeren met kennis om te komen tot koolstofvastlegging en ondersteuning te bieden dit zo goed mogelijk in hun bedrijfsvoering in te bouwen. We gaan hier niet in op het ontwikkelen van technische en theoretische kennis, dit wordt meegenomen in Outcome 1. De uiteindelijke doorstroming van opgedane kennis wordt besproken in Outcome 6. Afstemming met deze outcomes is belangrijk.

5.2.3 Stand van zaken

Koopmans & Wijnands (2011) verwijzen naar 'ervaringsgericht' of 'actiegericht' leren volgens het model van Kolb & Fry (1975) (Figuur 7).

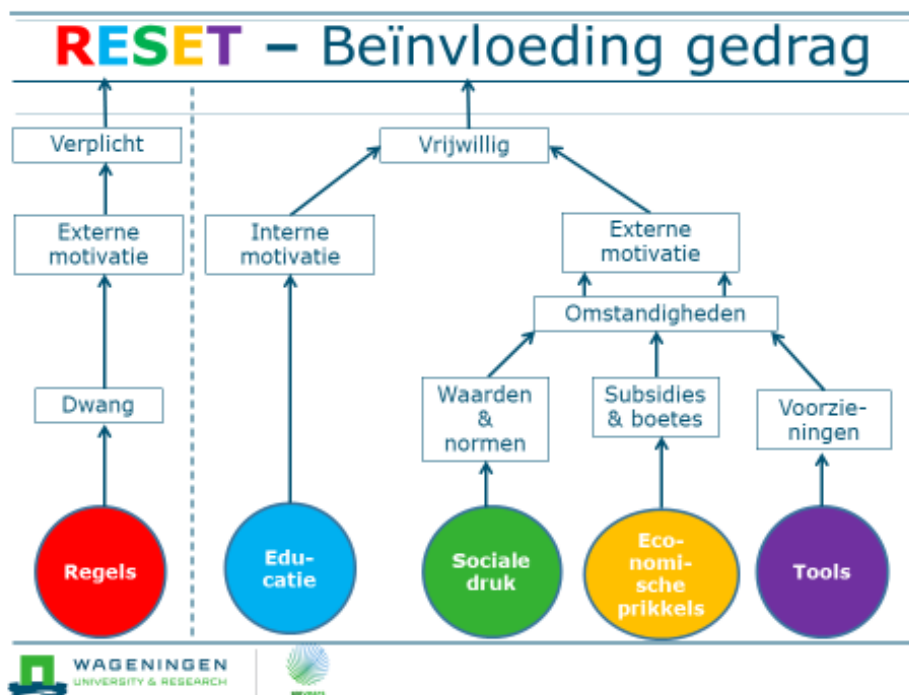
De uitgangspunten van het model van Kolb & Fry (1975) zijn:

- leren gaat beter door problemen zelf op te lossen in plaats van oplossingen (van anderen) toe te passen;
- alle vier stappen zijn essentieel voor een effectief leerproces. Er kan geen stap overgeslagen worden of minder aandacht krijgen;
- het komt maar zelden voor dat alle vier stappen in één persoon evenwichtig bij elkaar komen en daarom stelt Kolb dat leren, onderzoeken en ontwikkelen in groepen effectiever en bewuster gaat dan individueel. De kans is groter dat alle vier stappen aan bod komen in groepen dan bij individuen.



Figuur 7 De ontwikkelingspiraal van Kolb & Fry (1975).

Het RESET-model (o.a. Jansen et al. 2012) geeft verschillende wegen tot beïnvloeding weer. Er zijn 5 basis routes. Deze lopen via Regels, Educatie, Sociale druk, Economische Prikkel en Tools (Figuur 8).



Figuur 8 RESET-model (Jansen et al., 2012).

Lessen uit de netwerken Slim Landgebruik 2018-2023

In een 8-tal netwerken is in Slim Landgebruik (2018-2023) gewerkt aan de implementatie van koolstof-vastleggende maatregelen in de akkerbouw en veehouderij. Centraal onderdeel hierin waren geselecteerde percelen waarop deelnemers maatregelen wel of niet toepasten. Deze percelen werden extensief gemonitord (voortgangsgesprek, management data). Ook werden bodemkoolstof en BLN-indicatoren gemeten (Hoogmoed et al., 2023). In 2023 zijn met deelnemers van de netwerken individuele evaluatiegesprekken gevoerd (Wagenaar et al., 2024). Hierin kwam naar voren dat akkerbouwers doorgaans een andere reflectie op koolstofvastlegging hadden dan veehouders. Omdat het onderhouden van bodemorganische stof essentieel is voor een rendabele productie, zijn akkerbouwers veel bezig met bodemkwaliteit en organische stof. Vanwege hoge grondprijzen leidt het inpassen van maatregelen, bv. een *hoger aandeel rustgewassen*, tot een ongunstiger bedrijfsresultaat. Deelname aan Slim Landgebruik heeft voor akkerbouwers niet per se geleid tot het toepassen van extra maatregelen. Ook gaven akkerbouwers aan dat het effect van het combineren van maatregelen nog onduidelijk is, terwijl dit juist relevant lijkt te zijn. Voor veehouders pasten koolstofvastleggende maatregelen goed in het verlengde van de huidige bedrijfsvoering. Veehouders vonden het uitstellen van graslandvernieuwing (= *verhogen leeftijd grasland*) op zich goed uitvoerbaar. Kanttekening was dat droge zomers resulteerden in achteruitgang van de graszode op zand. Een aantal veehouders gaf aan dat Slim Landgebruik heeft bijgedragen aan structurele wijzigingen in de bedrijfsvoering. Zo hebben ze, i.v.m. droogteresistentie, naast het proefperceel van Slim Landgebruik, extra percelen ingezaaid met *productief kruidenrijk grasland*. De toegepaste maatregelen in de veehouderij leverden een gelijk of beter bedrijfsresultaat op. Melkveehouders zijn kien op vervolgmetingen van de bodemorganische stof: zij willen bevestiging zien dat de maatregelen die ze genomen hebben ook op termijn resulteren in een meetbaar verschil.

De vraag is of er in de bereidheid tot toepassing in de praktijk in de netwerken van Slim Landgebruik een algemene (landelijke) lijn te herkennen is of dat regionale aspecten belangrijker waren? Uit de evaluatie kwam naar voren kwam dat regionaal werken van belang is voor de herkenbaarheid m.b.t. regio, bodemsoort, sector, menstype, etc. Een akkerbouwer in Groningen zal niet snel een voorbeeld zien in een akkerbouwer in Zeeland, ook al zijn overeenkomsten vaak groter dan verschillen. Aan de andere kant gaven deelnemers aan best een demonstratie op afstand te willen

bezoeken, als die maar relevant en kwalitatief van niveau was. Kortom: regionaal over specifieke aspecten van een maatregel communiceren, maar tegelijkertijd overeenkomsten voor een maatregel benoemen die voor alle regio's gelden.

Een belangrijke vaststelling van de evaluatie was dat de kwaliteit van de begeleiding en aangereikte informatie belangrijk zijn. Maar ook erkenning voor deelname (door bv. een symbolisch deelnemersvergoeding) werd gewaardeerd.

In Slim landgebruik (2018-2023) is een start gemaakt met het realiseren van voorbeeldbedrijven. Deze zijn onder andere vanwege corona nooit echt goed tot stand gekomen. Deze bedrijven bieden de mogelijkheid om relevante en kwalitatief goede casussen/demo's te ontwikkelen.

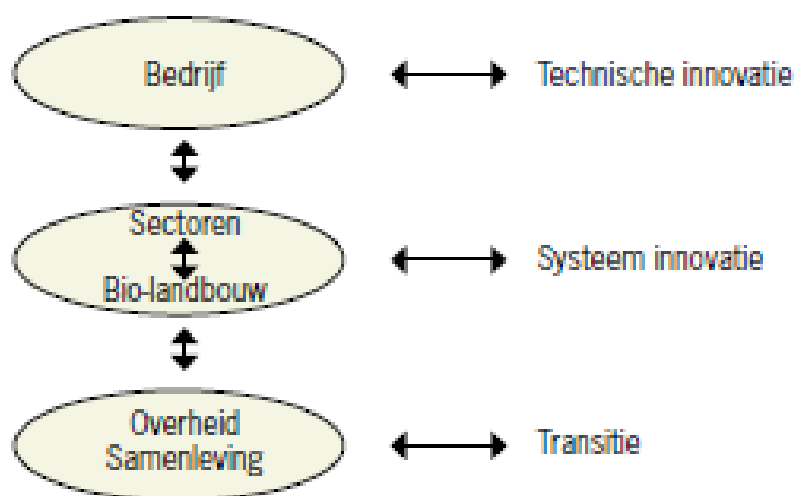
Aanpalende projecten en trajecten

Om de gestelde klimaatdoelen te realiseren is opschaling nodig. Omdat opschaling niet altijd succesvol verloopt, wordt wel gesproken van de 'pilot-paradox', waarbij geldt: 'pilot top – opschaling flop'. Van Dongen (2021) onderzocht binnen het project KLIMAP 'condities voor intern- en extern succesvolle klimaatadaptatie pilots op de Nederlandse hoge zandgronden'. Hieruit kwam naar voren dat pilots die autonoom kunnen opereren, en waarin intern connectieve en leidende kartrekkers aanwezig zijn en waarbij het projectontwerp kleinschalig en strikt afgebakend georganiseerd is, meer kans hebben op het bereiken van de gewenste innovatie (met andere woorden: condities voor intern succes). M.b.t. opschaling van pilots die verbonden zijn aan een regionale of landelijke initiatieven of organisaties kwam naar voren dat de combinatie tussen een pilot die sterk verbonden is aan een dergelijke organisaties een projectontwerp heeft dat gefocust is op het verkrijgen van representatieve en generaliseerbare resultaten en de aanwezigheid van een reguliere distributie van middelen gericht op efficiëntie bijdraagt aan de opschalingpotentie. Daarnaast bleek dat het procesontwerp van de pilots in zekere mate gefocust moet zijn op het identificeren van de bredere opschalingsmogelijkheden binnen het initiatief of organisatie waarbij een pilot aangesloten is om tot succesvolle opschaling te komen (wat andere woorden: interne opschaling). Tot slot bleek dat een combinatie van een projectontwerp gericht op het verkrijgen van extern representatieve en generaliseerbare resultaten en een procesontwerp dat gefocust is op het identificeren van mogelijke toekomstige toepassingsgebieden samen bijdragen aan de opschalingskans van de pilots richting andere organisaties en nieuwe contexten (met andere woorden: externe opschaling). Dit betekent dat er dus enerzijds een voorwaarde zit aan de resultaten van de pilot: ze moeten representatief zijn voor de complexiteit van het probleem om te dienen als object van opschaling. Dit wordt gecombineerd met de voorwaarde dat, tijdens de pilot, de mogelijke nieuwe contexten en toepassingsgebieden moeten worden geïdentificeerd. Dit kan bijvoorbeeld door een strategisch opschalingsplan te maken voorafgaand aan de pilot.

Het EU-project Climate Farm Demo (2022-2029) is een demo-project dat in verschillende EU-landen op bedrijfsniveau werkt aan maatregelen om koolstof vast te leggen. Daarnaast verkent het de geschiktheid van tools om de eventuele impact effectief te meten. In projecten waar met praktijkbedrijven aan implementatie en opschaling wordt gewerkt, is het waardevol bewust te zijn van de verschillende 'paden van beïnvloeding'. Boeren leren het makkelijkst van een collega-bedrijf (sparringpartner, 'vreemde ogen'). Ook belangrijk is om je bewust te zijn – en expliciet te maken in het proces – wat de reden is dat boeren in bv. een netwerk bij elkaar gaan zitten. Dit kan op dezelfde thematiek per netwerk en regio verschillen. Ook is het goed om bewust te kiezen voor de benadering: zet je in op het ontrafelen van de problematiek of biedt het oplossingspad de beste kansen om ondernemers in beweging te krijgen. In het geval van koolstofvastlegging zijn andere positieve effecten van een hoger organische stofgehalte zoals het tegengaan van verdroging c.q. waterbuffering en bodemvruchtbaarheid mogelijk een indirecte, effectieve aanleiding tot actie (Schoorlemmer, persoonlijke communicatie).

Uit het RESET model wordt duidelijk dat educatie en sociale druk beiden een impuls geven voor het aanzetten tot het aanpassen van een bedrijfsplan. Demo bedrijven kunnen hier een exponent van zijn. Koopmans & Wijnands (2011) beschreven het participatiemodel voor (toegepast) onderzoek. Het participatiemodel van samenwerking is uniek. Het

onderzoek kenmerkt zich door een sterke verbinding met de ondernemers. In het onderzoek wordt gebruik gemaakt van de kennis en ervaring van de ondernemer. De ondernemer brengt zijn praktische ervaringen in, werkend in zijn eigen bedrijfssysteem. De wisselwerking tussen de ondernemer en de onderzoeker leidt vaak tot verrassende nieuwe inzichten. Ook kenmerkt het onderzoek zich door het on-farm karakter: het onderzoek vindt grotendeels op de bedrijven zelf plaats. De mate van participatie van de ondernemer in dit on-farm onderzoek is wisselend. Het kan gaan om een proefveld op een individueel bedrijf met een experimentele proef (bemesting etc.) tot complexe innovaties waarbij meerdere bedrijven, andere stakeholders en onderzoekers samenwerken. In de participatieve ontwikkeling zijn de betrokkenheid van de ondernemer bij de formulering van de onderzoeksvraag, de opzet van het onderzoek, de uitvoering, de beoordeling en de interpretatie absolute voorwaarden voor succes, zoals ook beschreven in Outcome 6. In de participatieve ontwikkeling kunnen verschillende schaalniveaus worden onderscheiden. Elk van deze niveaus leidt tot een andere vorm van innovatie (Figuur 9).



Figuur 9 Niveaus van participatieve ontwikkeling in een vraag gestuurde context (Koopmans & Wijnands, 2011).

De publicatie 'Invloed zonder macht' (Bulten et al., 2021) verschaft waardevolle inzichten in waar rekening mee te houden in projecten waarin met veel verschillende stakeholders wordt gewerkt aan complexe veranderingen. Er wordt specifiek gekeken naar hoe om te gaan met verschillende partijen die allen een eigen belang hebben dat niet overeen hoeft te komen met de beoogde verandering in een project. Hoe geef je dergelijke complexe veranderingen met verschillende stakeholders vorm en hoe kun jij hierin een succesvolle rol spelen? De brochure geeft praktische handvatten om veranderingen vorm te geven en invloed uit te oefenen op deze processen zonder een machtspositie te hebben.

Potters et al. (2022) beschrijven de potentie van 'Living labs (LL)'. Het Europese samenwerkingsverband 'SOILCRATES: SOil Innovation Labs: Co-Regenerating And Transforming European Soils (2023)' biedt kansen om via een Living Lab aan implementatie van koolstofvastlegging te werken. Het werken met een Living Labs opzet is relatief nieuw en in ontwikkeling, maar het wordt gezien als veelbelovend. In een Living Lab wordt de ontwikkeling van een innovatie niet alleen versneld, het is ook een kosteneffectieve benadering omdat meerdere belanghebbende partijen toegang hebben tot verschillende netwerken en middelen die onderzoek en toepassing ondersteunen. Living Labs (EU Network of Living Labs) worden gedefinieerd als 'gebruiker georiënteerd, open innovatie ecosystemen gebaseerd op een systematische gebruiker co-creatie benadering, die onderzoek en innovatie processen integreert in real life gemeenschappen en omstandigheden. In Living Labs werken gebruikers samen aan creatie, prototyping, validatie en testen van nieuwe

technologieën, diensten en systemen in een real life context. Samenwerking en samen leren tussen alle maatschappelijke actoren wordt gezien als een belangrijke voorwaarde voor het werken met Living Labs.

Een ander belangrijk aandachtspunt dat eerder is benoemd, is de kwaliteit van de begeleiding en informatie die rond de implementatie van innovaties. Specifiek hierbij is de rol van adviseurs en adviserende organisaties. Labarthe et al. (2021) geeft beleidsaanbevelingen m.b.t. het versterken van bedrijfsadvies gericht op innovatie en verduurzaming. 'Het doel van Agrilink is het bevorderen van transitie richting duurzame Europese landbouw productiesystemen door i) het vergroten van het begrip van de rol die adviesorganisaties (in de breedste zin van het woord) speelden bij hoe boeren beslissingen nemen m.b.t. het adopteren van innovatie; en ii) het verbeteren van de bijdrage aan leren en innovatie door het testen van methoden waarin verbeterde diensten tot stand komen via co-design (met adviseurs, onderzoekers, beleidsmakers en vertegenwoordigers van boeren).'

Tot slot is voor het succesvol realiseren van implementatie van koolstofvastlegging de relatie met het tweede hoofddoel, duurzaam bodembeheer, belangrijk. Potters et al. (2018) gaat in op hoe regels, educatie, sociale normen, economische prikkels en techniek het krachtenveld rond duurzaam bodembeheer beïnvloeden en hoe tot een gezamenlijke actieagenda gekomen kan worden. In een andere studie, door Grashof-Bokdam et al. (2018) is onderzocht welke nieuwe of andere prikkels (incentives) kunnen helpen om de balans tussen ecosysteemdiensten van de bodem te herstellen en de brug te slaan tussen de behoefte aan maatschappelijke diensten en het krachtenveld waar boeren zich in bevinden. Deze studies bieden relevante aanknopingspunten richting de vervolgaanpak van Slim Landgebruik.

5.2.4 Kennishiaten

De volgende kennishiaten zijn geïdentificeerd welke overbruggingen dienen te worden om implementatie in de praktijk te kunnen realiseren:

- Kennis in de praktijk over het effect van (gecombineerde) maatregelen en hoe dit uitpakt op het bedrijf; en hoe het inzetten van rekenmodellen, zoals de praktijktool BodemCoolstof of NDICEA, hierbij ingezet kunnen worden om meer inzicht in te krijgen (akkerbouw, veehouderij) in de effecten van gecombineerde maatregelen. Dit geldt ook voor effecten op langere termijn.
- hoe kan koolstofvastlegging worden opgeschaald in de praktijk;
- De neveneffecten van klimaatmaatregelen (watervasthoudend vermogen, stikstof-efficiëntie) zijn voor de boeren erg belangrijk (remmende factor) en worden niet altijd voldoende meegenomen.
- Wat is het effect van de maatregelen op de koolstofvastlegging op het bedrijf? Hoe kan dit het best inzichtelijk worden gemaakt en hoe kun je dit het best monitoren? Boeren geven graag bewijs te zien als gevolg van hun inspanningen. Daarmee biedt een goed monitoringssysteem een manier om dit 'bewijs' te leveren. Daarnaast is de bodem zeer heterogeen, wat kan leiden tot grote verschillen op alleen al het perceel. Verbeterde methodieken kunnen landen in een MRV aanpak (Monitoring, Reporting en Verification) en doorgevoerd worden in de nationale monitoring.
- Kosten en baten zijn een belangrijke randvoorwaarde voor boeren om met koolstofmaatregelen aan de slag te gaan, ook voor lange termijn. Tot op heden is van een aantal enkelvoudige maatregelen een berekening gemaakt. Deze berekeningen geven een redelijk schatting van te verwachten effecten op korte termijn (referentie), maar zijn niet eenvoudig te vertalen naar bedrijfsniveau en effect op termijn.

5.2.5 Outputs

Output 1: Er is kennis over - of een methode voor - het vergroten van de implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk

In de eerste fase van Slim Landgebruik is gewerkt met praktijknetwerken in de akkerbouw en veehouderij. Een aantal bevindingen zijn opgenomen in deze roadmap. Om tot impact en opschaling van koolstofmaatregelen t.b.v. klimaatdoelen en duurzaam bodembeheer te komen moet gekeken worden wat de meest effectieve en passende methode is om de praktijk te betrekken en handelingsperspectief voor een bredere toepassing van koolstofvastleggende maatregelen te creëren. Belangrijke aandachtspunten zijn motivatie van deelnemers, individueel-

en groepsproces, gezamenlijk met overige betrokken stakeholders, kwalitatieve begeleiding van proces en inbedding in de keten en regio.

Output 2: Inzicht in handelingsperspectief voor de implementatie van koolstofvastlegging

Waar output 1 meer inzet op proces (methode en aanpak), gaat het in output 2 meer over hoe het proces effectief ondersteund kan worden met kennis. Omdat de aanpak nog niet vaststaat, wordt er een slag om de arm gehouden aan welke combi's van kennis en praktijk er behoefte zal zijn. Samenwerking met input van Outcomes 1 en 6 is hierbij een belangrijk aandachtspunt. Op basis van vragen uit de praktijk en consultaties met beleidsmedewerkers, stakeholders en wetenschappers ligt het voor de hand dat monitoring/meten van bodemkoolstof, de koolstofbalans op bedrijfsniveau en de interactie van C/N op bedrijfsniveau belangrijke elementen zijn waaraan vorm wordt gegeven in deze output. Mogelijk geldt dit ook voor het betrekken van de praktijk bij het werken aan kosten/baten en/of een verdienmodel. Aan verdienmodellen wordt in verschillende lopende projecten en trajecten (EU, PPS, regionaal) gewerkt, ook hier is uitwisseling belangrijk.

Output 3: Belang van N voor koolstofvastlegging

Een ambitie in Slim Landgebruik is het formuleren van maatregelen die in de praktijk leiden tot een positieve organische stofbalans. Koolstof vastleggen in de bodem is iets voor de langere termijn, bij de deelnemers van de netwerken gaat de aandacht vooral uit naar goede bodemkwaliteit, zowel voor korte- als lange termijn. Naast organische stof is de beschikbaarheid van stikstof een graadmeter voor het productievermogen van de bodem. Bij presentaties over de bemesting-rekenmodellen gaat de aandacht vooral uit naar de dynamiek van stikstof gedurende het groeiseizoen. Op basis van ingevoerde gegevens, komt ook het verloop van organische stof voor de langere termijn in beeld. De maatregelen die bijdragen aan stikstof efficiëntie komen overeen met koolstofmaatregelen, namelijk: keuze bouwplan (aandeel rustgewassen), gebruik van groenbemesters, inwerken van stro na de graanoogst, inzet van organische meststoffen waarbij stikstof geleidelijk beschikbaar komt voor het gewas. Of zoals een deelnemer van de netwerken dit benoemde, "als teler heb ik de taak om stikstof en koolstof in de juiste verhoudingen bij elkaar te brengen". Om de verbinding te maken met akkerbouwers is het noodzakelijk de focus te leggen op bodemkwaliteit waarbij zowel koolstof als stikstof in beeld komen.

Output 4: Demo- of voorbeeldbedrijven zijn ingebed in de implementatie en worden bezocht door boeren en overige stakeholders

Het regionaal inzetten of benutten van demo- of voorbeeldbedrijven kan een positief effect hebben op een bredere implementatie van koolstofvastleggende maatregelen in de praktijk. In aansluiting op output 1 wordt verkend in welke mate deze output verder opgepakt en uitgewerkt wordt.

5.2.6 Acties

Per output zijn de volgende acties vastgesteld:

Output 1: Er is kennis over - of een methode voor - het vergroten van de implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk

- Actie 1.1. Overzicht opstellen waar binnen of buiten Slim Landgebruik relevante kennis of instrumenten beschikbaar zijn
- Actie 1.2. Kennisonderwerpen vaststellen die in het kader van implementatie van koolstofmaatregelen in de praktijk verder verkend moeten worden. Een drietal onderwerpen is als schot voor de boeg hierna al benoemd:
 - Monitoring bodemkoolstof; nagaan op welke manier monitoring van bodemkoolstof in dienst van implementatie in de praktijk gerealiseerd kan worden. Scherp krijgen hoe verschillende initiatieven hier mee omgaan en wat de meerwaarde is van de beschikbare bodemkoolstofmetingen binnen (de netwerken van) Slim landgebruik en een eventuele vervolgmeting. Hierbij moet ook gekeken

worden naar initiatieven waarin meerjarige bodemmetingen beschikbaar zijn of alternatieven waar aan gewerkt wordt (bv. remote sensing). Koppeling maken met onder (a) verzamelde inzichten.

- Koolstofvastlegging op bedrijfsniveau; uitwerken hoe de koolstofbalans op bedrijfsniveau opgesteld kan worden en wat hier voor van bedrijven, onderzoekers en derden nodig is (tijd, kosten). Verbinden met toepassingsgeschiktheid van praktijktool bodemCoolstof.
- Kosten/baten; inzicht in kosten en baten op korte en lange termijn van systemen voor koolstofvastlegging. Verdere uitwerking hiervan vindt plaats in Outcome 1.

Output 2: Inzicht in handelingsperspectief voor de implementatie van koolstofvastlegging

- Actie 2.1. Kennis m.b.t. methode voor het vergroten van de implementatie koolstofvastlegging wordt compact en overzichtelijk uitgewerkt
- Actie 2.2. Naast een kennisoverzicht (actie 2.1) is er ook behoefte om inzicht te verkrijgen in hoe en met welke (lopende) initiatieven er geschakeld en samengewerkt kan worden
- Actie 2.3. Op basis van ervaringen en inzichten en (actie 2.1) worden sleutelcriteria m.b.t. keuze voor het vervolg Slim landgebruik of daarbuiten opgesteld
- Actie 2.4. Bijeenkomst waarin kennis (actie 2.1) en criteria (actie 2.3) in een geschikte werkvorm met experts en relevante stakeholders worden gedeeld en besproken
- Actie 2.5. Op basis van de uitkomst van actie 2.4 wordt gekozen hoe implementatie in de praktijk in het vervolg van Slim Landgebruik of daarbuiten kan worden aangepakt
- Actie 2.6. Op basis van actie 2.5 wordt uitgewerkt hoe de samenwerking met andere roadmaps en/of initiatieven/projecten vorm gegeven wordt

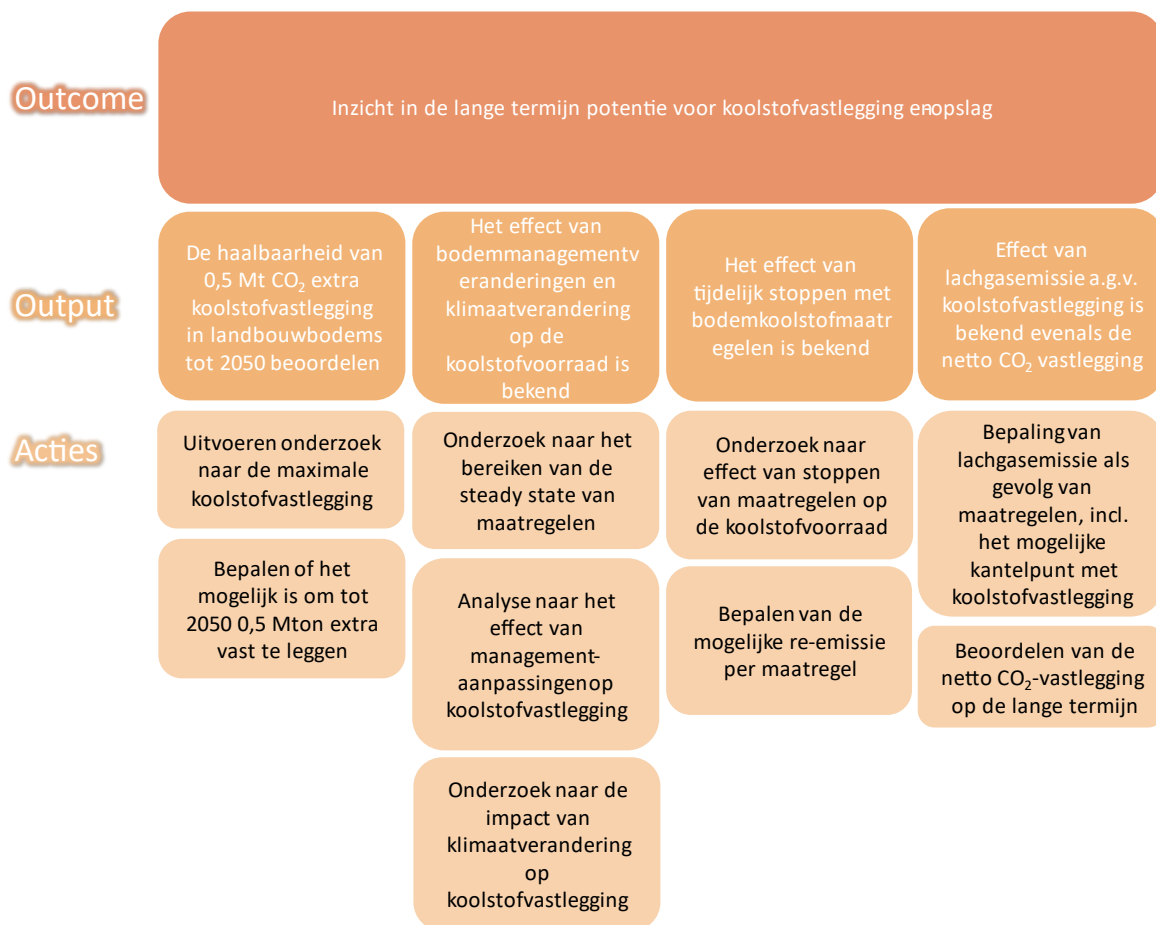
Output 3: Interactie van C/N op bedrijfsniveau inzichtelijk

- Actie 3.1. Uitwerken hoe naast koolstofvastlegging ook de stikstofcyclus (met input uit Outcome 1) op bedrijfsniveau opgepakt kan worden en wat er van bedrijven, onderzoekers en derden nodig is (tijd, kosten). Uitwerking sluit aan op bevindingen onder Output 2.
- Actie 3.2. Verbinden met toepassingsgeschiktheid van praktijktool bodemCoolstof, NDICEA en mogelijk andere instrumenten.
- Actie 3.3. Uitwerking van de C/N samenspel als gevolg van maatregelenpakketten en/of (nieuwe) bedrijfssystemen inzichtelijk maken voor boer en adviseur.

Output 4: Demo- of voorbeeldbedrijven zijn ingebed en worden bezocht door boeren en adviseurs

- Actie 4.1. Indien demo- of voorbeeldbedrijven passend of gewenst zijn in de aanpak gekozen onder Output 1 (methode voor vergroten van implementatie) en Output 2 (handelingsperspectief voor koolstofvastlegging), uitwerken hoe demobedrijven er uit moeten zien en moeten gaan functioneren.
- Actie 4.2. Opzet van demobedrijven zal grotendeels afhangen van de beoogde rol die demobedrijven moeten gaan spelen in het opschalingplan en kan elementen bevatten van 'wenkend perspectief' als (regionaal) voorbeeld tot kwantitatieve en kwalitatieve ondersteuning van opschaling en monitoring.
- Actie 4.3. I.v.m. (kosten)efficiëntie ligt het voor de hand dat demobedrijven aansluiten op bestaande landelijke of regionale netwerken of initiatieven en indien mogelijk uit een reeds bestaande pool van geschikt bevonden bedrijven (door)ontwikkeld kunnen worden.
- Actie 4.4. Bijeenkomsten organiseren op de ontworpen demobedrijven welke bezocht worden door boeren en adviseurs.

5.3 Outcome 3: Inzicht in de lange termijn potentie voor koolstofvastlegging en -opslag



Figuur 10 Uitwerking van de Theory of Change voor Outcome 3. Een beschrijving van de outcome en de bijbehorende outputs en acties wordt in dit hoofdstuk gegeven.

5.3.1 Aanleiding

De vraag is in hoeverre de extra vastlegging van 0,5 Mt CO₂ zoals die als doel is gesteld, volgehouden kan worden op de lange termijn, of dat er na verloop van tijd beperkingen zijn zoals het bereiken van de maximale koolstofvastlegging of een re-emissie na het stoppen met maatregelen. Deze vraag komt met name voort uit de sceptische houding van ondernemers over de potentie van extra koolstofvastlegging i.v.m. het al relatief hoge koolstofgehalte van de Nederlandse minerale landbouwbodem, en het risico dat investeerders in Carbon Credits lopen als er gestopt wordt met koolstofmaatregelen en de vastgelegde koolstof mogelijk weer wordt geëmitteerd als CO₂. Inzicht in de potentiële vastlegging die bereikt kan worden met het optimaal doorvoeren van maatregelen is verworven binnen het programma (Lesschen et al., 2021; Slier et al., 2023), maar om bovengenoemd kennishiaat en daarmee gemoeide onzekerheden (voor ondernemers en investeerders) op te lossen is additioneel inzicht nodig in:

- 1) hoe lang en hoeveel koolstof kunnen minerale landbouwbodems vastleggen en wat betekent dit voor de potentie in Nederlandse minerale landbouwbodems.
- 2) hoe kunnen koolstofmaatregelen de maximale koolstofvastlegging beïnvloeden en wat is de invloed van klimaatverandering hierop,

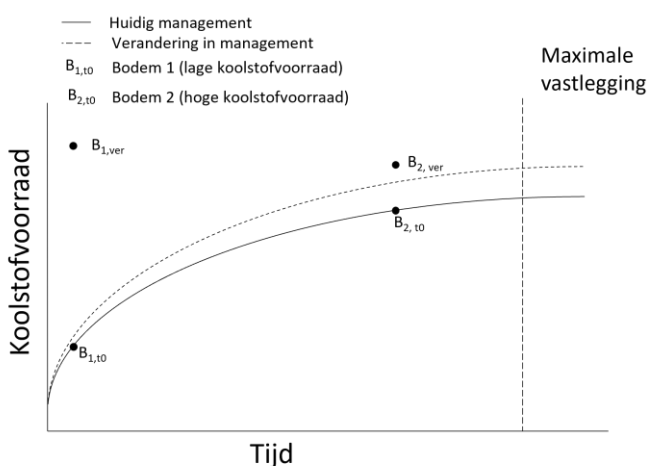
- 3) hoe snel wordt vastgelegde koolstof weer tenietgedaan als er (tijdelijk) gestopt wordt met een koolstofmaatregel of wanneer er 'negatieve koolstofmanagementveranderingen' doorgevoerd worden zoals bijvoorbeeld het telen van bloembollen, en
- 4) hoe groot zijn de effecten van koolstofvastlegging op afwenteling van lachgasemissies (m.a.w., de netto CO₂ vastlegging) en hoe speelt dit mee in het bereiken van de doelen voor CO₂, maar ook voor CH₄ en N₂O emissiereductie.

Inzicht in deze vier aspecten levert beleidsmakers maar ook investeerders de mogelijkheid om te anticiperen op mogelijke beslismomenten vanuit de agrarische sector, zoals het moment waarop een pilotstudie afloopt of carbon certificaten uitbetaald worden, of wanneer niet-beïnvloedbare veranderingen een rol spelen, zoals extreem natte/droge bodems, of afwenteling van lachgasemissies a.g.v. koolstofvastlegging. Tevens draagt dit inzicht bij aan de verder ontwikkelingen van het nationale systeem voor Carbon Farming, en de opgedane kennis zal ook doorstromen naar Outcome 2.

5.3.2 Beschrijving van de outcome

Volhoudbaarheid van koolstofvastlegging in de bodem kan verschillende betekenissen hebben. Hoelang agrarische ondernemers maatregelen kunnen en willen uitvoeren, wordt ook wel de 'praktische' definitie van volhoudbaarheid genoemd, die vaak door beleidsmakers wordt gebruikt (Dynarski et al., 2020). In de wetenschap wordt 'volhoudbaarheid' (ook wel permanentie genoemd) gedefinieerd als de permanentie waarmee vastgelegde koolstof in de bodem blijft (Dynarski et al., 2020; Smit et al., 2005). Deze outcome omschrijft de 'volhoudbaarheid van koolstofvastlegging' als volgt: de permanentie waarmee vastgelegde koolstof in de bodem blijft als gevolg van bepaald bodem(koolstof)management. De vraag is namelijk of minerale landbouwbodems op de lange termijn jaarlijks netto 0,5 Mt extra CO₂ vast kunnen blijven leggen t.o.v. het referentieniveau. Dit betekent dat inzicht nodig is wat er met de koolstof in de bodem gebeurt wanneer (tijdelijk) wordt gestopt met maatregelen om koolstof vast te leggen. Belangrijke begrippen om te onderscheiden in deze outcome zijn 'maximale koolstofvastlegging' en 'koolstofverzadiging' van de bodem. Onder maximale koolstofvastlegging wordt het punt waarop de steady-state bereikt wordt verstaan, en onder koolstofverzadiging wordt het punt waarop een bodem zijn maximale capaciteit bereikt om koolstof op de slaan in de bodem verstaan. De steady-state, en dus de maximale koolstofvastlegging, is beïnvloedbaar door bijv. managementveranderingen. Het punt waarop koolstofverzadiging optreedt is niet-beïnvloedbaar. In Figuur 11 zijn de begrippen 'volhoudbaarheid van koolstofvastlegging' en 'maximale vastlegging' gevisualiseerd.

Onder deze Outcome verstaan we dus niet de volhoudbaarheid om maatregelen, die bedoeld zijn om koolstof vast te leggen, praktisch en technisch langjarig te kunnen uitvoeren.



Figuur 11 De koolstofvoorraad in de bodem bereikt op een gegeven moment, onder gelijkblijvend management, een steady-state. Dit is de maximale vastlegging die bereikt kan worden. De extra koolstofvastlegging die bereikt kan worden hangt af van het referentieniveau (aangeduid met B_{1,t0} en B_{2,t0}). Voor Bodem 2 duurt het veel korter om de maximale vastlegging te bereiken in vergelijking met Bodem 1. Daarnaast toont het figuur het verzadigingspunt van bodem 1 (B_{1,ver}) en bodem 2 (B_{2,ver}).

5.3.3 Stand van zaken

In verschillende rapportages van Slim Landgebruik wordt de effectiviteit van diverse individuele landbouwkundige maatregelen aangegeven, zoals in rapportages over modellering en van de LTE's in Nederland (Lesschen et al., 2021; Schepens et al., 2024). Dit wordt meestal in koolstofvastlegging per hectare per jaar uitgedrukt, maar op die manier wordt er aangenomen dat er een lineaire toename zal zijn. In de wetenschap is echter bekend dat dit een afvlakkende curve is (Stewart et al., 2007; West & Six, 2007), waarbij er op een gegeven moment een nieuw evenwicht ontstaat tussen de aanvoer en de afbraak van koolstof in de bodem. Ook internationaal gezien wordt de potentie voor koolstofvastlegging vaak jaarlijks uitgedrukt, maar wanneer er rekening wordt gehouden met een afvlakkende curve van de jaarlijkse vastlegging, wordt de potentie aanzienlijk minder (Moinet et al., 2023).

Bodemkoolstof-opbouwcurve

Hoe die afvlakkende curve eruitziet lijkt erg regio-specifiek te zijn en af te hangen van bodemeigenschappen zoals het kleigehalte (Wiesmeier et al., 2019), het initiële koolstofgehalte (Gocke et al., 2023; Georgiou et al., 2022) en het klimaat. Klei en silt bevatten veel kleine poriën en een groot reactief oppervlak (voor adsorptie) die organische stof beschermen tegen afbraak. Daarom worden de grootste effecten (+25%) van organische stofbeheer in het algemeen gevonden in klei (inclusief zavel). In zand gaat de afbraak sneller en is het moeilijker het organische stofgehalte te verhogen (+10%) met name als het begin niveau al relatief hoog is (voor een zandgrond). Boven een bepaald evenwichtsniveau wordt de koolstofvastlegging nul (Körschens, 2006).

Koolstofmodellen

Momenteel weten we nog niet goed wanneer die afvlakking wordt bereikt in de Nederlandse context, oftewel hoe lang we door kunnen gaan met maatregelen voor koolstofvastlegging. Er zijn studies die op de hele lange termijn (>100 jaar) een afvlakking laten zien (Poulton et al., 2018), maar ook die dit na 40 jaar aantonen (West & Six, 2007).

Er zijn internationaal talloze modellen die de koolstofdynamiek kunnen simuleren. Dit kan inzicht geven in de potentie van koolstofvastlegging op de lange termijn. Echter zijn de simulatiemodellen niet altijd gevalideerd voor de situaties waar ze worden gebruikt (Garcia et al., 2023; Le Noë et al., 2023). In Nederland wordt het model RothC veel gebruikt en deze is aangepast met Nederlandse kengetallen voor gewassen, het weer, bodemkaarten, maar de onzekerheid van de voorspellingen is onbekend. RothC kan bijvoorbeeld wel (bij benadering) een nieuwe steady state tussen aanvoer en afbraak van organische stof simuleren, maar in RothC is geen saturatie ingebouwd waarbij de afbraak van aangevoerde koolstof afhangt van hoeveel organische stof er al in de bodem aanwezig is (Stewart et al., 2007). Of dit de onzekerheid in de simulaties beïnvloedt is onduidelijk. Door almaar organische stof op te bouwen is de bodem op een gegeven moment geen minerale bodem meer, en zou het RothC model dus niet meer toegepast mogen worden. Er zijn ook andere modellen die wel saturatiepatronen kunnen modelleren zoals het model MIMMICS (Craig et al., 2021; Wieder et al., 2014), maar dit model is vrij nieuw en zou verder moeten worden ontwikkeld om het toepasbaar te maken voor de landbouw, zoals het simuleren van gewasrotaties.

Verzadiging

Er is veel discussie over het concept koolstofverzadiging in de bodem. Het is namelijk zo dat er een beperkte hoeveelheid kleideeltjes in de bodem zijn die koolstof kunnen binden. Er wordt tegenwoordig meer gesproken over de potentie om mineraal geassocieerde koolstof (MAOM-C) te kunnen vormen (Emde et al., 2022). MAOM-C is mineraal-gebonden organische stof. Doordat MAOM-C aan bodemdeeltjes gebonden zijn, wordt afbraak door micro-organismen vermeden. Een andere fractie van organisch materiaal, de particuliere organische stof (POM) (i.e., organische deeltjes voornamelijk afkomstig van plantenresten), zou wel kunnen verhogen ongeacht de hoeveelheid kleideeltjes, maar deze is wel minder stabiel. Een recente studie over nationale metingen van koolstof in heel Duitsland laat zien dat de proportie MAOM zeer stabiel is onder akkerland en grasland, en dat bodemtextuur (met name kleigehalte) wel de relatie tussen bodem organische koolstof (SOC) en mineraal geassocieerde koolstof (MAOC) beïnvloedt, maar dat er geen limiet lijkt te zijn in de hoeveelheid MAOM in bodems (Begill et al., 2023). Dit daagt dus het klassieke idee van verzadiging uit. En daarnaast

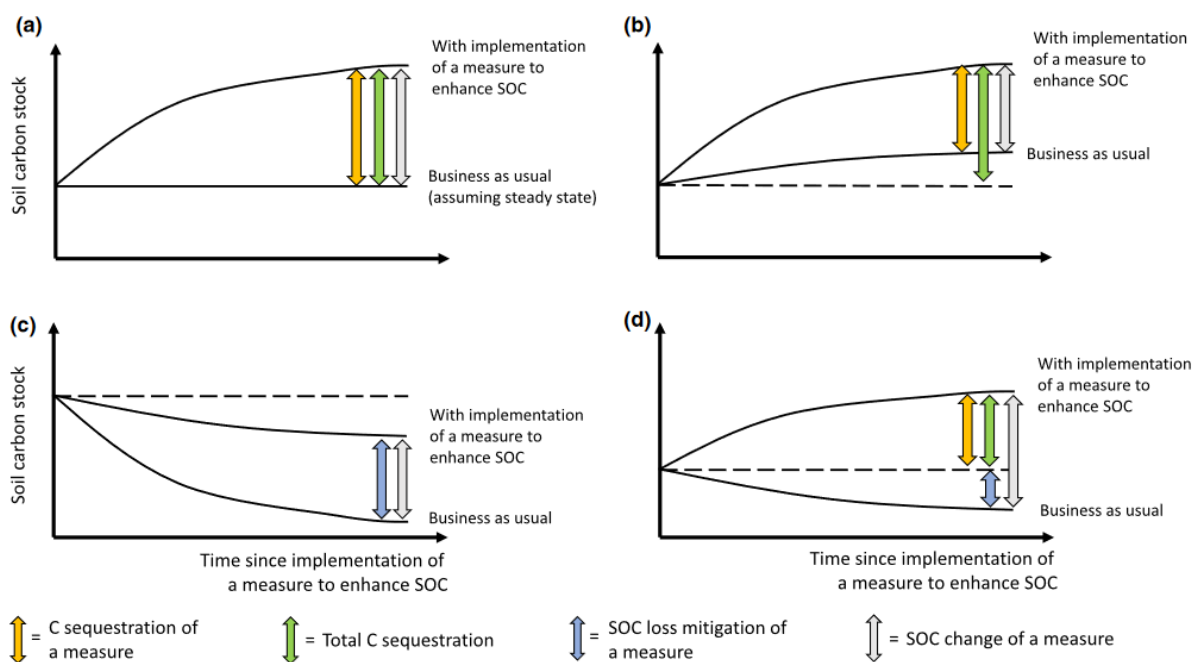
lieten de onderzoekers zien dat in zandgronden de MAOM-fractie hoge concentraties koolstof kan bevatten. Het is dus nog onduidelijk wanneer de curve afvlakt in de bodem.

In de metingen zien we dat koolstofvastlegging op de LTE-locaties op zandgronden erg moeilijk is (Schepens et al., 2024). Mogelijk is het organische stofgehalte of de koolstof in de MAOM al te hoog op veel Nederlandse zandgronden om een additioneel effect van compost of andere aanvoer van koolstof te bewerkstelligen. Dit is een belangrijke vraag omdat dit het potentieel voor koolstofvastlegging in Nederland flink zou reduceren.

Het begrip 'koolstofvastlegging' ter discussie

Een recente review laat zien dat de term koolstofvastlegging eigenlijk vaak niet goed wordt gebruikt (Don et al., 2023) (Figuur 12). Koolstofvastlegging in de bodem betekent een netto toename van koolstof in de bodem waarbij er CO₂ uit de lucht wordt vastgelegd. Bij een reductie van verlies aan koolstof in de bodem (bijv. bij organische bodems) is er geen sprake van koolstofvastlegging, maar het draagt alsnog bij aan de doelstelling voor het klimaat, omdat er minder CO₂ vanuit de bodem de lucht in gaat.

Dit is een belangrijke observatie, want we zien in veel gebieden in Europa, voornamelijk in de akkerbouw, een negatieve trend in koolstof (Bellamy et al., 2005; Heikkinen et al., 2013; Keel et al., 2019; Meersmans et al., 2009; Taghizadeh-Toosi et al., 2014), en ook in Nederland is dit gevonden voor akkerbouwgebieden op minerale gronden (Knotters et al., 2022). Reductie van verliezen van koolstof zou hier dus belangrijker zijn voordat er naar koolstofvastlegging kan worden gekeken.



Figuur 12 Dit figuur is overgenomen van Don et al. (2023) en de bijbehorende tekst is vertaald: Mogelijke trends in voorraden organische koolstof in de bodem (SOC) in scenario's van 'business-as-usual' (BAU) en na de implementatie van maatregelen voor koolstofvastlegging. (a) SOC-voorraden worden verondersteld in een steady state te zijn met geen verandering in een BAU-scenario, (b) SOC-voorraden worden voorspeld te stijgen zelfs zonder maatregelen voor koolstofvastlegging in het BAU-scenario, (c) SOC-voorraden worden verwacht te dalen in het BAU-scenario ondanks de implementatie van maatregelen voor koolstofvastlegging, en (d) SOC-voorraden worden verwacht te dalen als er geen maatregelen voor koolstofvastlegging worden geïmplementeerd. "SOC-verandering van een maatregel" is relatief ten opzichte van het BAU-scenario. De gestippelde lijn geeft geen verandering aan.

Koolstofvastlegging heeft ook effect op de stikstofkringloop en daarmee op de emissie van het broeikasgas lachgas (N₂O). Lachgas wordt gevormd tijdens de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie in de bodem. Lachgasemissie uit de landbouw heeft een aandeel van 2,8% van de totale CO₂ en niet-CO₂ broeikasgassen in Nederland (Ruysenaars et al., 2020). Factoren die effect hebben op de hoeveelheid lachgasemissie zijn: 1) het gehalte aan minerale stikstof in de bodem, 2) de hoeveelheid afbreekbare organische stof in de bodem, 3) het zuurstofgehalte in de bodem, en 4) de activiteit van bacteriën en daarmee samenhangende factoren (zoals pH, temperatuur, CEC etc.). Organische stof kan N₂O-emissie versterken of verzwakken vanwege: 1) de energiebron die organische stof is voor denitrificerende bacteriën, 2) het consumeren van zuurstof bij de afbraak van organische stof waardoor zuurstofloze omstandigheden in de bodem leiden tot een verhoogde denitrificatieactiviteit, 3) het verbeteren van de bodemstructuur wat leidt tot minder zuurstofloze condities, en 4) de verbinding die organische stof aangaat met minerale stikstof waardoor N₂O emissies gereduceerd worden (Lesschen et al., 2021). Velthof en Mosquera (2011) hebben aangetoond dat op bouwland dierlijke mest tot een hogere N₂O-emissie leidde dan toediening van nitraat-houdende kunstmest, terwijl op grasland juist het omgekeerde werd aangetoond. Het hogere gehalte aan beschikbare organische stof (en dus een hogere denitrificatiecapaciteit in grasland) is hiervan de oorzaak.

Lopende projecten

De tweede mission objective van de EU Soil Mission is 'Conserve soil organic carbon stocks'. Er zijn een aantal projecten (bijv. MARVIC) die aanvullende resultaten kunnen leveren op deze Outcome. Vanuit het European Joint Programme (EJP) SOIL wordt er onderzoek gedaan naar de invloed van bodembioïologie en lachgasemissies op koolstofvastlegging in de bodem (bijv. EnergyLink, AgroEcoSeqC, TraceSoils, SOMMIT). In andere projecten van het EJP SOIL programma wordt gekeken naar het effect van management en klimaat op koolstofvastlegging (bijv. CarboSeq, SIMPLE). De resultaten van de meeste projecten zullen in de loop van 2024 beschikbaar komen. Verder wordt er ook veel fundamenteel onderzoek uitgevoerd naar de kwaliteit en stabiliteit van koolstof en hoe dit de maximale koolstofvastlegging beïnvloedt.

De lange-termijn proeven in Nederland (e.g., [lange-termijn experimenten SL](#)), maar ook EU-breed (e.g., [Bonares](#)) kunnen kennis leveren rondom de volhoudbaarheid van koolstofvastlegging en de maximale vastlegging.

5.3.4 Kennishiaten

Een geïdentificeerd kennishiaat is of extra vastlegging van 0,5 Mt CO₂ volgehouden kan worden tot en met 2050, of dat er binnen dit tijdsbestek beperkingen zijn zoals het eerder bereiken van de maximale vastlegging. Dit kennishiaat kan opgedeeld worden in de volgende vier sub-hiaten:

1. hoe lang en hoeveel koolstof kunnen minerale landbouwbodems vastleggen en wat betekent dit voor de potentie in de Nederlandse minerale landbouwbodem.
2. hoe kunnen koolstofmaatregelen de maximale koolstofvastlegging beïnvloeden en wat is de invloed van klimaatverandering hierop,
3. hoe snel wordt vastgelegde koolstof weer tenietgedaan als er gestopt wordt met een koolstofmaatregel of wanneer er negatieve koolstofmanagementveranderingen doorgevoerd worden, en
4. hoe groot zijn de afwentelingseffecten van lachgasemissie op koolstofvastlegging op de lange termijn?

5.3.5 Outputs

Om de kennishiaten te dichtten, zijn de volgende outputs van belang:

Output 1. Inzicht krijgen in de haalbaarheid van het doel om tot 2050 een extra koolstofvastlegging van 0,5 Mt CO₂ in minerale landbouwbodems te bereiken en deze vol te houden

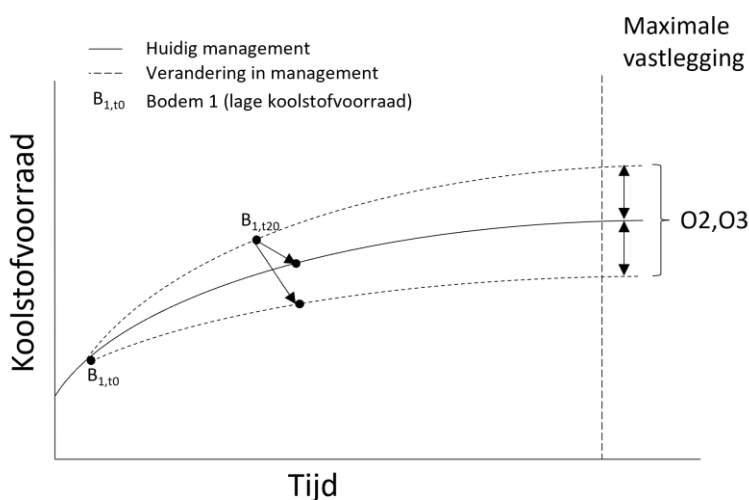
Deze output laat zien of het technisch mogelijk is om tot 2050 0,5 Mt extra CO₂ in onze minerale landbouwbodems vast te blijven leggen. Hiervoor is inzicht nodig in bodemkoolstof-opbouwcurve van minerale landbouwbodems, en inzicht in de koolstofvoorraad bij een steady-state als optimaal koolstofmanagement wordt toegepast.

Output 2. Het effect van bodemmanagementveranderingen op de koolstofvoorraad is bekend

Deze output geeft inzicht in het effect van bodemmanagement op de koolstofvoorraad en hoe dit de koolstofvoorraad bij een steady-state beïnvloedt. Hiervoor is inzicht nodig in de processen die van invloed zijn op het mineraliseren van bodemkoolstof (in CO₂), en de rol die koolstofstabiliteit in de bodem hierin speelt. Deze output geeft inzicht in de factoren die de permanentie van vastgelegde koolstof in de bodem kunnen beïnvloeden.

Output 3. Het effect van klimaatsverandering op de koolstofvoorraad is bekend

Ook niet-beïnvloedbare processen kunnen een rol spelen in de koolstofvoorraad tijdens het bereiken van de steady-state. Deze output geeft inzicht in het effect van klimaatsverandering op de potentiële koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems.



Figuur 13 Illustratie van Output 2 (O2) en Output 3 (O3). Bij deze outputs ligt de focus respectievelijk op het effect van management en klimaat op de koolstofvoorraad. Het geeft inzicht in de volhoudbaarheid van koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems.

Output 4. Het effect van tijdelijk stoppen met bodemkoolstofmaatregelen is bekend

Deze output geeft inzicht in de potentiële CO₂ die vrijkomt als er tijdelijk gestopt wordt met een maatregel (bijv. vernieuwen van grasland). Deze output geeft vooral inzicht in de tijdsdimensie waarop vastgelegde koolstof weer vrij kan komen in de vorm van CO₂.

Output 5. Effect van lachgasemissie a.g.v. koolstofvastlegging is bekend evenals de netto CO₂ vastlegging

In deze output worden de neveneffecten van lange termijn bodemkoolstofvastlegging bekeken, zodat er bekeken kan worden of de lachgasemissies die vrijkomen door afwentelingseffecten van koolstofmaatregelen opwegen tegen CO₂ die vastgelegd wordt.

5.3.6 Acties

Per output zijn de volgende acties vastgesteld:

Output 1: Inzicht krijgen in de haalbaarheid van het doel om tot 2050 een extra koolstofvastlegging van 0,5 Mt CO₂ in minerale landbouwbodems te bereiken en deze vol te houden.

- Actie 1.1. Het uitvoeren van een meta-analyse van beschikbare lange-termijn (experimentele) data en literatuur voor een fundamentele onderbouwing voor het bepalen van de maximale koolstofvastlegging in de bodem, de tijdsduur hiervan, en wat deze beïnvloedt (bijv. initiële organische stofgehalte, kwaliteit van de effectieve organische stof, stikstof, kleigehalte, pH, CEC etc.).
- Actie 1.2. Het rapport van Lesschen et al. (2021) toont aan dat er 0,9 Mt extra CO₂ vastgelegd kan worden per jaar als alle koolstofmaatregelen optimaal toegepast worden. De vraag die opgelost wordt in deze actie, is of deze 0,9 Mton per jaar extra CO₂ vastlegging volgehouden kan worden tot 2050.

- Hoe de totale koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems verandert richting 2050 wordt berekend met behulp van het RothC model dat ook gebruikt is door Lesschen et al. (2021) voor het berekenen van de potentiële koolstofvastlegging in Nederland.
- Dit model zal daarvoor tijdsafhankelijk gemaakt moeten worden. De (experimentele) data verkregen in Actie 1.1 zal gebruikt worden om het model te toetsen.

Output 2: Het effect van bodemmanagementveranderingen op de koolstofvoorraad is bekend

- Actie 2.1. Binnen Slim Landgebruik is er veel onderzoek gedaan naar het effect van koolstofmanagement op de koolstofvoorraad (bijv. in de lange-termijn experimenten). Echter in deze experimenten is het onbekend of de steady-state al bereikt is of niet. Experimentele (lange-termijn) data en literatuur moeten inzicht geven in het effect van managementveranderingen op de maximaal behaalbare koolstofvoorraad.
- Actie 2.2. Lange-termijn experimenten focussen vaak op managementverbeteringen. Om aan te tonen hoe snel vastgelegde koolstof weer vrijkomt als er een negatieve koolstofmanagementverandering plaatsvindt, zal additionele data nodig zijn. Met behulp van nadere analyses van de data uit LTE's (inclusief relevante LTE's uit het buitenland) en/of het opzetten van nieuwe lange-termijn experimenten (of te profiteren van stopgezette LTE's) kan het effect van negatieve koolstofmanagementveranderingen ingeschat worden.
 - Ook het effect van koolstofstabiliteit wordt meegenomen in het data en literatuuronderzoek.

Output 3: Het effect van klimaatverandering op de koolstofvoorraad is bekend

- Actie 3.1. Het effect van klimaatverandering kan a.d.h.v. een literatuurstudie in combinatie met scenariomodellerings bepaald worden. De klimaatscenario's van het KNMI zullen hiervoor gebruikt worden.

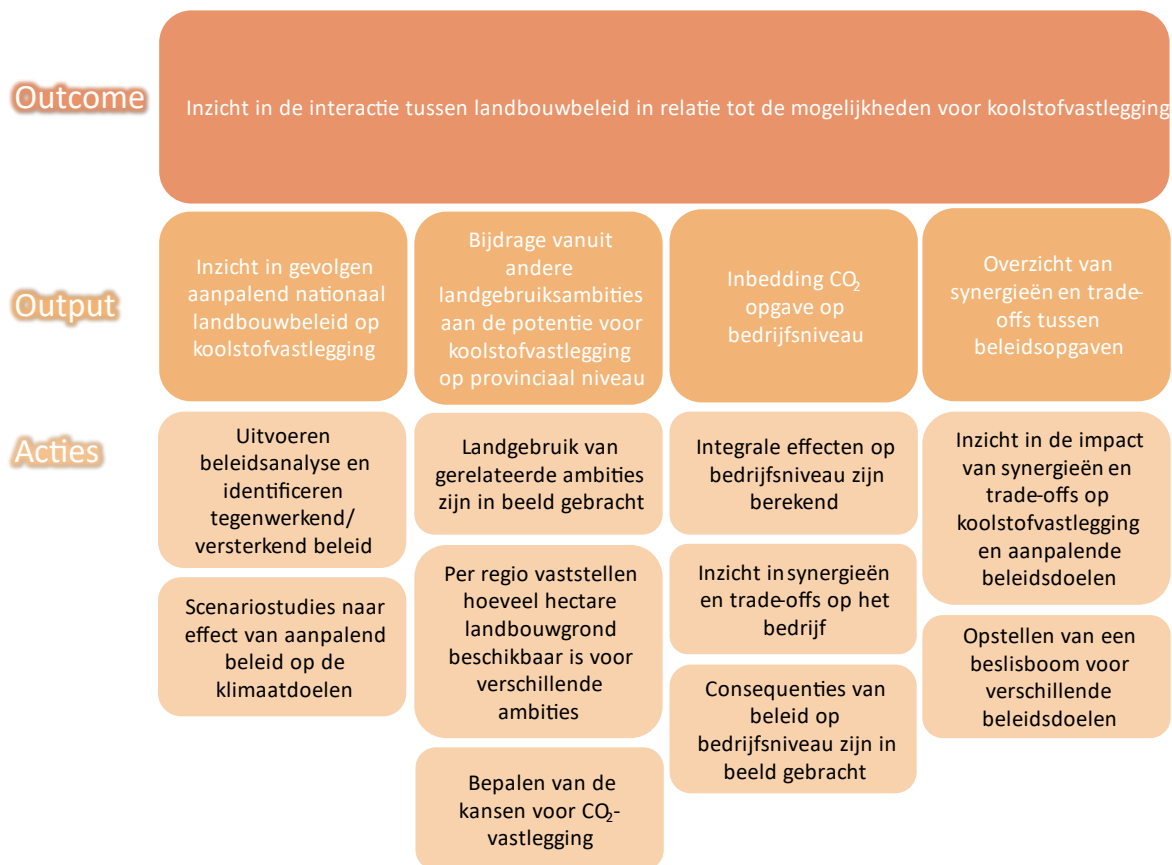
Output 4: Het effect van tijdelijk stoppen met bodemkoolstofmaatregelen is bekend

- Actie 4.1. Zodra er tijdelijk gestopt wordt met een maatregel, is de verwachting dat een deel van de opgebouwde koolstof weer vrijkomt in de vorm van CO₂. Hoeveel dit is, en hoelang dit duurt is echter vrij onbekend. In deze actie onderzoeken we het lange –en korte termijneffect van maatregelen die het meest aannemelijk zijn om (tijdelijk) mee te stoppen (o.a. scheuren van grasland, gewasresten niet meer achterlaten, minder mest opbrengen (a.g.v. het verdwijnen van de derogatie), intensievere gewasrotatie).
- Actie 4.2. Met behulp van beschikbare (experimentele) data, i.c.m. modelberekeningen en literatuur, zal er een inschatting gemaakt worden van de mogelijke re-emissie. Ook zal er gekeken worden welke nieuwe experimenten er gestart moeten worden om te voldoen aan Output 4.

Output 5: Effect van lachgasemissie a.g.v. koolstofvastlegging is bekend evenals de netto CO₂ vastlegging

- Actie 5.1. Er lopen verschillende onderzoeken naar het effect van lachgasemissie a.g.v. koolstofvastlegging (zowel in Slim Landgebruik als in EJP Soil (CarboSeq, SOMMIT, TraceSoils) en andere Soil Mission projecten), en naar maatregelen die lachgasemissie reduceren. Deze studies vormen samen met modelleringen met MITERRA-NL of een uitbreiding van de Praktijktool met een stikstof-component, de basis voor het analyseren van de neveneffecten van lange termijn bodemkoolstofvastlegging.
 - Hierbij dient ook te worden bepaald of en zo ja, wanneer het kantelpunt optreedt waarbij de lachgasemissie groter is dan de koolstofvastlegging.
- Actie 5.2. De effecten zullen vergeleken worden met lachgasemissie-maatregelen om zo tot een integraal advies over netto CO₂ vastlegging op de lange termijn te komen.

5.4 Outcome 4: Inzicht in de interactie tussen landbouwbeleid in relatie tot de mogelijkheden voor koolstofvastlegging



Figuur 14 Uitwerking van de Theory of Change voor Outcome 4. Een beschrijving van de outcome en de bijbehorende outputs en acties wordt in dit hoofdstuk gegeven.

5.4.1 Aanleiding

In Slim Landgebruik is kennis ontwikkeld die nodig is voor het halen van het klimaatdoel in Nederland voor minerale landbouwbodems voor een additionele vastlegging van 0,5 Mton CO₂ per jaar vanaf 2030. Daarnaast moeten de maatregelen die hiervoor nodig zijn passen bij, of bijdragen aan het duurzaam beheren van alle landbouwbodems. De vraag is in hoeverre overig beleid impact heeft op het kunnen en mogen uitvoeren van maatregelen om koolstof vast te leggen en landbouwbodems duurzaam te beheren.

Het eerste doel van de Integratie is om na te gaan in hoeverre overig (landbouw) beleid impact heeft op de acties die voortvloeien uit de klimaat- en bodemdoelen. Er zijn verschillende beleidsdoelen voor o.a. klimaat, bodem, stikstof en natuur- en waterkwaliteit. Het is belangrijk dat maatregelen om de individuele doelen te behalen elkaar aanvullen of versterken, en in ieder geval zo min mogelijk tegenwerken. Het ministerie van LNV gaat dit vooral vormgeven in het kader van landelijk beleid en de regionale invulling via het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG). Het is dus van belang voor de implementatie van koolstof vastleggende maatregelen dat hierop wordt voorgesorteerd. Zicht op de samenhang met andere beleidsterreinen is hiervoor een voorwaarde.

Ook is er behoefte aan kennisontwikkeling en de beschikbare kennis geïntegreerd en in samenhang beschikbaar maken voor beleid en praktijk. Integratie van kennis en resultaten is belangrijk voor het behalen van de verschillende

beleidsdoelen. Deze integratie kan worden opgesplitst in twee delen: (i) bij elkaar brengen van de resultaten uit het praktijkgerichte onderzoek van slim landgebruik zodat een samenhangend beeld wordt verkregen en (ii) inzicht in de effecten wanneer alle doelen bij elkaar komen op het bedrijf. Deze praktische integratie heeft niet alleen consequenties voor de boer zelf, maar heeft ook consequenties voor toekomstig ondersteunend beleid.

Daarnaast is er de wens om te kijken of het behalen van de doelen beter haalbaar zijn door veranderend landgebruik. In eerste instantie wordt hiermee bedoeld het veranderend landgebruik binnen de agrarische sector, zoals praktijken als agroforestry of productie van biobased gewassen. Hiervoor is een systematische analyse noodzakelijk. Voor deze onderdelen is al veel kennis beschikbaar, maar de vraag is hier hoe klimaatmaatregelen, beleid rond duurzaam bodembeheer en andere (beleids)opgaven kunnen worden verbonden op landelijk, regionaal en bedrijfsniveau zodat ze elkaar kunnen versterken in plaats van tegenwerken.

5.4.2 Beschrijving van de outcome

Maatregelen om koolstof vast te leggen hebben impact op de omgeving (zoals de bodem, het water, etc.). Tegelijkertijd hebben deze omgevingsfactoren ook impact op de mogelijkheden en beperkingen om aan de slag te gaan met koolstofvastlegging in de praktijk. Daarom is een integrale kijk op koolstofvastlegging in de landbouw nodig, zonder dat het belang van de klimaatdoelen uit het oog wordt verloren. Deze outcome is van belang op een landelijke-, regionale- en bedrijfsschaal, met daarachter de vraag of het (voorgenomen) beleid de doelstelling voor koolstofvastlegging en duurzaam bodembeheer versterkt of tegenwerkt.

Deze outcome versterkt het zicht op:

- De effecten van aanpalende regelgeving op de potentie van koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer in Nederland en zo mogelijk gedifferentieerd naar regio's;
- De effecten van (potentieel) veranderend landgebruik op de haalbaarheid van de klimaatopgave en het streven naar duurzaam bodembeheer;
- Hoe de verschillende (beleids)opgaven de potentie voor koolstofvastlegging beïnvloeden op landelijk, regionaal en bedrijfsniveau;
- Of koolstofvastlegging een kwantitatief doel is dat ook het beleid rond duurzaam bodembeheer ondersteunt;
- Samenhang tussen resultaten en bevindingen uit onderzoek.

De focus bij deze integratie ligt vooral op de beleidsmatige consequenties op nationaal en regionaal niveau waarbij informatie van wat op het bedrijfsniveau speelt inzichtelijk wordt gemaakt en meegenomen in de analyse. De praktische invulling op bedrijfsniveau is in de Outcomes 1 en 2 aan de orde.

5.4.3 Stand van zaken

Verschuuren (2019) wijst op de beperkingen van het klimaatakkoord uit 2019 dat ervan uitgaat dat dat doelen behaald kunnen worden zonder het gebruik van een juridische instrumenten. Die veronderstelling gaat in tegen bevindingen van veel onderzoek op dit gebied, namelijk dat een stevig beleid dat gebruikmaakt van een brede instrumentenmix nodig is. Een stevigere, (deels) juridisch bindende aanpak zal noodzakelijk zijn om de voorgenomen doelen te behalen. Weliswaar wordt het inzetten van verplichtende regelgeving opengelaten als optie voor het geval de doelstellingen niet worden gehaald, maar hoe dat precies vorm moet krijgen blijft nog open. Het blijft bij enkele suggesties, zoals de suggestie om koolstofvastlegging in landbouwbodems te gaan stimuleren via een systeem van carbon credits.

Lesschen et al. (2020) laat in een 4-tal scenarioberekeningen zien hoe de landbouw emissies kan reduceren aan de hand van 4 ontwikkelrichtingen. Daartoe zijn mogelijkheden richting 2050 doorgerekend. Twee ontwikkelrichtingen richten zich op het verminderen van emissies en het verwerven van inkomen. De ene richt zich op verhoging van de productiviteit per dier, de andere richt zich op een meer natuurinclusieve aanpak met een adaptieve landbouw met minder externe inputs. Beide varianten zijn uitgewerkt voor twee beleidsvarianten: matiging van de emissies en sterke inperking door strikte beleidsdoelen. In alle scenario's neemt de akkerbouw af ten opzichte van de huidige situatie. Dit is het gevolg van een daling van het areaal landbouwgrond. Grondgebondenheid van de veehouderij zorgt voor een toenemende grondbehoefte. Bij de scenario's met de striktere beleidsdoelen is het benodigde areaal bos om

landbouwemissies te compenseren de belangrijkste factor die zorgt voor krimp van de akkerbouw. Indien een beperking op het areaal bos wordt ingezet, neemt de krimp van de veehouderij toe ten faveure van de akkerbouw. Dit betekent dat bij een doelstelling van klimaatneutraliteit in Nederland er een zeer groot areaal bos en bomen nodig zal zijn, mogelijk een verdubbeling van het huidige areaal.

Gies et al., (2023) heeft in een studie doelen en maatregelen in de landbouw vanuit meerdere beleidsdoelstellingen verkend waaronder het Klimaatakkoord maar ook de Vogel- en Habitatrichtlijnen, Kaderrichtlijn Water en Nitraatrichtlijn. De effecten van een totaal maatregelenpakket is verkend voor de Nederlandse landbouw met betrekking tot de koolstofvastlegging in bodems, uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar grond- en oppervlaktewater, broeikasgasemissies (koolstofdioxide uit veengrond, methaan en lachgas), ammoniakemissie en stikstofdepositie op natuur. De doelen zijn geregionaliseerd naar provincieniveau op basis van bestaande en beoogde afspraken voor het basisjaar 2020 en voor het jaar 2030 bij vaststaand beleid en twee scenario's. Geconcludeerd wordt dat met de huidige maatregelen het doel voor koolstofvastlegging in minerale gronden niet op landelijk niveau en in geen enkele provincie gerealiseerd wordt. Bij koolstofvastlegging in minerale gronden leidt het afschaffen van derogatie tot een grotere opgave om extra koolstof vast te leggen. Een forse aanpassing van de huidige bedrijfsvoering en het landgebruik (o.a. nog groter aandeel rustgewassen en omzetten van bouwland naar blijvend grasland) zal nodig zijn om de koolstofvastlegging te vergroten.

Binnen Slim Landgebruik heeft op meerdere vlakken onderzoek naar integratie plaatsgevonden¹³. Allereerst biedt de CO₂Bodem tabel (Slier et al., 2024) een overzicht waarin zichtbaar is in welke mate maatregelen een bijdrage leveren aan zowel het klimaatdoel als de doelen voor duurzaam bodembeheer. Daarnaast heeft Slier et al. (2022)¹⁴ verkend in welke mate er synergieën of trade-offs ontstaan met maatregelen die in andere Klimaatprogramma's worden voorgesteld. Daar zijn de volgende conclusies uit getrokken:

- In het programma gericht op bossen is één van de voorgestelde maatregelen het aanplanten van bos op landbouwgrond. Bij de aanplant van bos op landbouwgrond ontstaat een concurrentie om ruimte. De koolstofvastlegging onder bos is aanzienlijk groter dan onder blijvend grasland, waardoor er sprake is van een netto positief effect wanneer landbouwgrond wordt omgezet in bos. In de praktijk wordt deze beslissing sterk gedreven door financiële aspecten. Zolang grond een landbouwfunctie heeft en wordt ingezet voor de productie van ruwvoer, levert het jaarlijks rendement op en behoudt het een hoge grondprijs. Bij omzetting naar bos moet de grond worden afgewaardeerd, aanplant en onderhoud worden bekostigd en wordt er pas na langere termijn (>10 jaar) weer inkomen uit gegenereerd als gevolg van houtkap. In dat opzicht is de aanplant van bos op grond die marginaal geschikt is voor landbouw, het meest voor de hand liggend. In het kader van koolstofvastlegging is het daarentegen logischer om bos aan te leggen op vruchtbare grond met een hoge potentie en snelheid om koolstof op te bouwen.
- Bij het programma gericht op de veehouderij is één van de voorgestelde maatregelen het verhogen van het aandeel mais in het rantsoen. Meer snijmais leidt tot minder methaanemissie via pensfermentatie. Hiervoor zou echter ook meer snijmais moeten worden verbouwd. Dit zou dan ten koste gaan van het areaal grasland. Daardoor wordt minder koolstof in de bodem opgeslagen en vastgehouden. De emissiebalans tussen deze twee effecten hangt uiteraard af van diverse factoren zoals het organische stofgehalte van de grond die wordt omgezet tot snijmais. De eerste modelberekeningen suggereren echter dat het negatieve effect door het omzetten van grasland naar maisland groter is dan het positieve effect op methaanemissie uit pensfermentatie bij meer mais in het rantsoen.

De wens om meer inzicht te verkrijgen in mogelijke ontwikkelingsrichtingen naar 2030 van de koolstofvastlegging in de praktijk heeft geleid tot de studie 'Scenariostudie naar de impact van maatregelen op de koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems: Een overzicht van vier ontwikkelingsrichtingen' (Herbert et al., 2022). In het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) en de daarop aansluitende provinciale gebiedsplannen is een vertaalslag gemaakt van de landelijke potentie naar concrete handelingsperspectieven die op lokaal niveau ingezet kunnen worden. Resultaten laten zien dat het doel van 0,5 Mton CO₂ vastlegging per jaar haalbaar is, maar niet zomaar gehaald wordt bij een lage implementatiegraad of met slechts enkele maatregelen. Bij 25% implementatie haalt geen van de

uitgewerkte scenario's de benodigde hoeveelheid vastlegging. Bij de inzet van een brede set aan maatregelen (Best case) wordt dit bereikt wanneer de maatregelen op ongeveer de helft van het beschikbare areaal worden verwezenlijkt. In een vervolgstudie (Herbert et al., 2023) zijn de mogelijkheden voor koolstofvastlegging op provinciaal niveau verder uitgewerkt en als rekentool beschikbaar gesteld aan de provincies. De studie dient als basis voor gesprek tussen ministerie van LNV en provincies over de mogelijkheden van duurzame bodemmaatregelen in hun regio's. De potentie van elke provincie om koolstof vast te leggen door klimaatmaatregelen te implementeren verschilt sterk per provincie zo wordt geconcludeerd en gevisualiseerd. Ook de maatregelen die genomen kunnen worden verschillen per provincie afhankelijk van bodemtype en landbouwsystemen in de betreffende provincie. Maatregelen die kansrijk zijn voor koolstofvastlegging in het gros van de provincies zijn het telen van extra groenbemesters, het verhogen van het aandeel blijvend grasland, het verhogen van het aandeel graan in het bouwplan en het achterlaten van gewasresten. Maatregelen die maar beperkt bijdragen aan de totale koolstofvastlegging in een provincie zijn vogelakkers en akkerranden. Met behulp van geografische kaarten is door Slier et al., (2023) inzichtelijk gemaakt waar in de provincies de grootste vastlegging kan worden gerealiseerd. Het dominerende bodemtype en de verhouding tussen grasland en bouwland zijn hierbij bepalend.

Aanpalende projecten

PPS Beter Bodembeheer (2017-2023)

De Publiek Private Samenwerking Beter Bodembeheer (PPS Beter Bodembeheer) was een onderzoeksprogramma van een consortium van verschillende partijen waaronder de Brancheorganisatie Akkerbouw en haar leden, het Ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV) en diverse andere partijen uit de plantaardige productieketen. In de PPS is veel aandacht geweest voor integraliteit op verschillende wijze met als belangrijkste twee 1) werken aan behalen van diverse doelen, 2) combineren van diverse maatregelen in één strategie die bijdraagt aan het behalen van die doelen. De PPS is in 2023 afgerond. Een deel van de vragen op dit terrein kan meelopen in een vervolg van Slim Landgebruik richting 2030.

Klimaatneutrale AFOLU

Het Klimaatneutrale AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) project heeft als doel de mogelijkheden en consequenties in beeld te brengen van de mogelijke bijdragen van Nederland aan een klimaatneutrale AFOLU sector op Europees niveau. In 2023 is een rapport (Lesschen et al., 2023) opgeleverd, waarin scenario's zijn uitgewerkt voor 2035 met een doorkijk naar 2050. In dit rapport is ook een analyse gemaakt van de beleidscontext gerelateerd aan klimaatmitigatie. Daarnaast zijn klimaatmaatregelen beschreven en gekwantificeerd in de scenario's. De resultaten laten zien dat emissies vanuit landbouw en landgebruik in 2035 naar verwachting met 14 tot 39% kunnen dalen t.o.v. van een referentiescenario. Private initiatieven lijken naast overheidsbeleid nodig om de doelen te halen. Een alternatief is dat de overheid met generieke maatregelen komt. Met name bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan andere milieudoelstellingen. Inpasbaarheid en draagvlak in de sector is nog wel problematisch en het ontbreekt aan sturing om te zorgen dat de maatregelen daadwerkelijk worden geïmplementeerd. In 2024 wordt een verkenning gedaan die meer ingaat op de Europese dimensie en de consequenties van verschillende verdelingen van de klimaatmitigatie opgave in landbouw en landgebruik.

Re-Ge-NL: vliegwiel voor de transitie naar een regeneratieve, rendabel en maatschappelijk gedragen landbouwsector

Om een vitale landbouwsector voor Nederland te behouden, zal een transitie nodig zijn. Re-Ge-NL richt zich op een transitie op basis van regeneratieve praktijken. Uitgangspunt van het ReGeNL programma, dat in de loop van 2024 start gaat, is dat landbouw samen moet gaan met bodemverbetering en herstel van bodemleven en natuur, waarbij ook de toegevoegde waarde per hectare aanzienlijk zal moeten groeien. Dat worden regeneratieve uitkomsten genoemd. Dat vereist diversificatie van gewassen, van praktijken en van verdienmodellen. Hiervoor is veel ondernemerschap nodig van boeren en ketenspelers om de barrières te slechten en de weg te openen voor een toekomstbestendig verdienmodel, betaalbare transitiekosten, voorspelbaarheid van uitkomsten en kennis over regeneratieve praktijken. Een consortium met meer dan 60 partijen uit de praktijk, wetenschap, keten, banken etc. gaat hier in een gezamenlijk programma richting 2030 aan werken.

Klimaat- en energieverkenning

Jaarlijks wordt door het Planbureau voor de Leefomgeving de Klimaat en Energieverkenning (KEV) uitgebracht. De KEV heeft een expliciete rol in de monitoring van de voortgang van het Nederlandse Klimaatbeleid. In de KEV worden op basis van bestaand, toekomstig en geagendeerd beleid voorspellingen gedaan over emissies in Nederland. Op dit moment worden voor de landgebruikssector – waaronder koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems – enkel specifieke voor deze sector beleidsmaatregelen meegenomen. Interactie tussen verschillend beleid wordt op dit moment niet meegenomen.

5.4.4 Kennishiaten

Op basis van de stand van zaken en de consultaties met beleidsmedewerkers, stakeholders en wetenschappers zijn de volgende kennishiaten geïdentificeerd:

- Wat betekent het geheel aan voorgenomen en geagendeerd beleid, waaronder afschaffing derogatie, voor de ambities voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems en duurzaam beheer van landbouwbodems?
- Hoe krijgt de koolstofvastlegging regionale invulling die ook afgestemd is op regionale condities, waaronder het bodemtype en hoe kan provinciaal beleid hiermee omgaan?
- Welke impact hebben maatregelen uit andere beleidsdossiers op koolstofvastlegging op bedrijfsniveau en wat betekent deze integratie op bedrijfsniveau dan voor het beleid?
- Wat is effect van andere hectare gebaseerde claims zoals biobased gewassen of nieuwe vormen van landgebruik zoals regeneratieve of biologische praktijken of agroforestry voor de regionale C-vastlegging.

5.4.5 Outputs

Om de kennishiaten te dichtten, zijn de volgende outputs van belang:

Output 1: Inzicht in gevolgen aanpalend nationaal landbouwbeleid op koolstofvastlegging

Zoals beschreven in Hoofdstuk 3 zijn er meerdere beleidsplannen en maatregelen die effect kunnen hebben op de potentie voor CO₂ vastlegging in landbouwbodems, dit kan zowel negatief (trade-off) als positief (synergie) zijn. Voor het behalen van de doelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer is het van belang om inzicht te hebben in de effecten van deze trade-offs en synergieën. Via scenarioberekeningen op nationale schaal zouden deze effecten gekwantificeerd kunnen worden. Het effect van de afschaffing van de derogatie is een van de mogelijke trade-offs waar op korte termijn behoefte aan doorrekening voor is.

Output 2: Bijdrage vanuit andere landgebruiksambities aan de potentie voor koolstofvastlegging op provinciaal niveau

In het kader van provinciale gebiedsplannen is het belangrijk om ook een vertaalslag te maken van de potentie voor koolstofvastlegging naar concrete handelingsperspectieven die op regionaal en lokaal niveau ingezet kunnen worden. De meeste doelen zijn verdeeld over de provincies, zodat de doelen beter behapbaar worden en opgaven in samenhang kunnen worden opgepakt. Realisatie van de doelen wordt beschouwd als noodzakelijk en onontkoombaar om de balans te herstellen tussen het landgebruik en de grenzen van de natuurlijke systemen. Zo moet de uitstoot van bijvoorbeeld stikstof, broeikasgassen en de uitspoeling van schadelijke stoffen naar het water en de bodem worden beperkt. Daarnaast is er ruimte nodig voor bomen, bossen en natuur. Maar er zijn ook ambities in de agrarische sector gaande zoals regeneratieve landbouw, biologische landbouw en agroforestry.

Voor ieder van de verschillende opgaven zijn maatregelen gedefinieerd, welke in sommige gevallen gepaard gaan met landgebruiksverandering. Dit kan ten koste gaan van de mogelijkheid om maatregelen zoals reeds onderzocht in Slim Landgebruik (Slier et al., 2024) toe te passen. Echter kunnen deze maatregelen ook bijdragen aan koolstofvastlegging, afhankelijk van de invulling. Zicht op wat waar zou kunnen vraagt om een integratie, waarbij uiteindelijk de beste keuze wordt gemaakt t.b.v. de verschillende maatschappelijke opgaven. Daarbij spelen bodemtype, bedrijfstype en de andere landelijke en regionale opgaven en ambities een rol. Zicht op wat regionaal kan, een vertaalslag naar regionale ambities en zicht op de mogelijkheden gezien de bodemcondities en bedrijfssystemen is nodig. Dit helpt de

beleidsdoelen concreet te maken in de regio's. In deze output zijn regionale bestuurders op de hoogte van de klimaatopgave en hebben ze zicht op de integrale mogelijkheden voor regionale invulling.

Output 3: Inbedding CO₂ opgave op bedrijfsniveau

In Nederland hebben we momenteel te maken met meerdere maatschappelijke doelen die op het boeren- en landbouw- en natuur- en landschapssamenkomen. Denk aan doelen voor biodiversiteit, waterkwaliteit, klimaatmitigatie en gezonde voedselproductie. Om invulling te geven aan deze doelen worden vaak maatregelen en regels opgesteld. Niet altijd zijn deze maatregelen complementair aan elkaar, waardoor een maatregel die goed is voor biodiversiteit wellicht een negatief effect heeft op het klimaat. Dit vraagt om een integrale inpassing van maatregelen op bedrijfsniveau, aangezien dat de plek is waar het beleid samenkomt. Deze inbedding is afhankelijk van het type bedrijf, de regio, bodemtype, rotatie etc. Om daar handen en voeten aan te geven is zicht op de bedrijfssystemen van belang met optimalisatie van de koolstofvastlegging in de bodem – met in achtneming van impact op overige beleidsmaatregelen, zoals de kaderrichtlijn water, mestwetgeving, bufferstroken, etc. Dit is onderdeel van Outcome 1.

Andersom vraagt deze integrale inbedding op bedrijfsniveau echter ook een terugkoppeling naar beleid. Maatregelen om koolstof vast te leggen hebben impact op de omgeving, maar de omgeving heeft ook impact op de mogelijkheden en beperkingen om aan de slag te gaan met koolstofvastlegging in de praktijk. In deze output is een integrale benadering vanuit het bedrijfsniveau gewenst richting beleid. Met daarachter de vraag of de koolstofvastlegging en duurzaam bodembeheer op bedrijfsniveau mogelijk is en, indien dit lastig blijkt, hoe aanpalende regelgeving versterkend dan wel belemmerend werkt op het gestelde doel. Hier zouden aanbevelingen voor aanpassingen in beleid uit kunnen volgen om integratie op bedrijfsniveau te ondersteunen.

Output 4: Overzicht van synergieën en trade-offs tussen beleidsopgaven

Een overzicht van synergieën en trade-offs kan ondersteunend zijn om zicht te krijgen hoe beleid met elkaar samenhangt. Dit kan worden vertaald naar een beslisboom voor beleidskeuzes waarin inzichtelijk wordt gemaakt welke maatregelen en doelen een negatieve impact op elkaar hebben. Idealiter wordt per maatregel en het gehele systeem ook het beoogde effect gegeven (m.a.w. hoe groot is de bijdrage van deze maatregel aan het doel). Dit inzicht helpt het beleid om de juiste te keuzes te maken als het gaat om het stimuleren van maatregelen voor de verschillende maatschappelijke doelen. Het is immers niet denkbaar dat alle maatregelen elkaar enkel en alleen versterken, waardoor het belangrijk is inzichtelijk te maken welke gevolgen keuzes hebben voor aanpalend beleid. Een dergelijke output kan mogelijk worden opgenomen in de Klimaat- en Energieverkenning, waar de voortgang van het klimaatbeleid wordt gemonitord.

5.4.6 Acties

Vanuit bovenstaande outputs kunnen een aantal gewenste acties worden onderscheiden:

Output 1: Inzicht in gevolgen aanpalend nationaal landbouwbeleid op koolstofvastlegging

- Actie 1.1. Verdere uitwerking van beleidsanalyse en identificeren van mogelijk tegenwerkend en versterkend beleid i.r.t. de potentie voor koolstofvastlegging.
- Actie 1.2. Definiëren van scenario's van mogelijke effecten van aanpalend beleid op koolstofvastlegging.
 - *Inzicht en gevolgen van de afschaffing van de derogatie maakt daar onderdeel van uit.*
- Actie 1.3. Doorrekening van de scenario's op nationale schaal.

Output 2: Bijdrage vanuit andere landgebruiksambities aan de potentie voor koolstofvastlegging op provinciaal niveau

- Actie 2.1. Effecten van andere hectare gerelateerde ambities en veranderend landgebruik op regionale schaal worden in kaart brengen.
 - Prioriteit hebben ambities rond biobased gewassen, biologische- en regeneratieve praktijken en agroforestry.
- Actie 2.2. De effectiviteit van agroforestry systemen is verkend per type systeem bijvoorbeeld in lopende pilots aangevuld met literatuur.
- Actie 2.3. Biobased gewassen zoals miscanthus, hennep, vlas, zijn beoordeeld op hun effectiviteit voor koolstof vastlegging in bodem en gewas via metingen dan wel literatuurinschattingen.

- Actie 2.4. De effectiviteit van maatregelen bij regeneratieve praktijken en in biologische systemen is met aanvullende koolstofmetingen bepaald, geanalyseerd en vertaald in effectiviteit in termen van C-vastlegging
- Actie 2.5. Per regio is inzichtelijk gemaakt hoeveel hectare beschikbaar is voor deze 'andere ambities', waar die opgaven liggen (bodemtypes), en wat het huidige landbouwkundige gebruik van die gronden is.
- Actie 2.6. Vastlegging en ambities worden bij de integratie bij elkaar gebracht en vertaald naar kansen/ambities voor koolstofvastlegging via dergelijke 'nieuwe' opgaven per gebied.

Output 3: Inbedding CO₂ opgave op bedrijfsniveau

- Actie 3.1. Beleidsmatige kansen en knelpunten voor C-vastlegging in beeld brengen gezien vanuit bedrijfsniveau en o.a. effecten van mest, nitraatrichtlijn, bufferstroken etc.
- Actie 3.2. Opschaling van de resultaten uit Outcome 1 met consequenties richting beleid in beeld brengen. Hierbij ligt de focus op kansen en knelpunten voor koolstofvastlegging gezien vanuit bedrijfsniveau, waarbij o.a. wordt gekeken naar effecten van het mestbeleid, nitraatrichtlijn, bufferstroken, etc.
- Actie 3.3. Met (model)berekeningen laten zien waar en hoe aanpalend beleid de C-vastlegging, lachgasemissie, C/N verhouding in de bodem en potentiële stikstofuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater beïnvloeden
- Actie 3.4. In een rapportage wordt inzichtelijk gemaakt welk aanpalend beleid versterkend dan wel verzwakkend werkt op het potentieel van bedrijven om koolstof vast te leggen, uitgesplitst naar regio.
- Actie 3.5. Per type aanpalend beleid is in kaart gebracht welke maatregelen er ingezet kunnen worden om de verschillende beleidsdoelen te halen.

Output 4: Overzicht van synergieën en trade-offs tussen beleidsopgaven Met:

- Actie 4.1. Met behulp van een matrix wordt inzichtelijk gemaakt welke maatregelen potentieel invloed op elkaar hebben (positief of negatief).
- Actie 4.2. Voor maatregelen waar synergieën/trade-offs optreden is bepaald hoe groot het effect van de individuele maatregel is en welke impact de andere maatregel daarop heeft.
- Actie 4.3. De maatregelen worden verzameld bijvoorbeeld in een beslisboom, waarbij inzichtelijk is welke maatregelen bijdragen aan de verschillende beleidsdoelen en of en wanneer er synergieën/trade-offs optreden met andere beleidsdoelen.

5.5 Outcome 5: De potentie van koolstofvastlegging voor duurzaam bodembeheer is inzichtelijk en wordt toegepast op het bedrijf



Figuur 15 Uitwerking van de Theory of Change voor Outcome 5. Een beschrijving van de outcome en de bijbehorende outputs en acties wordt in dit hoofdstuk gegeven.

5.5.1 Aanleiding

De bodem staat centraal voor het leveren van een groot aantal ecosysteemdiensten. Gerelateerd daaraan zijn er een aantal beleidsdoelen die direct of indirect betrekking hebben tot de bodem, en haar ecosysteemdiensten (ESD). Binnen Slim Landgebruik is de primaire onderzoeksvraag hoe er extra koolstof kan worden opgeslagen in de bodem. Hiervoor zijn verschillende (combinaties van) maatregelen onderzocht (zgn. koolstofvastleggende maatregelen) die een boer kan nemen. Het werken aan koolstofvastlegging moet een bijdrage leveren aan zowel klimaat als duurzaam bodembeheer, omdat (landbouw)bodems naast hun rol in klimaatmitigatie, een voortdurende bijdrage kunnen leveren aan andere belangrijke ESDs, zoals bodemvruchtbaarheid (het vermogen om de groei van gewassen te ondersteunen), waterregulatie en -zuivering, het bieden van een habitat voor (bodem)biodiversiteit en het bijdragen aan klimaatadaptatie. Daarnaast is het belangrijk om de onderlinge verbondenheid van de genoemde bodem ESDs met de koolstofdynamiek van de bodem te benadrukken, want de effecten van maatregelen op ESDs kunnen potentieel leiden tot positieve of negatieve terugkoppelingen naar het doel van koolstofvastlegging op lange termijn. Het is daarom zowel voor het beleidsdoel 'alle landbouwbodems duurzaam beheerd in 2030' als ook voor het beleidsdoel '0,5 Mt extra CO₂-opslag in de bodem' van belang om te weten hoe de koolstofvastlegging bijdragen aan 'duurzaam bodembeheer' zonder negatieve afwenteling, maar ook andersom.

5.5.2 Beschrijving van de outcome

In het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL) is vastgesteld dat alle landbouwbodems (1,8 miljoen hectare) in 2030 duurzaam worden beheerd, waarbij tevens aan de klimaatdoelstelling van 0,5 Mton CO₂-vastlegging in acht moet worden genomen. In het NPL worden de volgende pijlers genoemd om tot dit doel te komen:

1. komen tot eenduidige en praktische instrumenten om de bodemkwaliteit te meten
2. maatregelen voor duurzaam bodembeheer benoemen en te monitoren
3. aansluiten bij de praktijk en bestaande initiatieven
4. duurzaam bodembeheer economisch aantrekkelijk maken

Bovenstaande punten vormen de basis voor deze Outcome. Als het ware zijn dit randvoorwaarden om tot de gewenste impact te komen, namelijk het duurzaam beheren van alle landbouwbodems in 2030. Het belang van bovengenoemde punten worden hieronder toegelicht. Wat betreft het eerste punt is het opvallend dat er wordt gesproken over *bodemkwaliteit*, opgedeeld in fysische, chemische en biologische aspecten. Hierbij krijgt koolstof een centrale plaats. Vervolgens worden er binnen het NPL de volgende bodemfuncties genoemd: *bodemvruchtbaarheid, waterkwaliteit, klimaatadaptatie en waterbuffering, biodiversiteit en klimaatmitigatie en CO₂ vastleggen*.

De FAO (2017) gebruikt de volgende definitie voor duurzaam bodembeheer: '*Bodembeheer is duurzaam als de ondersteunende, leverende, regulerende en culturele diensten die door de bodem worden geleverd, behouden of verbeterd worden zonder de bodemfuncties die deze diensten mogelijk maken of de biodiversiteit significant te verslechteren. Het evenwicht tussen de ondersteunende en leverende diensten voor plantenproductie en de regulerende diensten die de bodem levert voor waterkwaliteit en -beschikbaarheid en voor de samenstelling van broeikasgassen in de atmosfeer is met name van belang.*'

Wat er volgens het ministerie van LNV wordt verstaan onder agrarisch duurzaam bodembeheer wordt momenteel uitgewerkt. Daarbij is een goed gedefinieerd beoordelingskader noodzakelijk om de realisatie van het beleidsdoel te monitoren en de verder benodigde inzet te bepalen. Ook is een instrument of beoordelingskader de basis om systemen voor koolstofvastlegging op effectiviteit te evalueren. Wat betreft aansluiten bij de praktijk en bestaande initiatieven is het van belang dat er naar voor de praktijk relevante maatregelen en maatregelenpakketten wordt gekeken, op bedrijfsniveau komen namelijk verschillende maatregelen samen. Het economisch aantrekkelijk maken van maatregelen begint met inzicht in de financiële consequenties van maatregelen(pakketten), zoals wordt benoemd in Outcome 1.

5.5.3 Stand van zaken

Over de kwaliteit van de (landbouw)bodems in Nederland en Europa bestaan verschillende berichten. De Europese Commissie geeft aan dat meer dan 60% van de Europese en 80% van de Nederlandse bodems 'unhealthy' is en dat verdere achteruitgang dreigt (EC, 2021). De kwaliteit van meer dan de helft van de bodems in Europa zou gedegradeerd zijn (Virto et al., 2016). Problemen bestaan zowel op het chemische vlak (verontreiniging, verzilting, verzuring, overbesteding en uitputting), fysische vlak (verdichting en structuurverlies), biologisch vlak (afname in bodem organische koolstof en afname van het bodemleven) en het verlies van vruchtbare grond door water- en winderosie (Virto et al., 2015) en natuurbranden. Het is van groot sociaal-economisch belang de achteruitgang in kwaliteit van deze bodems te stoppen en herstel te bevorderen. Het bodemmanagement, en dus de keuze voor maatregelen, speelt hierbij een doorslaggevende rol (EEA, 2023). Er zijn inventarisaties gedaan voor Nederland in hoeverre welke bodemmaatregelen worden toegepast (Slier et al., 2022; Heller et al., 2024). Naar het effect van maatregelen op de bodem zijn verschillende onderzoeken gedaan, elk met een eigen focus.

In de afgelopen jaren is er binnen Slim Landgebruik in eerste instantie gekeken naar het effect van koolstofvastleggende maatregelen ten behoeve van het halen van klimaatdoelen en in tweede instantie naar het meekoppelen van bodemkwaliteitsdoelen. Dit is gedaan op basis van een brede set aan bodemindicatoren volgens de BLN1.0 (Hoogmoed et al., 2021; Schepens et al., 2022; Hoogmoed et al., 2023; Vervuurt et al., in prep.). Vanuit Slim Landgebruik is op deze

wijze gekeken in welke mate 'koolstofvastleggende maatregelen' uit Slim Landgebruik bijdragen aan het duurzaam beheeren van de minerale landbouwbodems. De set aan maatregelen om te komen tot 'duurzaam bodembeheer' is breder dan enkel de 'koolstofvastleggende maatregelen', maar deze additionele maatregelen hebben binnen Slim Landgebruik tot dusver geen aandacht gehad, omdat de focus enkel lag op klimaatmitigatiedoelen. Daarbij kan de vraag worden gesteld of koolstofvastlegging ten behoeve van klimaat niet op een andere manier moet worden gerealiseerd dan koolstofopbouw ten behoeve van bodemkwaliteit in zijn algemeenheid.

Binnen de PPS Beter Bodem Beheer is er gekeken naar effecten van maatregelen binnen de akkerbouw op verschillende ecosysteemdiensten (de Haan et al., 2018; Selin Nóren et al., 2021; Selin Nóren et al., 2022; Dekkers et al., 2023; Wesselink et al., 2023; Vervuurt et al., 2023). Er is met name gekeken naar gewasopbrengst, maar ook naar eigenschappen van de bodemstructuur, nutriëntenoverschotten, stikstofresidu in de bodem en nitraatconcentratie in het grondwater, het koolstofgehalte in de bodem, bodembioologische aspecten en de toepasbaarheid in de praktijk. Daarnaast is op Europese schaal binnen European Joint Programme SOIL (EJP Soil) gekeken naar de toepassing van *sustainable soil management* en het effect op (bodem gerelateerde) *societal challenges* (Heller et al., 2024; Keesstra et al., 2020). In alle 27 deelnemende landen binnen dit programma zijn de effecten van ruim 30 maatregelen op uitdagingen zoals koolstofopslag, bodemstructuur, bodemnutriënten, klimaatadaptatie, bodembioologie, bodemkwaliteit en opbrengend vermogen geïnventariseerd.

In en om Nederland zijn in diverse andere proeven de effecten van verschillende maatregelen onderzocht (e.g. D'Hose et al., 2016; Willekens et al., 2014; Elhakeem et al., 2021). Veelal betreft dit effecten op één of enkele bodemkwaliteitsindicatoren of ecosysteemdiensten. Een systematisch kwantitatief overzicht van de bijdrage van maatregelen aan duurzaam bodembeheer op basis van veldproeven ontbreekt, wel zijn een deel van de aspecten al bekend (de Haan et al., 2023).

Daarnaast wordt er vanuit het Ministerie van LNV met het 'Dashboard duurzaam bodembeheer' gekeken wat het effect is van het huidige Gemeenschappelijke Landbouw Beleid (GLB) op bodemkwaliteit op basis van de informatie uit de gecombineerde opgaven.

Ook kan worden vermeld dat de Europese Commissie een voorstel heeft gedaan voor een EU Richtlijn Bodemmonitoring (Soil Monitoring and Resilience Directive, EC 2023), waarin een lijst is opgenomen van maatregelen die bodemgezondheid bevorderen. Lidstaten worden gestimuleerd om deze lijst naar eigen inzicht uit te breiden en in de praktijk te implementeren.

Bodemmanagement

De EC heeft een lijst opgesteld met 12 beginselen waaraan maatregelen die bijdragen aan '*duurzaam bodembeheer*' aan moeten voldoen. Dit omvat o.a. het bedekt houden van de bodem, het beperken van de fysieke bodemverstoring, het afstemmen van de bemesting op de bodem en het maximaliseren van de efficiëntie van irrigatiesystemen. Bijbehorende maatregelen zijn in meer en mindere mate onderzocht. De kennis over zulke maatregelen, o.a. voortkomend uit SL, wordt hieronder uiteengezet. Welke (combinatie van) maatregelen waar het best kunnen worden toegepast is nog niet voldoende uitgewerkt.

In het algemeen kan gesteld worden dat maatregelen met betrekking tot bodembewerking met name effect hebben op de bodemstructuur (Selin Norén et al., 2022; D'Hose et al., 2016; Crittenden, 2015), maar ook op de stikstofvoorraad en -verliezen (Dekkers et al., 2023; Wesselink et al., 2023). Het effect op gewasopbrengsten is afhankelijk van de uitgevoerde bodembewerking en de gekozen gewassen. Zo bleek op een kleigrond fijnzadige gewassen zoals ui en peen niet te profiteren van niet-kerende grondbewerking (NKG) ten opzichte van ploegen, terwijl NKG op een zandgrond leidde tot een hogere opbrengst bij aardappel en zomergerst (Selin Norén et al., 2022). Binnen Slim Landgebruik is het effect van NKG op bodem organische (kool)stof onderzocht. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de maatregel NKG

niet bijdraagt aan het extra vastleggen van koolstof in de bodem (Schepens et al., 2024). NKG lijkt wel te leiden tot een andere verdeling van bodem organische (kool)stof in de bouwvoor (D'Hose et al., 2016; Hofbauwer et al., 2022; Dekkers et al., 2023; Wesselink et al., 2023; Lesschen et al., 2021). Ook het effect van NKG op de bodembioëcologie is niet eenduidig (Selin Norén et al., 2022; Vervuurt et al., 2023; Hoogmoed et al., 2021; Wesselink et al., 2023; D'Haene et al., 2008; D'Hose et al., 2016). Toch is er een indicatie dat bodembewerking negatieve consequenties kan hebben voor zogenoemde sleutelsoorten in de rhizosfeer, zoals mycorrhiza, die belangrijk kunnen zijn voor plantengroei en een aantal andere bodemecosysteemdiensten (Peng et al., 2023). Ook van wormen is bekend dat ze gevoelig zijn voor grondbewerking en hun aantallen afnemen bij intensieve grondbewerking (Briones & Schmidt, 2017; Crittenden, 2015). Vanuit een integraal perspectief op bodemgezondheid (met inachtneming van synergieën en afwegingen) toonden Wittwer et al. (2020) aan dat verminderde grondbewerking de algehele bodemgezondheid verbetert, met name door het versterken van regulerende en ondersteunende ecosysteemdiensten, zoals behoud van biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit en klimaatmitigatie. Echter, met het oog op duurzaam bodembeheer in de praktijk blijft de invloed van bodembewerking op meerdere ecosysteemdiensten onzeker. Zo vonden Walder et al. (2023) dat het eerder een combinatie van maatregelen is die bijdraagt aan multifunctionele en productieve bodems, in plaats van de bewerkingsregimes die boeren gebruikten.

De effecten van maatregelen die betrekking hebben op een ruimer bouwplan op het functioneren van de bodem zijn beperkt beproefd. Op basis van praktijkpercelen uit de netwerken van Slim Landgebruik werd nauwelijks een verschil vastgesteld tussen bouwplannen met een lager of hoger aandeel graan in het bouwplan op bodemkwaliteitsindicatoren (Vervuurt et al., in prep.). Op basis van (oude) proeven werd in sommige gevallen vastgesteld dat bouwplannen met meer graan of graszaadteelt leidden tot een hoger bodem organisch stof gehalte (Flood et al., 1992; Hoekstra & Lamers, 1993; Rops et al., 1996). De organische bemesting, welke samenhangt met de teelten, heeft hierop een grote invloed. In meerdere proeven werd een effect van het geteelde gewas op de bodemstructuur vastgesteld, gezien over de vruchtwisseling bleef dit verschil niet bestaan (Hoekstra en Lamers, 1993; Rops et al., 1996). Het effect op de opbrengst is niet eenduidig, en sterk afhankelijk van de teeltkeuzes en het gebruik van resistente rassen (Flood et al., 1992; Wijnholds & van den Berg, 1995; Wijnholds et al., 2004; Rops et al., 1996). Het verschil in uitspoelingsrisico van verschillende teelten is deels bekend (van Dijk & Schröder, 2007), een bouwplan met minder uitspoelingsgevoelige gewassen kan bijdragen aan het verbeteren van de waterkwaliteit (van Boekel et al., 2021; Oenema 2020). Ook het telen van groenbemesters of vanggewassen is doorgaans effectief in het verlagen van (het risico op) stikstofuitspoeling (e.g. van Geel & Verstegen, 2008; Dekkers et al., 2023; Porre et al., 2020; Schröder et al., 1992; van Dijk et al., 1995). Het effect van groenbemesters op de bodemstructuur is niet eenduidig, en afhankelijk van het type groenbemester en de locatie (Vervuurt et al., in prep.; Gentsch et al., 2023; Grunwald et al., 2022; van Geel et al., 2007; Hoogmoed et al., 2023). Ditzelfde geldt voor de bodembioëcologie (Porre et al., 2020; Gentsch et al., 2020; Barel et al., 2019; Martínez-García et al., 2018). Groenbemesters dragen beperkt bij aan de opbouw van bodem organische stof, de herhaaldelijke teelt van geslaagde groenbemesters is hiervan bij belang (Hoogmoed et al., 2023; Selin Norén et al., 2022; Porre et al., 2020). Ook het effect op de gewasopbrengst is niet eenduidig (Selin Norén et al., 2022; van Geel et al., 2007; Wittwer et al., 2017), en sterk afhankelijk van de gewascombinaties en limiterende factoren. Met betrekking tot het balanceren van meerdere duurzaamheidsdoelen is gebleken dat het realiseren van langere bodembedekking (bv. door gebruik van groenbemesters) voordelig is voor het balanceren van gewasopbrengst en diverse bodemfuncties (Garland et al., 2021). Echter, hoe groot dit effect is in specifieke biogeografische regio's moet nog worden onderzocht.

Watergerelateerde maatregelen, zoals (peilgestuurde)drainage of irrigatie, kunnen een positief effect hebben op verschillende ecosysteemdiensten (de Haan et al., 2023). Een betere vochtvoorziening draagt bij aan een betere nutriëntbenutting. Daarnaast vermindert peilgestuurde drainage het risico op af- en uitspoeling van stikstof en fosfaat (STOWA, 2012; 2017). Conventionele drainage heeft een positief effect op de reductie van afspoeling van stikstof, maar een negatief effect op de reductie van uitspoeling van stikstof (STOWA, 2017). Op andere ecosysteemdiensten is het effect mogelijk beperkt (de Haan et al., 2023).

Bij maatregelen rond bemesting kan het gaan om organische bemesting of de hoogte van de bemesting. In SL is er gekeken naar organische bemesting met verschillende soorten dierlijke mest of compost (Hoogmoed et al., 2021; Schepens et al., 2022). Het effect van organische stof aanvoer op het verhogen van de bodem-C is veelvuldig onderzocht (Willekens et al., 2014; D'hose et al., 2016; Leroy, 2008; Cougnon et al., 2010). Kort samengevat trad een stijging van bodem organische (koolstof) met name op bij een hoge dosering van compost en maaimeststoffen, bij dierlijke mest werd dit minder zichtbaar. De bodembioïologie profiteert doorgaans van de aanvoer van organisch materiaal, al zijn de effecten erg locatiespecifiek en hangt voor een groot deel samen met het geteelde gewas en klimaat (Hannula et al., 2021, Willekens et al., 2014, D'Hose et al., 2016). Met de aanvoer van organische mest of compost verandert ook de aanvoer en beschikbaarheid van nutriënten, dit heeft mogelijk invloed op de nutriëntentoestand in de bodem, gewasopbrengsten en het risico op uitspoeling (Schepens et al., 2022; Vervuurt et al., 2023; Bakker et al., 2020; Timmermans et al., 2023; Selin Norén et al., 2022; Wesselink et al., 2023).

Wat betreft de veehouderij kan er gedacht worden aan maatregelen zoals kruidenrijk grasland, meer blijvend grasland of beweidingsregimes. Grasland gaat gepaard met een hoger bodem organisch stof gehalte dan bouwland (Schepens et al., 2022). Het omzetten van bouwland naar grasland of het verhogen van de leeftijd van grasland gaat gepaard met meer C-vastlegging. Een hoog bodem organisch (kool)stof gehalte onder grasland gaat gepaard met meer microbiële biomassa in vergelijking tot jong grasland of bouwland (van Eekeren et al., 2008). Ook op de stikstofdynamiek is er een effect van het omzetten van grasland naar bouwland of andersom. Het scheuren van grasland versnelt de mineralisatie van organische stikstof, na graslandvernieuwing is er minder organische stikstof in de bodem aanwezig (Schils et al., 2007). Indien de minerale stikstof niet goed wordt opgenomen door het volggewas kan dit leiden tot verliezen (Schils et al., 2007). Bij de herinzaai van gras herstelt het bodem stikstofgehalte zich snel (Velthof et al., 2000), waardoor een effect mogelijk beperkt is. Het effect van kruidenrijk grasland op bodemkwaliteitsindicatoren lijkt vooralsnog beperkt te zijn (Vervuurt et al., in prep.).

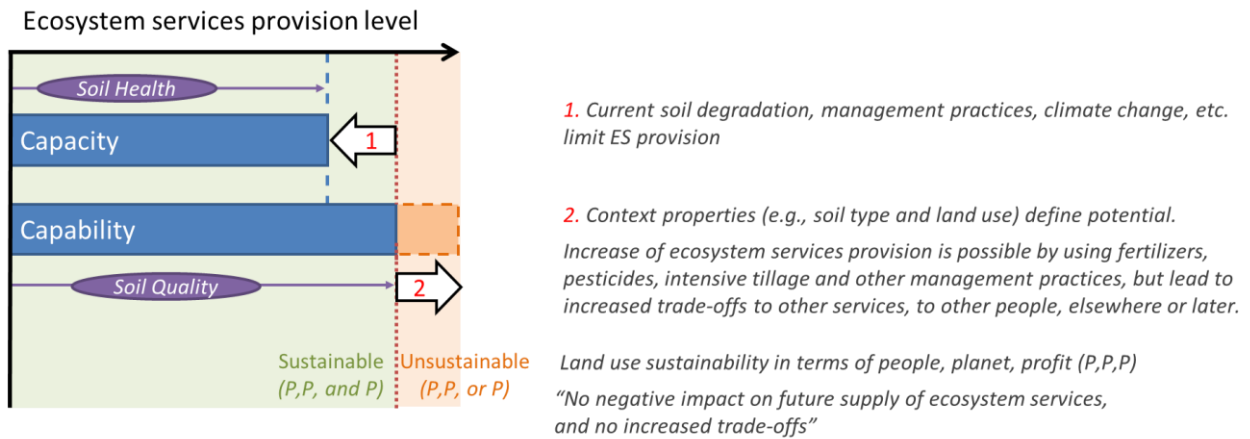
Daarnaast zijn nog andere maatregelen die relevant kunnen zijn voor het verbeteren van de bodem. Enkele voorbeelden daarvan zijn het gebruik van vaste rijpaden, mengteelten, akkerranden, gebruik van lichtere machines of agroforestry. Een breed overzicht wordt gegeven in de Haan et al. (2023).

Beoordelingskader

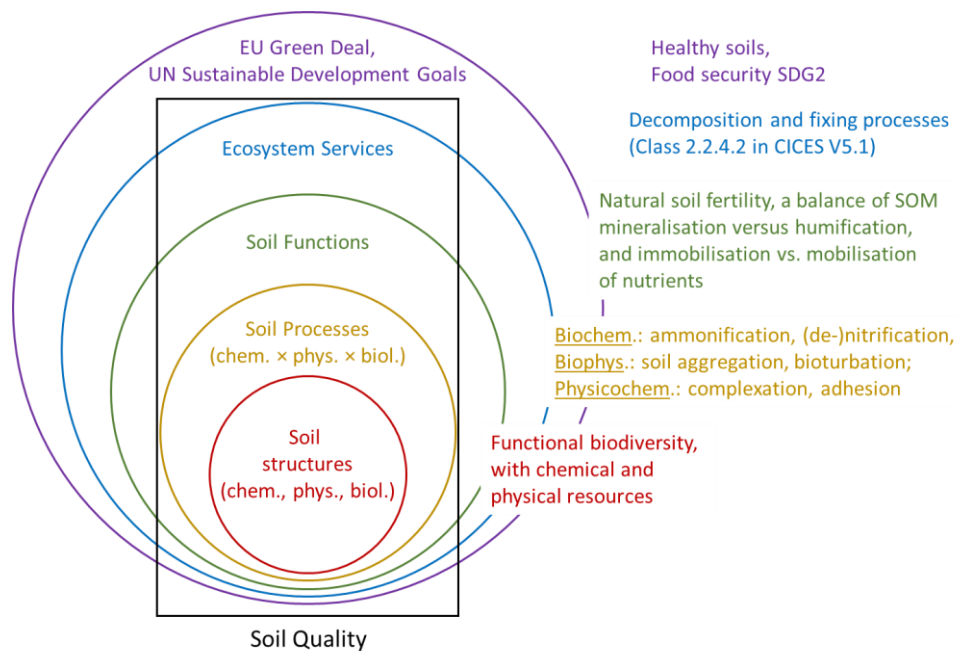
Er is veel onderzoek gedaan naar het beoordelen en monitoren van de bodemkwaliteit, bodemfuncties en ecosysteemdiensten, en er zijn daarvoor verschillende methodieken ontwikkeld en geëvalueerd (e.g. Faber et al., 2022; Bünemann et al., 2018; van Leeuwen et al., 2017; Drobnik et al., 2018; Orgiazzi et al., 2017; Lehmann et al., 2020, Zwetsloot et al., 2022). Sommige daarvan zijn op het niveau van bodemindicatoren (e.g. BLN 1.0), andere op het niveau van ecosysteemdiensten (e.g. Soil Navigator, Open Bodem Index, BLN 2.0), een andere mogelijkheid is om het management te beoordelen of te dienen als *decision support tool* (e.g. KPI's, bedrijfsbodemwaterplan, cool farm tool, kringloopwijzer, mijn bodem conditie score). De EC doet een voorstel op het niveau van indicatoren (EC, erosie, koolstofgehalte, bulkdichtheid, extraheerbare fosfor, stikstofgehalte, pH, concentratie van zware metalen in de bodem, bodemvochthoudend vermogen en bodemrespiratie). De link naar ecosysteemdiensten, zoals voorgesteld in de definitie van bodemgezondheid (zie Bijlage 2), wordt hierbij niet gemaakt. Een geschikte methodiek schept enerzijds het kader van indicatoren die gerelateerd zijn aan beoogde bodemfuncties en daaruit voortvloeiende ecosysteemdiensten. Daarnaast beschrijft de methodiek de afleiding van beoordelingscriteria voor de indicatoren, zo mogelijk gebaseerd op relevante achtergrondgegevens. Ook omgekeerd, vanuit het perspectief van wenselijke ecosysteemdiensten en daartussen optredende trade-offs die beleidsmatig dienen te worden geëvalueerd in het kader van duurzaam bodemgebruik moet te herleiden zijn welke bodemindicatoren hier van betekenis zijn.

Er zijn verschillende conceptuele raamwerken waarin verbinding wordt gelegd tussen bodemkwaliteitsindicatoren, bodemfuncties en ecosysteemdiensten. Faber et al. (2022) geven toelichting op de plus- en minpunten van de verschillende beoordelingskaders. Alle kritiek samen genomen komt het erop neer dat géén van de gepubliceerde kaders op zichzelf voldoende geschikt is voor bodemmonitoring en de evaluatie van bodemgezondheid wanneer dat

met inbegrip van ecosystemendiensten zou moeten gebeuren zoals bedoeld onder de vernieuwde EU Bodemstrategie (afgaande op de Soil Mission rapporten; Veerman et al., 2020, Giuffr  et al., 2023) en het voorstel voor een EU Soil Monitoring and Resilience Law (EC, 2023). Daarnaast is het de vraag in hoeverre een systematiek welke geschikt is voor de EU Soil Monitoring Law geschikt is voor het beoordelen van ‘duurzaam bodembeheer’.



Figuur 16 Figuurlijke representatie van de begrippen bodemkwaliteit en bodemgezondheid in termen van levering van ecosystemendiensten binnen de grenzen van duurzaam landgebruik (Faber et al., 2022).



Figuur 17 Schematische weergave van begrippen rond het functioneren van bodems, met een maatschappelijke, beleidsmatige context (Faber et al., 2022).

5.5.4 Kennishiaten

De kennishiaten om te komen tot duurzaam bodembeheer vanaf 2030 bevinden zich op verschillende vlakken, welke hieronder uiteen gezet worden.

- Beoordelen van duurzaam bodembeheer: Zoals aangegeven in de paragraaf ‘Stand van zaken’ is er momenteel geen geschikte methode om te beoordelen of een maatregel bijdraagt aan duurzaam bodembeheer. Met name de kwantitatieve relaties tussen bodemindicatoren, bodemfuncties en ecosysteemdiensten met bijbehorende *thresholds* en streefwaarden ontbreken (Faber et al., 2022). Om beleidsdoelen te monitoren en inzicht te verkrijgen in hoeverre maatregelen bij kunnen dragen aan dit beleidsdoel is er behoefte aan een monitorings- of beoordelingssysteem (Virto et al., 2015; Blom et al., 2022). Ook de EC benadrukt de noodzaak van een dergelijk kader (EC, 2023). Voor het behalen van het beleidsdoel is het belangrijk om te concretiseren wat wordt bedoeld met ‘*duurzaam bodembeheer*’ inclusief duidelijke streefwaarden (Blom et al., 2022). Vanuit verschillende (onderzoeks)projecten wordt er aan beoordelingssystematieken gewerkt (e.g. BLN2.0, LANDMARK, BENCHMARKS).
- Kwantitatief overzicht van effecten van maatregelen op duurzaam bodembeheer: In het kader van Slim Landgebruik is het effect van maatregelen op bodemkwaliteitsindicatoren onderzocht vanuit het perspectief van klimaatmitigatie. Er is dus met name gekeken naar het effect van koolstofvastleggende maatregelen op de bodemkwaliteit. Overige maatregelen zijn daarbij buiten beschouwing gelaten, terwijl deze mogelijk wel kunnen bijdragen aan ‘*duurzaam bodembeheer*’. Ook het effect van maatregelen op gewasopbrengsten en stikstofefficiëntie en het risico op uitspoeling heeft vanuit het bodembeleid vooralsnog beperkte aandacht gekregen, terwijl stakeholders aangeven dit belangrijk te vinden. Vanuit andere projecten (zie paragraaf ‘Stand van zaken’) is gewerkt vanuit andere invalshoeken en zijn andere maatregelen of effecten wel meegenomen. Een kwantitatief overzicht van de effecten van maatregelen op ‘*duurzaam bodembeheer*’ ontbreekt vooralsnog. Wel is er in Slim Landgebruik een kwalitatieve analyse uitgevoerd naar het effect van koolstofvastleggende maatregelen op verschillende bodemfuncties.
- Verdergaande consequenties van maatregelen: Ook een vertaling naar de praktijk ontbreekt. Denk bijvoorbeeld aan wanneer een bepaalde maatregel leidt tot een hoger watervasthoudend vermogen, wat zijn daarvan de consequenties voor de praktijk: om hoeveel vocht gaat dit, spaart dit een berekening uit?
- Samenhang tussen ecosysteemdiensten: Daarnaast is er vanuit Slim Landgebruik gekeken naar het effect van maatregelen op bodemkwaliteitsindicatoren. Inzicht in het effect van een verhoging van bodem organische koolstof op overige ecosysteemdiensten ontbreekt grotendeels. Dit geldt ook voor de samenhang tussen ecosysteemdiensten. In het licht van de Europese wetgeving, welke erop gericht is dat *trade-offs* tussen ecosysteemdiensten niet mogen toenemen, is inzicht in de onderlinge relaties tussen ecosysteemdiensten relevant.
- Koolstofvastlegging voor klimaat of voor ESDs: Binnen Slim Landgebruik is er met name gekeken naar de potentie voor koolstofvastlegging voor klimaatmitigatiedoeleinden, waarbij tevens is beoordeeld welk effect er ontstaat op verschillende bodemindicatoren. Wanneer er echter wordt geredeneerd vanuit het belang van ecosysteemdiensten, kan de vraag worden gesteld of koolstofvastlegging ten behoeve van klimaat niet een andere focus kent dan koolstofopbouw ten behoeve van bodemkwaliteit in zijn algemeenheid.

5.5.5 Outputs

Output 1: Duurzaam bodembeheer is gedefinieerd en vastgesteld en een bijbehorende beoordelingssystematiek voor duurzaam bodembeheer is beschikbaar

Het beleidsdoel ‘alle landbouwbodems duurzaam beheerd in 2030’ is dusdanig geformuleerd omdat erkend wordt dat processen in de bodem lang duren en het substantieel verbeteren van de bodemkwaliteit (mate waarin de bodem ecosysteemfuncties kan leveren) vaak niet binnen een paar jaar meetbaar is. Duurzaam bodembeheer is een handeling

waarmee de boer sneller zou kunnen schakelen en dus sneller zou kunnen worden beoordeeld of er gewerkt wordt richting een betere/ behouden van goede bodemkwaliteit, en daarmee behoud of verbetering van ecosysteemdiensten. Toch behoeft de omschrijving ‘*duurzaam bodembeheer*’ een duidelijkere definitie, zodat in de beoordeling hierbij kan worden aangesloten. Resulteert ‘*duurzaam bodembeheer*’ bijvoorbeeld in een verbetering van ecosysteemdiensten? Zo ja, welke en weegt elke ecosysteemdienst even zwaar? Of blijft het op een lager aggregatieniveau, bv. bodembeheer wat ervoor zorgt dat de bodemindicatoren richting of binnen een bepaald streefniveau blijven? Een dergelijke systematiek dient verschillende doelen: het beoordelen in hoeverre bodems ‘*duurzaam beheerd*’ worden (bij wijze van 0-meting), het monitoren van het beleidsdoel ‘alle landbouwbodems worden duurzaam beheerd in 2030’ en het bepalen welke maatregelen bijdragen aan ‘*duurzaam bodembeheer*’. Voor het kwantificeren van “effecten van klimaatmaatregelen op ecosysteemdiensten” of de bijdrage aan ‘*duurzaam bodembeheer*’ moet een duidelijk beoordelingskader bepaald worden. De ambitie van deze Outcome is om inzicht te krijgen in effecten van klimaatmaatregelen op ‘*duurzaam bodembeheer*’. Binnen Nederland (Slim Landgebruik) is tot nu toe gekeken naar de (lange termijn) effecten van klimaatmaatregelen op *bodemindicatoren*. Voor de vertaling van *bodemindicatoren* naar ‘*duurzaam bodembeheer*’ is nog geen algemeen gehanteerde systematiek beschikbaar (zie kopje ‘kennishiaten’) en dit ligt/lag buiten de scope van Slim Landgebruik. In Nederland en Europa zijn wel onderzoeksprogramma's waarin hieraan gewerkt wordt (bv de ontwikkeling van BLN 2.0 en het Europese Landmark project). In de SL rapportage van 2024 is een eerste verkenning gedaan met de systematiek van de Open Bodem Index/BLN 2.0. Idealiter sluit de beoordelingsystematiek aan bij de Europese beleidsdoelen omtrent de *Soil Monitoring Law*.

Output 2: De positieve en negatieve bijdrage van maatregelen en bedrijfssystemen aan ‘duurzaam bodembeheer’ zijn gekwantificeerd

Met een duidelijk beoordelingskader kan worden vastgesteld in hoeverre maatregelen, of verschillende typen bedrijfssystemen, bijdragen aan ‘*duurzaam bodembeheer*’.

Een agrarische ondernemer neemt zelden één maatregel tegelijkertijd op het bedrijf. De combinaties aan maatregelen wordt voor een groot deel door de omstandigheden bepaald. Het bodemmanagement bestaat uit verschillende aspecten, en daarom de combinatie tussen verschillende keuzes in maatregelen. Bij deze keuzes is het van belang te weten hoe maatregelen zicht tot elkaar verhouden, en daarmee het effect op de bodemkwaliteit versterken of tegenwerken. Voor het kwantificeren van effecten van de bedrijfssystemen wordt aangesloten bij de definiëring van de bedrijfssystemen binnen Outcome 1.

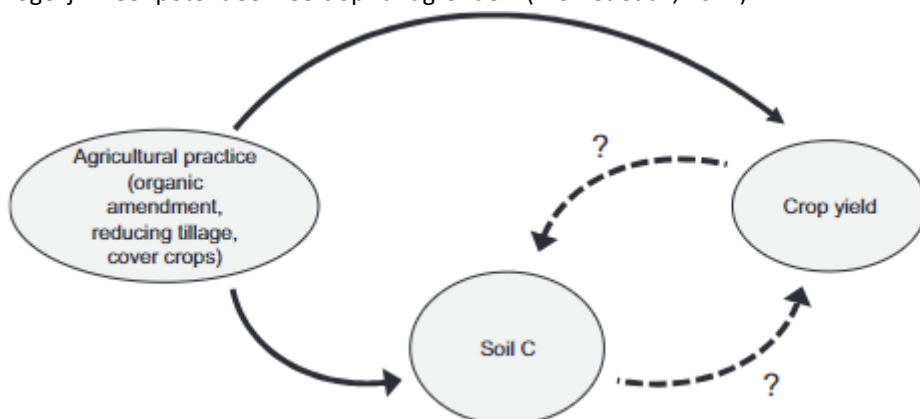
De basis van het Europese bodembeleid is het maximaliseren van verschillende ecosysteemdiensten (ESD), het optimaliseren van de opbrengst van elke dienst en geen verdere toename van de *trade-offs* tussen verschillende ESD's. Het is dan van belang te weten hoe maatregelen(pakketten) bijdragen aan het optimaliseren van ecosysteemdiensten maar ook het ontstaan van eventuele *trade-offs*.

Output 3: Regionale verschillen in de effectiviteit van maatregelen(pakketten) zijn inzichtelijk

De huidige status van de bodem en de uitdagingen verschillen afhankelijk van regio, grondsoort, bedrijf(type) en zelfs het perceel. Een generieke aanpak is daarom minder relevant. Het is belangrijk beter inzicht te krijgen waar en onder welke condities bodemkwaliteit kan verbeteren. De verschillen tussen regio's worden in het huidige beleid steeds meer erkend, bijvoorbeeld met de gebiedsgerichte aanpak binnen het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG). Ook de EC erkent dat er bij het vaststellen van passende maatregelen rekening gehouden moet worden met de verscheidenheid aan bodemtypen, lokale en klimatologische omstandigheden, landgebruik of bodembedekking (EC, 2023). Zowel vanuit beleid als de praktijk is er behoefte aan inzicht op regionaal niveau. Dit betreft zowel inzicht in de huidige status van ‘*duurzaam bodembeheer*’ van de verschillende regio's, als de streeftoestand per regio en de verschillen tussen regio's in de effecten van maatregelen op ‘*duurzaam bodembeheer*’. Met andere woorden: wat is de toestand van een bepaalde regio, wat is de potentie en welke maatregelen zijn het meest geschikt om te komen tot ‘*duurzaam bodembeheer*’. Regio's moeten hierbij nog gedefinieerd worden. Hier dient afgestemd te worden met Outcome 1 en 3 en richtlijnen vanuit beleid. Zo geeft de EC aan dat lidstaten bodemdistricten moeten afbakenen, welke de bestuurseenheden vormen voor het beheer van bodems, het nemen van maatregelen, het monitoren en de beoordeling van de bodemgezondheid (EC, 2023).

Output 4: Het is inzichtelijk of koolstofvastlegging t.b.v. klimaat een ander bodemmanagement vraagt dan koolstofvastlegging t.b.v. ecosysteemdiensten

Koolstofvastlegging in landbouwbodems wordt vaak gepresenteerd als een *win-win solution* voor zowel klimaatmitigatie als voedselzekerheid en bodemkwaliteit. Het gaat echter om complexe processen, waarbij het relevant is om te kijken naar de potentie van oplossingen voor beide doelen (Moinet et al., 2022). Zo is het bekend dat er *trade-offs* bestaan tussen koolstofvastlegging voor klimaatmitigatie of het toedienen van organische stof ten behoeve van de nutriëntvoorziening en daarmee gewasproductie (Janzen, 2006; Moinet et al., 2022). De vraag is of het vergroten van de koolstofinput naar de bodem een andere strategie vereist voor koolstofvastlegging dan het optimaliseren van ecosysteemdiensten. Dit betreft ecosysteemdiensten zoals waterberging, bodemvruchtbaarheid en bodemerosie¹. Daarvoor is het belangrijk om een aantal relaties en achterliggende processen goed te kennen. Het gaat hierbij om de relatie tussen de maatregel en een ecosysteemdienst en het (indirecte) effect van bodem organische koolstof op de ecosysteemdienst. Deze relaties worden weergegeven in Figuur 18, waarbij 'crop yield' ook vervangen kan worden door een andere ecosysteemdienst. Het is lastig om het effect van bodem organische koolstof op ecosysteemdiensten vast te stellen, omdat de maatregelen die leiden tot meer bodem organische koolstof ook een direct effect hebben op ecosysteemdiensten. Toch is het van belang deze relaties te kennen, om vast te kunnen stellen of koolstofvastlegging t.b.v. klimaatmitigatie een andere bedrijfsstrategie vereist dan koolstofvastlegging t.b.v. het optimaliseren van ecosysteemdiensten. Dit heeft ook locatie en context specifieke implicaties, voor het klimaatdoel zou koolstofvastlegging mogelijk efficiënter zijn op kleigronden, terwijl koolstofvastlegging voor ecosysteemdiensten mogelijk meer potentieel heeft op zandgronden (Moinet et al., 2022).



Figuur 18 Illustratie van de complexe relaties tussen maatregelen gericht op koolstofvastlegging en de directe en indirecte invloed op gewasopbrengsten, uit Moinet et al. (2022).

5.5.6 Acties

Per output zijn de volgende acties vastgesteld:

Output 1: Duurzaam bodembeheer is gedefinieerd en vastgesteld en een bijbehorende beoordelingssystematiek voor duurzaam bodembeheer is beschikbaar

- Actie 1.1. 'Duurzaam bodembeheer' definiëren
- Actie 1.2. Toetsen of de definitie van duurzaam bodembeheer aansluit bij Europees beleid (*Soil Mission/Soil Monitoring Law* etc.)
- Actie 1.3. Inzichtelijk maken wat de verschillen zijn tussen bestaande/in ontwikkeling zijnde beoordelingssystemen, en de implicaties daarvan voor de beoordeling van de koolstofvastleggende maatregelen
- Actie 1.4. Aangeven of en hoe de systemen bruikbaar zijn/aansluiten bij de Europese doelen en regelgeving

¹ <https://www.pbl.nl/ecosysteemdiensten>

- Actie 1.5. Ontwikkelen van een helder beoordelingskader voor 'duurzaam bodembeheer' c.q. ecosysteemdiensten

Voor de uitvoering van output 2-4 is een beoordelingskader vereist. Indien de inschatting is dat de kans op een solide beoordelingssystematiek klein is, zal de ambitie van deze outcome aangepast moeten worden.

Output 2: De positieve en negatieve bijdrage van maatregelen en bedrijfssystemen aan 'duurzaam bodembeheer' zijn gekwantificeerd

- Actie 2.1. Kwantificeren van effecten van koolstofvastlegging op 'duurzaam bodembeheer' m.b.v. beoordelingskader uit output 1.
- Actie 2.2. Het ontwikkelen van een aanpak om te kwantificeren in hoeverre er synergieën of trade-offs ontstaan tussen maatregelen.
- Actie 2.3. Het ontwikkelen van een aanpak om de effecten op bedrijfssystemen door te rekenen, in overeenstemming met het werk binnen Outcome 1.
- Actie 2.4. Kwantificeren van het (afwentelings)effect van bedrijfssystemen op duurzaam bodembeheer, m.b.v. bovenstaand beoordelingskader.
- Actie 2.5. Bemonsteringen in Lange Termijn Experimenten om effecten van maatregelen te kunnen valideren.

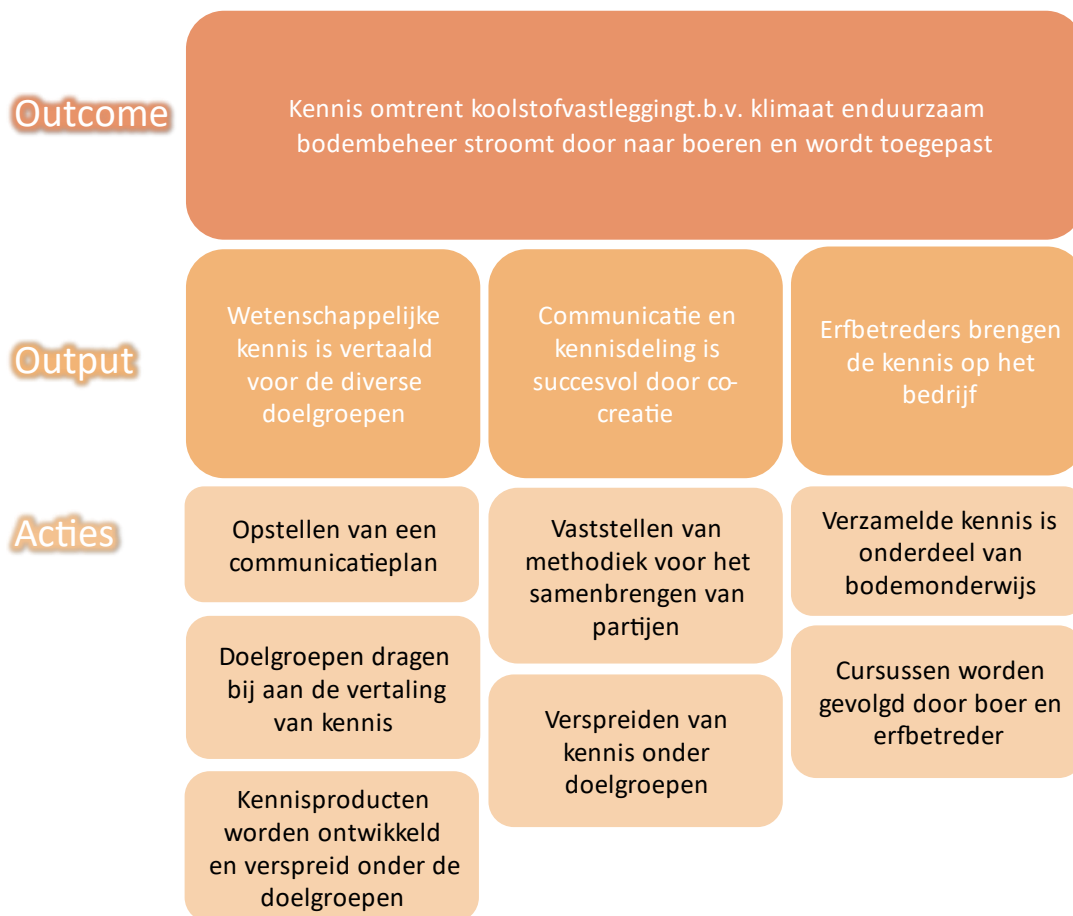
Output 3. Regionale verschillen tussen de effecten op duurzaam bodembeheer zijn inzichtelijk

- Actie 3.1. Het ontwikkelen van een aanpak om de effecten voor verschillende regio's door te rekenen, in overeenstemming met het werk binnen Outcome 1.

Output 4: Het is inzichtelijk of koolstofvastlegging t.b.v. klimaat een ander bodemmanagement vraagt dan koolstofvastlegging t.b.v. ecosysteemdiensten

- Actie 4.1. Een inventarisatie door middel van literatuuronderzoek naar de relaties tussen koolstofvastlegging en ecosystemen enerzijds en de directe en indirecte effecten van deze maatregelen op ecosysteemdiensten.
- Actie 4.2. Het vaststellen van een onderzoeks aanpak om de complexe relaties te ontwarren en kennislücken te vullen.
- Actie 4.3. Vaststellen of koolstofvastlegging voor klimaatmitigatie een andere aanpak vereist dan voor ecosysteemdiensten, voor welke maatregelen dit geldt en in welke context.

5.6 Outcome 6: Kennis omtrent koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer stroomt door naar boeren en wordt toegepast



Figuur 19 Uitwerking van de Theory of Change voor Outcome 6. Een beschrijving van de outcome en de bijbehorende outputs en acties wordt in dit hoofdstuk gegeven.

5.6.1 Aanleiding

Om de doelen voor koolstofvastlegging en duurzaam bodembeheer te behalen zijn aanpassingen op het boerenbedrijf nodig. Het bodemanagement zal moeten veranderen, met meer aandacht voor de aanvoer en het behoud van organische stof op het perceel. Hiervoor is toegepaste kennis nodig. Wie brengt deze kennis naar het erf?

Het is veelal de zogenaamde 'schil om de boeren' die een belangrijke rol spelen in het overbrengen van kennis over bodembeheer. Dit zijn erfbetreders, maar ook stakeholders zoals DAW, waterschappen en partijen als BO-Akkerbouw. Ook ketenpartijen kunnen het gesprek aangaan met hun leveranciers en afspraken maken over het bodembeheer. De vragen die bij de adviseurs en ketenpartijen spelen zijn vaak specifiek van aard, terwijl het onderzoek vaak op een algemeen niveau wordt uitgevoerd en vertaald naar kennis die niet zomaar in het veld naar praktische handelingen is om te zetten. Een goede vertaalslag van de wetenschappelijke kennis naar bruikbare informatie voor diverse betrokken stakeholders, en een terugkoppeling hoe toepassingen in de praktijk werken is dan ook essentieel om implementatie te stimuleren.

Daarnaast kan onderwijs een belangrijke rol spelen om de toekomstige generatie adviseurs en agrarisch ondernemers op te leiden tot goede organische stof beheerders. Ook hier is de vertaalslag van wetenschappelijke kennis naar bruikbare lesstof een belangrijke stap.

Als laatste speelt ook het beleid een belangrijke rol in de sturing op het bodembeheer. Via wet- en regelgeving, zoals bijvoorbeeld het GLB, is de overheid in staat om implementatie van maatregelen te bevorderen. Hiervoor is het belangrijk dat het beleid goed wordt geïnformeerd over de resultaten uit het onderzoek. Hierbij ligt de focus niet alleen op het landelijke beleid, maar ook op het provinciaal beleid. Met het Nationaal Programma Landelijk Gebied ligt de opgave voor o.a. klimaat in het landelijk gebied bij de provincie.

Deze outcome omtrent kennisdoorstroming schetst een beeld van de behoeftes om kennisdoorstroming naar praktijk en beleid daadwerkelijk te kunnen realiseren richting 2030. Dit gaat verder dan het communiceren van resultaten uit onderzoek. Deze outcome bouwt voort op de meer inhoudelijke outcomes en is daarmee overkoepelend ten opzichte van de andere outcomes.

5.6.2 Beschrijving van de outcome

Kennisdoorstroming is van groot belang voor het creëren van daadwerkelijk handelingsperspectief voor boeren. Er zijn inmiddels meerdere mooie producten ontstaan vanuit Slim Landgebruik, zoals boekjes met 30 vragen en antwoorden, een brochure, een animatie en een samenvatting over vijf jaar onderzoek. Ook zijn er vele rapporten verschenen. In veel van de gevallen zijn deze producten opgesteld door wetenschappers voor het beleid en als wetenschappelijke verantwoording van het werk. Belangrijk is om deze en nieuwe producten te 'vertalen' naar boodschappen welke ook voor andere, essentiële, doelgroepen zoals erfbetreders, onderwijs, ketenpartijen en boeren begrijpelijk zijn. Deze vertaalslag moet een co-creatie zijn, een samenwerking van de verschillende doelgroepen. In deze outcome staat de volgende vraag centraal: Op welke manier moet informatie en kennis worden gedeeld met het beleid en de praktijk om de impact te optimaliseren en zo bij te dragen aan het behalen van de einddoelen?

Deze outcome is ondersteunend aan de andere outcomes die in deze rapportage worden beschreven. Het ontwikkelen van de kennis en het uitrollen van bijvoorbeeld demo-bedrijven valt buiten deze outcome. Het samenbrengen van partijen om samen de vertaalslag te maken van wetenschap naar praktijk en beleid is wel onderdeel van deze outcome.

5.6.3 Stand van zaken

De afgelopen vijf jaar is de focus van kennisdoorstroming vanuit Slim Landgebruik niet direct op de praktijk gericht geweest. Wel is er veel kennis uit de praktijk opgehaald in de netwerken, maar dit is nog minimaal naar de brede praktijk gecommuniceerd. Bedoeld was om de kennisdoorstroming naar de praktijk via DAW te laten lopen, maar dit is onvoldoende van de grond gekomen. Bovendien geven stakeholders aan dat ze met name interesse hebben in informatie op bedrijfsniveau, aangezien dit beter te vertalen is naar toepasbare kennis. Slim Landgebruik heeft zich de afgelopen jaren met name op informatie op nationaal en regionaal niveau gefocust.

Er zijn verschillende producten naar buiten gebracht vanuit Slim Landgebruik die goed zijn aangeslagen bij verschillende doelgroepen. Zie Bijlage 4 voor een overzicht van deze producten. De informatie kan nog verder worden doorvertaald naar iets wat toegepast kan worden door erfbetreders en/of in het onderwijs en andere stakeholders. Ook kunnen gerichtere producten op specifieke onderwerpen verder bijdragen aan het overdragen van kennis.

Er zijn meerdere projecten en methodieken te identificeren die focussen op de kennisdoorstroming van duurzame landbouwmethodes richting zowel beleid als praktijk. Hieronder volgt een korte opsomming van deze projecten en methodieken en in welke mate ze verbonden zijn met deze outcome en de doelen van Slim Landgebruik.

Agricultural Knowledge and Innovation Systems

Het Agricultural Knowledge and Innovation System (AKIS) is het geheel aan organisaties en mensen dat als doel heeft de besluitvorming, probleemoplossing en innovaties in de landbouw te stimuleren. Dit wordt gerealiseerd door

onderlinge verbindingen en interacties die inspelen op de creatie, uitwisseling en deling van kennis en informatie in de land- en tuinbouw (Bulten & Schoorlemmer, 2024). Op basis van enquêtes, interactieve sessies en de resultaten uit het EU project NEFERTITI hebben Bulten & Schoorlemmer (2024) een overzicht gemaakt van de belangrijkste barrières die kennisdoorstroming in de AKIS van de Nederlandse tuinbouw belemmeren. Ook zijn aanbevelingen gedaan van acties die de kennisdoorstroming kunnen verbeteren. De methodiek die is gebruikt door Bulten & Schoorlemmer (2024) kan goed toegepast worden bij de landbouw op minerale gronden om ook daar de belemmeringen voor kennisdoorstroming op gebied van C-vastlegging en duurzaam bodembeheer nauwkeurig in kaart te brengen. Daarbij lijken veel van de belemmeringen die zijn vastgesteld door Bulten & Schoorlemmer (2024) ook op kennisverspreiding op het gebied van koolstofvastlegging op minerale gronden van toepassing.

Sensemaking methodology

Om veranderingen in de praktijk teweeg te brengen moeten de middelen die beschikbaar worden gesteld aansluiten bij de behoeftes van de lokale gemeenschap, aldus [Climate-Kic](#). Hierbij moet de lokale gemeenschap, welke bestaat uit verschillende stakeholders, in staat worden gesteld om zelf ontwikkelingen en veranderingen teweeg te brengen. Momenteel gebeurt het nog vaak dat doelen en ontwikkelingen vanaf een hoger niveau worden opgelegd, welke vaak los staan van de realiteit ter plaatse. Dit staat een samenwerking tussen de verschillende stakeholders in de weg. Met behulp van de sensemaking methodology kan deze keten worden doorbroken. In plaats van het opleggen van criteria, worden sessies georganiseerd met verschillende stakeholders. Bij Sensemaking wordt erkend dat vraagstukken complex zijn, en dat de oplossingen maatwerk vereisen. Door met de verschillende stakeholders collectief samen te komen, waarbij hiërarchie niet van toepassing is, kan een proces ontstaan van observatie, reflectie, analyse, synthese, patroonvinding en uiteindelijk het genereren van inzichten die bijdrage aan een goede besluitvorming. Deze methodiek kan helpen om de verschillende stakeholders die te maken hebben met CO₂-vastlegging en duurzaam bodembeheer met de neuzen dezelfde kant op te krijgen en samen een collectief doel te stellen waar iedere partij zich voor in wil zetten.

Re-Ge-NL²

Re-Ge-NL heeft als doel om samen met Nederlandse boeren een toekomstbestendige landbouwsector te ontwikkelen waarbij landbouw samengaat met bodemverbetering, herstel van bodemleven en natuur. Daarnaast moet dit het ook een verdienmodel voor boeren bieden.

Tussen nu en 2030 start Re-Ge-NL met duizend boeren de overgang naar regeneratieve landbouw met een positieve business case in met name vijf focusgebieden. Het projectteam bestaat uit verschillende universiteiten, onderzoeksinstituten en onderwijsinstellingen en partners zoals BO Akkerbouw, COSUN en Friesland Campina. Door deze cruciale eerste stap te zetten wordt Re-Ge-NL een leidend voorbeeld voor de sector in Nederland en internationaal, waarbij het doel is dat regeneratieve landbouw het nieuwe normaal wordt.

De aanpak in het Re-Ge-NL project kan een voorbeeld zijn voor Slim Landgebruik, waarbij met een kleine pool van bedrijven het voorbeeld kan worden gesteld hoe CO₂-vastlegging en duurzaam bodembeheer op het bedrijf invulling kan krijgen en welke financiële gevolgen dit heeft.

Climate Farm Demo

Climate Farm Demo is een netwerk van Pilot Demo Farmers dat 28 landen en alle pedoklimatologische gebieden bestrijkt. Het algemene doel is om de toepassing van Climate Smart Farming praktijken en -oplossingen door boeren en alle actoren van de Climate Smart Agriculture Knowledge & Innovation Systems (AKIS) te versnellen met als doel dat de landbouwproductiesystemen bestand zijn tegen klimaatverandering en CO₂-neutraal zijn in 2050.

² <https://www.nationaalgroeifonds.nl/overzicht-lopende-projecten/thema-landbouw-voedsel-en-land-en-watergebruik/re-ge-nl>

Om dit doel te bereiken hanteert het project een MultiActor-aanpak door 1500 Pilot Demo Farmers en hun Climate Farm Advisors op Europees en nationaal niveau met elkaar te verbinden om de kennisuitwisseling en kruisbestuiving in hun respectievelijke AKIS te vergroten.

Er zijn twee belangrijke stromingen te identificeren. De eerste is het demonstreren van technische en sociale innovaties, waarbij de lessen die worden geleerd, worden gedeeld en opgeschaald. De tweede is het identificeren van een reeks publieke en private beloningsmechanismen, waardoor de toepassing van Climate Smart Farming praktijken wordt gestimuleerd en tegelijkertijd duurzame verdienmodellen worden gegarandeerd.

In Climate Farm Demo wordt eveneens vanuit de AKIS gewerkt, met als doel om klimaat- en mitigatiedoelen te behalen voor 2050. Slim Landgebruik kan leren van deze aanpak en deze toepassen in het eigen AKIS om zo het behalen van de doelen voor CO₂-vastlegging en duurzaam bodembeheer te versnellen en concretiseren.

Opleiding tot bodemcoaches

In 2020 is een project gestart om opleidingen op te zetten voor bodemadviseurs (zowel onafhankelijke als toeleverende). Het doel was een integraal denkkader meegeven aan de gebruikers van de cursus. Er zijn drie cursussen te onderscheiden: Basis, Bekwaam en Expert. Basis is bedoeld voor alle boeren zodat ze een basiscursus krijgen over hoe ze o.a. bij kunnen dragen aan maatschappelijke opgaven. Bekwaam is bedoeld voor toeleverende adviseurs, waarbij het doel is dat zij ook integraal advies kunnen gaan geven dat product-overstijgend is. Expert is voor het opleiden van onafhankelijke topadviseurs, gericht op duurzame landbouw. Het is belangrijk dat alle boeren ook de basiscursus gaan volgen, zodat de integrale benadering ook daar op de agenda komt en het ook kan worden besproken in de adviesgesprekken. Om dit te realiseren is er getracht een convenant op te stellen, maar deze is op het laatste blijven liggen bij LNV doordat toen de stikstofproblematiek is begonnen. Idealiter wordt dit convenant alsnog bereikt. Een volgende stap zou zijn om een licentie aan de cursussen te verbinden, zoals is gedaan voor chemische bestrijdingsmiddelen. Hiermee worden boeren 'gedwongen' om de cursus te volgen en neemt de kans toe dat adviesgesprekken integraal worden ingestoken.

Groene cirkels

Met elkaar moeten we stappen zetten richting duurzame maatschappelijke opgaven. Verschillende partijen hebben echter verschillende belangen. Hoe vind je elkaar dan? De Groene Cirkels-methodiek stelt dat je samen op zoek gaat naar een gemeenschappelijke droom, waarbij iedere partij de eigen strategische ambities kan realiseren m.b.v. samenwerking. Hierbij wordt gewerkt met een vijftal uitgangspunten:

1. Niemand kan alleen de maatschappelijke doelen behalen;
2. Bedrijven, wetenschap, overheid, kennis en maatschappij werken gelijkwaardig samen;
3. Er wordt overgestapt van lineaire organisatieprincipes naar werken in kringlopen;
4. Er is geen vooropgesteld plan, maar een streven naar vliegwieleffecten waarin innovatie ontstaat en overslaat op anderen;
5. Er wordt samengewerkt met de natuur als partner.

Het mechanisme van Groene Cirkels gaat ervan uit dat er materiaalstromen zijn die in sluitende kringlopen georganiseerd kunnen worden. In een gesloten kringloop is elke opbrengst van een proces, input voor een ander (deel van het) proces. Zo ontstaan grote of kleine cirkels waarin elke schakel andere schakels drijft. Geen Groene Cirkel is hetzelfde. Per Groene Cirkel wisselen de partijen die deelnemen, is de verhouding publiek-privaat-wetenschap anders, zijn taken en verantwoordelijkheden anders belegd en worden ambities en de weg naar realisatie anders uitgewerkt. Wat wel hetzelfde is bij iedere Cirkel is dat deze methodiek verschillende partijen bijeen brengt en deze motiveert om samen bij te dragen aan maatschappelijke doelen.

Het concept van Groene Cirkels kan in Slim Landgebruik worden toegepast als een methode om o.a. ketenpartijen te betrekken bij het behalen van maatschappelijke doelen voor CO₂-vastlegging en duurzaam bodembeheer. Dit kan betekenen dat voor verschillende maatregelen of bedrijfssystemen aparte Cirkels opgesteld moeten worden, waarbij

het maatschappelijke doel uitgangspunt is. Een Groene Cirkel dat als voorbeeld kan dienen is de Groene Cirkel Duurzame Fritesketen, waarbij één van de gezamenlijk vastgestelde doelen is het realiseren van een gezonde en aanpassende bodem en een natuurlijk productiesysteem.

Kennisplatforms

Er zijn tal van (online) kennisplatforms voor verschillende doelgroepen waarop informatie is te vinden over de nieuwste ontwikkelingen omtrent innovaties, wetenschappelijke resultaten en succesverhalen uit de praktijk. Een aantal bekende platforms zijn:

- Groenkennisnet
 - Groen Kennisnet is het kennisplatform voor de groene sector. Met een Kennisbank met honderdduizenden digitale vrij toegankelijke kennisbronnen ontsluit Groen Kennisnet de grootste Nederlandstalige verzameling actuele en betrouwbare kennisbronnen voor de domeinen agri, voedsel en groen. Het platform wordt vooral veel gebruikt door het middelbaar en hoger onderwijs.
- Crkls
 - Op Crkls worden resultaten uit onderzoeken en praktijkproeven in Nederland verzameld en beoordeeld op o.a. relevantie en betrouwbaarheid en uniform gepubliceerd in heldere taal. Crkls presenteert zichzelf als het kennisplatform voor de boer, die vaak door de bomen het bos niet meer kan zien en op Crkls gemakkelijk kan inzien of resultaten betrouwbaar zijn of niet.
- EU-FarmBook
 - EU-FarmBook is een online platform met het antwoord op de reële behoeften van boeren, bosbouwers en adviseurs. Het platform biedt een interactieve, meertalige ontmoetingsplaats voor landbouw- en bosbouwgemeenschappen, die toegang geeft tot betrouwbare kennisobjecten volgens vindbare, toegankelijke, interoperabele en herbruikbare (FAIR) dataprincipes. EU-FarmBook-gebruikers kunnen communiceren en innovatieve manieren verkennen om hun dagelijkse uitdagingen op te lossen.

Deze verschillende platforms kunnen ingezet worden om de ontwikkelde kennis vanuit Slim Landgebruik te communiceren naar de verschillende doelgroepen die de verschillende platformen aanspreken.

5.6.4 Kennishiaten

Bij deze outcome zijn niet zozeer kennishiaten te identificeren. Wel zijn er meerdere belemmeringen die ervoor zorgen dat kennisdoorstroming anno 2024 niet altijd optimaal verloopt.

De volgende belemmeringen zijn geïdentificeerd voor de kennisdoorstroming naar verschillende doelgroepen:

- De vertaalslag van wetenschappelijke kennis naar de verschillende doelgroepen beleid, adviseurs, onderwijs en ketenpartijen ontbreekt.
- Technology readiness levels van duurzame maatregelen worden niet voldoende uitgewerkt op de niveaus 7-9 voor duurzame landbouwpraktijken, met andere woorden het demonstreren en vermarkten van maatregelen blijft uit waardoor de kans dat deze maatregelen op grote schaal zullen worden toegepast klein blijft (Bulten & Schoorlemmer, 2024).
- Het ontbreekt momenteel aan co-creatie tussen de verschillende doelgroepen (beleid, onderzoek, ketenpartijen, boeren, adviseurs, onderwijs). Daardoor staat CO₂-vastlegging niet bij iedere groep op de radar en wordt er niet door alle groepen op dezelfde intensiteit op ingezet (Bulten & Schoorlemmer, 2024).
- Vragen over maatschappelijke opgaven komen niet terug bij boer-adviseur gesprekken, omdat de urgentie ontbreekt. Hierdoor speelt de adviseur hier niet op in (Bulten & Schoorlemmer, 2024).
- Er ontbreken kanalen waarlangs alle boeren bereikt kunnen worden (Bulten & Schoorlemmer, 2024)
- Onderzoek wordt vaak aangestuurd vanuit de overheid en een beperkte set van bedrijven. Hierdoor bereikt de kennis niet alle relevante partijen en adviseurs. Bovendien wordt kennis van adviseurs niet structureel gedeeld (Bulten & Schoorlemmer, 2024; Fieldsend et al., 2021).
- Het ontbreekt aan een erkende lesmethode voor studenten, boeren en erfbetreders (Bulten & Schoorlemmer; persoonlijk mededeling Gera van Os (Aeres Hogeschool)).

- Experimenteel wetenschappelijk onderzoek op de boerderij sluit niet voldoende aan bij de daadwerkelijke kennisvragen die spelen in de praktijk (Lacoste et al., 2022).
- Bij het delen van kennis wordt vaak gekeken naar educatie, onderzoek en adviseurs, waarbij de verspreiding via een lineaire aanpak verloopt. Echter vindt veel kennisoverdracht ook plaats vanuit de keten, aangezien technologieën en management op de boerderij aansluiten op wensen van de ketenpartijen³ (Fieldsend et al., 2021).

5.6.5 Outputs

De concrete outputs en acties voor kennisdoorstroming zullen uiteindelijk worden gedefinieerd door de outputs vanuit de andere beschreven outcomes en in samenspraak met verschillende stakeholders. Hieronder worden de outputs, acties, uitgangspunten en randvoorwaarden beschreven om tot een goede kennisdoorstroming te komen voor de verschillende doelgroepen, op basis van de eerder geïdentificeerde kennishiaten.

Output 1: Wetenschappelijke kennis is vertaald voor de diverse doelgroepen

Er is bij elkaar al veel informatie verzameld om grote stappen te kunnen maken richting de einddoelen voor klimaat en duurzaamheid. Echter is deze kennis nog niet voor iedere doelgroep (onderwijs/erfbetreders/ketenpartijen/beleid/boeren) toegankelijk. Vaak spreken verschillende doelgroepen een andere taal dan de wetenschappelijke taal en ligt de focus van verschillende doelgroepen op een ander schaalniveau (bijvoorbeeld op nationaal niveau voor beleid en bedrijfsniveau voor erfbetreders). Om de kennis beschikbaar te maken voor iedere doelgroep moet er gezamenlijk een vertaling van de wetenschappelijke kennis plaatsvinden.

Output 2: Communicatie en kennisdeling is succesvol door co-creatie

Verschillende studies laten zien dat verschillende partijen (zoals onderwijs, erfbetreders, ketenpartijen, (provinciaal) beleid, waterschappen en boeren) moeten bijdragen om veranderingen t.b.v. de maatschappelijke doelen in de landbouw te realiseren. Deze partijen moeten het met elkaar eens worden over de doelen die gehaald kunnen worden en hoe deze doelen gehaald kunnen worden. Dit wordt bereikt door co-creatie te creëren, waarbij beleid niet per definitie wordt opgedragen van bovenaf, maar er gezamenlijk en zonder hiërarchie wordt gewerkt richting het behalen van maatschappelijke doelen. Co-creatie zorgt er daarbij ook voor dat er uitwisseling plaatsvindt tussen de verschillende partijen, waardoor processen kunnen worden geoptimaliseerd.

Output 3: Erfbetreders brengen de kennis op het bedrijf

Momenteel staat de maatschappelijke opgave nog niet hoog op ieder zijn boerenagenda. Om deze reden zullen erfbetreders dan ook niet op deze kennis worden bevroegd. Om veranderingen op het bedrijf te realiseren zullen erfbetreders actiever moeten adviseren over de mogelijkheden om bij te dragen aan de maatschappelijke doelen. Erfbetreders zijn onafhankelijke adviseurs (ook wel bodemcoaches of bodemexperts genoemd), maar ook toeleverende adviseurs. Daarbij moet er tevens een incentive zijn voor de boer om hier vragen over te stellen en moeten de doelen op een praktische manier inpasbaar zijn op het bedrijf. Hiervoor zijn goede opleidingen nodig voor erfbetreders en inzicht in de voor- en nadelen van de te nemen maatregelen.

³ Hieronder verstaan wij ook de impact van banken, verzekeringsmaatschappijen en overige partijen die eisen kunnen stellen aan de manier waarop boeren hun bedrijf managen.

5.6.6 Acties

Per output zijn de volgende acties vastgesteld:

Output 1: Wetenschappelijke kennis is vertaald voor de diverse doelgroepen

- Actie 1.1. Er wordt een communicatieplan opgesteld waarbij per type product een plan van aanpak is opgesteld over de verspreiding van de kennis via verschillende platforms. Daarnaast wordt er per product/kennisdomein vastgesteld met welke partijen de vertaalslag gerealiseerd kan worden.
- Actie 1.2. Wetenschappelijke kennis uit projecten die bijdragen aan CO₂-vastlegging en duurzaam bodembeheer wordt bijeengebracht per onderwerp en doelgroep en zoveel mogelijk tot eenduidige kernboodschappen teruggebracht. Aanpalende projecten zijn o.a. EJP Soil, PPS Beter Bodembeheer en BodemUp.
- Actie 1.3. Vanuit een samenwerking met onderwijs, erfbetreders, ketenpartijen, beleid en boeren wordt wetenschappelijke kennis toepasbaar gemaakt voor de betreffende doelgroep. Alle doelgroepen moeten middelen en tijd beschikbaar kunnen maken om de vertaalslag te maken. De vertaalslag kan gemaakt worden wanneer de doelgroepen scherp hebben op welke manier de informatie bij de desbetreffende doelgroep aanslaat én de wetenschappelijke kennis met zorg en uitleg wordt aangedragen.
- Actie 1.4. Er is overeenstemming tussen de verschillende doelgroepen over de gebruikte terminologie en definities in de verschillende vertaalde producten en de betekenis daarvan, zodat alle partijen hetzelfde verstaan onder termen als bijvoorbeeld CO₂-vastlegging, duurzaam bodembeheer, etc.
- Actie 1.5. Er worden kennisproducten ontwikkeld die aansluiten bij de behoefte van de betreffende doelgroep in een vorm die aanspreekt.
- Actie 1.6. Er worden diverse kanalen ingezet om de doelgroepen te bereiken. Genoemd zijn al vakbladen en Groen Kennisnet, maar er zijn er natuurlijk meer. Een van de kanalen richting jonge boeren (de boeren van de toekomst) kan bijvoorbeeld NAJK zijn. Voor huidige agrariërs zijn ook bijeenkomsten vanuit ketenpartijen relevant. Ketenpartijen en erfbetreders worden in hoge mate vertrouwd en organiseren regelmatig bijeenkomsten en voorzien hun relaties van relevante informatie. Deze kanalen kunnen in samenspraak worden ingezet met als doel CO₂-vastlegging.

Output 2: Communicatie en kennisdeling is succesvol door co-creatie

- Actie 2.1. Er wordt een methodiek vastgesteld die kan bijdragen aan het bij elkaar brengen van de partijen die kunnen bijdragen het halen van de maatschappelijke doelen. Deze partijen zijn onderzoek, onderwijs, ketenpartijen, erfbetreders, beleid en boeren.
 - De volgende methodieken kunnen hieraan bijdragen (zie Stand van Zaken voor verdere toelichting)
 - Agricultural Knowledge and Innovation System
 - OFE (On-Farm Experimentation) (Lacoste et al., 2022)
 - Sensemaking methodiek
- Actie 2.2. Gezamenlijk, in co-creatie, wordt bepaald hoe iedere doelgroep kan bijdragen aan de maatschappelijke doelen. Hiervoor moeten alle doelgroepen in het bezit zijn van tijd en middelen om deze investering te kunnen maken. Het is van belang om voor iedere doelgroep de urgentie en het belang van hun aanwezigheid duidelijk te maken. Hierbij is het:
 - Voor iedere doelgroep inzichtelijk welk voordeel zij (kunnen) hebben bij het behalen van het maatschappelijke doel.
 - Van belang dat de juiste wetenschappelijke kennis op de juiste manier vertaald wordt voor de juiste doelgroep. Op deze manier maakt de kennis de meeste impact.
- Actie 2.3. Wanneer er door co-creatie voor de verschillende doelgroepen een helder plan is voor het bijdragen aan de maatschappelijke doelen, moeten er afspraken gemaakt worden over hoe deze kennis verder verspreid wordt via de desbetreffende doelgroepen. Op deze manier, via een olievlek-effect, kan de impact van de communicatie en kennisdeling worden vergroot.

Output 3: Adviseurs brengen de kennis op het bedrijf

- Actie 3.1. In projecten met praktijkbedrijven (zoals de Slim Landgebruik-netwerken of - Living Labs) werken onderzoekers, erfbetreders en stakeholders samen aan het overdragen van kennis naar de praktijk. De boer,

adviseur en onderzoeker kijken samen naar welke maatregelen mogelijk zijn voor koolstofvastlegging en duurzaam bodembeheer in de context van het bedrijf en de andere opgaves die daar liggen. De lessen die hieruit geleerd worden kunnen meegenomen worden bij het verspreiden van deze kennis naar de overige adviseurs en boeren.

- Actie 3.2. Wetenschappelijke kennis wordt vertaald naar onderwijsmethodes (Output 1) en samengevoegd in trainingen en opleidingen voor boeren, toeleverende adviseurs en onafhankelijke adviseurs (Figuur 20). In dit onderwijspakket ligt de focus op integrale milieuvraagstukken die op het bedrijf bij elkaar komen. Dit kan breder zijn dan alleen CO₂-vastlegging en duurzaam bodembeheer.
- Actie 3.3. Om te zorgen dat de opleidingen zoals genoemd in onderstaande tabel gevolgd wordt door boeren en erfbetreders zou een licentie verplicht moeten worden gesteld vergelijkbaar met licenties voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Zie: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bestrijdingsmiddelen/licenties>.
- Actie 3.4. Door co-creatie kan er een gezamenlijk plan opgezet worden met bruikbare en vooral ook praktische kennis die door inlichting van erfbetreders op het erf gebracht kan worden. Erfbetreders zullen kennis op het erf brengen als ze hier positieve ervaringen mee hebben. Ze zullen dus actief in aanraking moeten komen met de desbetreffende maatregelen en hier zelf ook enthousiast over zijn.

| Licentie | Doelgroep | Diepgang | Kennisverwerving | Kennisoverdracht | Aanzetten tot verandering | Aantal lesdagen |
|------------------|------------------------|--|---|--|---|-----------------|
| 1 Basis | Agrarische ondernemers | Basiskennis: kijken en globaal begrijpen | - Feiten - Methoden - Principes | - Gesprekspartner zijn voor adviseurs - Realiseren dat integrale aanpak beter is dan losse adviezen - Vraagt om integrale afweging | - Advies correct kunnen uitvoeren - Breder blik richting beleidsopgaven | 2 |
| 2 Bekwaam | Erfbetreders | Waarnemen, begrijpen en sturen | - Achtergronden - Verklaringen - Interpretaties | - Hanteert kapstok voor integrale afweging en brengt advies uit | - Aanzetten tot verandering bij ondernemer | 10 |
| 3 Expert | Bodemexperts | Analyseren, verdiepen en combineren | - Nieuwe ontwikkelingen bijhouden | - Kan perceel-specifieke, integrale adviezen opstellen voor duurzaam bodembeheer | - Aansturen op aanpassing van adviezen - Aanzetten tot verandering bij adviseurs | 25 |

Figuur 20 Overzicht van opleidingen welke kunnen bijdragen aan de kennisoverdracht van erfbetreder naar boer over integrale milieuvraagstukken. De opleiding 'Bekwaam' is bedoeld voor toeleverende adviseurs. De opleiding 'Expert' is bedoeld voor de onafhankelijke adviseurs, ook wel Bodemcoaches of Bodemexperts genoemd. Bron: Bodem, nr. 5, okt. 2022.

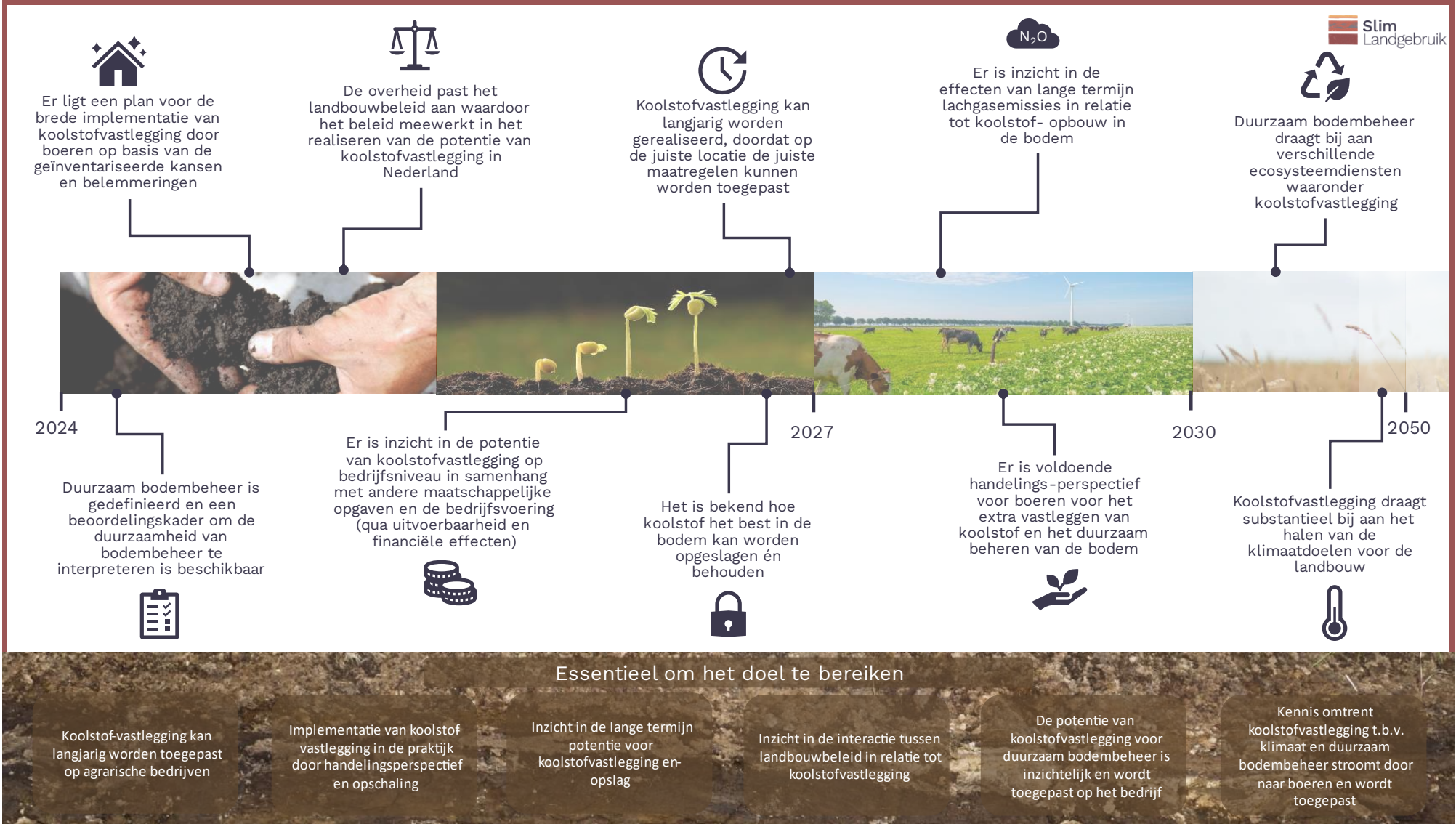
6 Roadmap

In de Theory of Change (Bijlage 1) staan alle acties en outputs omschreven die nodig zijn om te komen tot de doelen voor 2030. De vraag hoe deze acties en outputs elkaar in de tijd opvolgen, is echter nog niet beantwoord. Deze roadmap moet inzichtelijk maken welke stappen elkaar dienen op te volgen en op welke termijn acties en outputs gerealiseerd moeten worden om de doelen in 2030 ook daadwerkelijk te behalen.

Onderstaande roadmap (Figuur 21) toont een tijdlijn welke loopt van 2024 tot 2030, met een doorkijk naar 2050. Alle in de Theory of Change genoemde acties spelen een rol in het behalen van de doelen voor 2030. In de roadmap worden de belangrijkste acties en outputs benoemd om de doelen te behalen. Daarnaast zijn deze acties en outputs in een tijdlijn geplaatst, waardoor zichtbaar wordt welke acties er op de korte termijn uitgevoerd en gerealiseerd dienen te worden en welke op een later tijdstip afgerond kunnen worden. Voor het uitvoeren van de acties zijn zowel beleid, praktijk als onderzoek verantwoordelijk. Alleen door een goede samenwerking tussen alle stakeholders die worden beïnvloed door de doelen voor klimaat en duurzaam bodembeheer kunnen de doelen worden behaald.

Overkoepelend aan de acties en outputs staan de outcomes. De outcomes zijn de specifieke veranderingen in gedrag, kennis en vaardigheden van de doelgroep die direct voortvloeien uit de activiteiten en outputs zoals genoemd in de Theory of Change. Dit zijn de korte of middellange termijn doelstellingen die een directe bijdrage leveren aan het bereiken van de impact en daarmee de einddoelstellingen. Het kan als een randvoorwaarde worden gezien om de outcomes te realiseren richting 2030. Hierbij is het belangrijk te realiseren dat er veelal samenhang is tussen de verschillende outcomes. Immers alle outcomes tezamen bepalen het halen van de doelen

Roadmap voor koolstofvastlegging in Nederlandse minerale landbouwbodems



Figuur 21 Roadmap voor koolstofvastlegging in Nederlandse minerale landbouwbodems. Met daarbij de gewenste outputs en acties om te komen tot de doelstelling uitgezet op een tijdlijn lopend van 2024 tot 2030, met een doorkijk naar 2050. Om de doelstellingen te behalen geldt de randvoorwaarde dat aan de outcomes zoals toegelicht in dit rapport wordt voldaan (weergegeven onderin het figuur).

Om de doelstellingen voor 2030 te kunnen behalen, met een doorkijk naar 2050, is in Figuur 21 aangegeven welke stappen hiervoor van belang zijn. In onderstaand overzicht wordt nader toegelicht welke stappen waarom en wanneer genomen moeten te worden.



Duurzaam bodembeheer is gedefinieerd en een beoordelingskader om de duurzaamheid van bodembeheer te interpreteren is beschikbaar

In het NPL staat vermeld dat vanaf 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam beheerd dienen te worden. Dat roept de vraag op, wat we verstaan onder duurzaam beheerde bodems en hoe we bepalen of bodems aan de juiste eisen voldoen. Om antwoord te kunnen geven op deze vragen is een duidelijke definitie van duurzaam bodembeheer voor Nederlandse landbouwbodems nodig. Vervolgens dient een beoordelingskader ontwikkeld te worden die handvatten biedt voor het beoordelen van bodem in het kader van duurzaam bodembeheer.

Deze actie dient op de korte termijn te worden uitgevoerd, om de overige acties rondom duurzaam bodembeheer uit te kunnen voeren.



Er ligt een plan voor de brede implementatie van koolstofvastlegging door boeren op basis van de geïnventariseerde kansen en belemmeringen

In Slim Landgebruik 2018-2023 is op basis van praktijknetwerken in de veehouderij en akkerbouw veel geleerd over de kansen en belemmeringen voor de implementatie van koolstofvastlegging op het bedrijf. Er wordt potentie gezien om aan de slag te gaan met maatregelen voor koolstofvastlegging. Momenteel is het aandeel boeren dat aan de slag is met maatregelen echter nog te beperkt om de klimaatdoelen voor 2030 te behalen. Daarom moet er opschaling plaatsvinden van het aantal maatregelen dat wordt toegepast. Er dient op korte termijn invulling gegeven te worden aan een dergelijk opschalingsplan, aangezien het vervolgens tijd kost om het plan te testen en uit te rollen en implementatie daadwerkelijk te vergroten.



De overheid past het landbouwbeleid aan waardoor het beleid meewerkt in het realiseren van de potentie van koolstofvastlegging in Nederland

Het landbouwbeleid in Nederland is ingewikkeld en omvat vele maatregelen gericht op o.a. mest, waterkwaliteit, klimaat en biodiversiteit. Het is aannemelijk dat er synergieën en trade-offs ontstaan tussen de maatregelen, waarbij maatregelen wellicht bijdragen aan beleidsdoel A, maar het beleidsdoel voor koolstofvastlegging tegenwerken. Om te voorkomen dat de beleidsdoelen voor koolstofvastlegging niet haalbaar blijken op de lange termijn, zal er op de korte termijn afgewogen beleid moeten worden gevormd waarin keuzes omtrent de impact van maatregelen op verschillende beleidsdoelen zijn gemaakt en zo mogelijk versterkend werken op de potentie voor koolstofvastlegging.



Er is inzicht in de potentie van koolstofvastlegging op bedrijfsniveau in samenhang met andere maatschappelijke opgaven en de bedrijfsvoering (qua uitvoerbaarheid en financiële effecten)

In Slim Landgebruik 2018-2023 is veel onderzoek gedaan naar het effect van individuele maatregelen op perceelsniveau. Vanuit de praktijk kwam daarbij echter het geluid dat er behoefte is aan een meer integrale benadering, waarbij wordt gekeken hoe maatregelen en combinaties van maatregelen langjarig in te passen zijn op het gehele bedrijf en hoe dit samenhangt met andere factoren op het bedrijf zoals bijvoorbeeld stikstof en waterkwaliteit. Belangrijke onderwerpen hierbij zijn financiële gevolgen van maatregelen en de inpassing in samenhang met bijvoorbeeld stikstof. Het is belangrijk uit te gaan van een langjarige benadering, aangezien het tijd kost om de koolstof op te bouwen in de bodem. Het ontwikkelen van inzicht in systemen voor koolstofvastlegging dient op de korte termijn te worden gerealiseerd, aangezien dit belangrijke input levert voor o.a. het handelingsperspectief.



Het is bekend hoe koolstof het best in de bodem kan worden opgeslagen én behouden

Extra koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems kan met behulp van verschillende maatregelen worden gerealiseerd. Het implementeren van deze maatregelen vindt plaats op bedrijfsniveau, waarbij boeren vaak de vraag hebben hoe ze een maatregel het beste uitvoeren. Welke type groenbemester dient er te worden toegepast, welke soort bemesting is optimaal voor het aanvoeren van organische stof en hoe richt ik mijn bouwplan optimaal in? Daarnaast is het voor het klimaatdoel belangrijk dat de eenmaal vastgelegde koolstof ook in de bodem opgeslagen blijft. De kennis dient op de middellange termijn te worden gerealiseerd, zodat koolstofvastlegging optimaal kan worden geïmplementeerd en re-emissies van CO₂ zoveel mogelijk worden beperkt.



Koolstofvastlegging kan langjarig worden gerealiseerd, doordat op de juiste locatie de juiste maatregelen kunnen worden toegepast

De potentie voor koolstofvastlegging is afhankelijk van vele factoren. Bodemtype, klimaat, landgebruik en management en bodemchemie zijn onder andere van invloed op de mate waarin koolstof kan worden vastgelegd. Dit resulteert er in dat koolstofvastlegging niet overal evenveel potentie heeft. Door te weten welke maatregelen waar het best kunnen worden toegepast en onder welke condities, kan het vermogen voor koolstofvastlegging worden geoptimaliseerd. Het ontwikkelen van een methodiek om een dergelijke analyse uit te voeren zal op de korte termijn moeten worden gerealiseerd, zodat op de middellange termijn de juiste maatregelen op de juiste locatie gestimuleerd kunnen worden.



Er is inzicht in de effecten van lange termijn lachgasemissies in relatie tot koolstofopbouw in de bodem

In Slim Landgebruik 2018-2023 is er naast onderzoek naar effecten van maatregelen op koolstofvastlegging ook onderzocht of maatregelen t.b.v. koolstofvastlegging leiden tot een toename van de lachgasemissie. Koolstof is immers een voedingsbron voor bacteriën die lachgas produceren, de zogenaamde denitrificerende bacteriën. De voorlopige resultaten tonen aan dat de emissie van lachgas de extra vastlegging van koolstof niet overschrijdt, waardoor maatregelen nog steeds bijdragen aan klimaatmitigatie. Echter, op de lange termijn is de verwachting dat er een steady state optreedt voor koolstofvastlegging, terwijl de lachgasemissie onveranderd zal blijven toenemen. Hierdoor kan op de langere termijn de lachgasemissie groter worden dan de koolstofvastlegging, waardoor er geen klimaatmitigatie meer optreedt. Inzicht in het ontstaan van een dergelijk kantelpunt dient op de middellange termijn helder te zijn, om te voorkomen dat er maatregelen worden gestimuleerd die op de lange termijn het klimaatprobleem slechts vergroten.



Er is voldoende handelingsperspectief voor boeren voor het extra vastleggen van koolstof en het duurzaam beheren van de bodem

Een handelingsperspectief biedt praktische en haalbare handvatten om bij te dragen aan koolstofvastlegging in landbouwbodems. Het handelingsperspectief is gebaseerd op kennis en inzichten over wat effectief is en houdt rekening met de specifieke omstandigheden waarin de boer zich bevindt. Voor boeren kan een handelingsperspectief bijvoorbeeld inhouden welke landbouwpraktijken ze kunnen toepassen om de bodemgezondheid te verbeteren en tegelijkertijd bij te dragen aan klimaatdoelen, waarbij er tevens een beeld is van de financiële consequenties van de veranderingen, welke niet per definitie enkel en alleen bij de boer komen te liggen. Om implementatie van koolstofvastlegging te kunnen stimuleren, is handelingsperspectief voor de boer essentieel. Daarom dient meer handelingsperspectief op middellange termijn te worden gerealiseerd, zodat er nog voldoende tijd is om systemen voor koolstofvastlegging voor 2030 te implementeren.



Duurzaam bodembeheer draagt bij aan verschillende ecosystemendiensten waaronder koolstofvastlegging

Het NPL stelt dat in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam beheerd dienen te worden. Koolstofvastlegging draagt onder andere bij aan het duurzaam beheren van landbouwbodems. Er vanuit gaande dat de doelen uit het NPL per 2030 worden gehaald, zullen niet alleen alle landbouwbodems duurzaam zijn beheerd, maar wordt er (mogelijk) ook bijgedragen aan verschillende ecosystemendiensten zoals de regulerende diensten koolstofvastlegging, waterberging en bodemvruchtbaarheid⁴. Deze bijdrage dient op de lange termijn (tussen 2030 en 2050) te worden gerealiseerd, voor een duurzame toekomst.



Koolstofvastlegging draagt substantieel bij aan het halen van de klimaatdoelen voor de landbouw

De lidstaten van de EU hebben afgesproken dat Europa in 2050 klimaatneutraal is. Dit is een grote uitdaging en alle sectoren dienen hier aan bij te dragen. Als tussenstap zijn daarom voor verschillende sectoren voor 2030 al concrete doelen vastgesteld. Voor de landbouwsector op minerale landbouwbodems is dat doel jaarlijks 0,5 Mton extra CO₂-vastlegging. Voor de Nederlandse landbouwsector is het niet realistisch om te denken dat de emissies van CO₂, CH₄ en N₂O richting 2050 volledig naar nul gaan. Daarom moeten emissies worden gecompenseerd, wat binnen de sector onder andere kan worden gerealiseerd door koolstofvastlegging. Dit dient op de lange termijn (uiterlijk 2050) te worden gerealiseerd, voor het behalen van de klimaatdoelen van 2050. Hier draagt het doel voor 2030 al concreet aan bij.

⁴ <https://www.pbl.nl/ecosysteemdiensten>

7 Referenties

- Bakker, N.L., van der Burgt, G.J. en Koopmans, C.J. (2020). Evaluatie van de méérjarige effecten van verschillende typen op de opbrengststabiliteit, mineralenbalansen en uitspoelingsverliezen: resultaten van 20 jaar Mest als Kans. Louis Bolk Instituut, nr. 2020-041.
- Barel, J.M., Kuyper, T.W., Paul, J., de Boer, W., Cornelissen, J.H.C., & de Deyn, G.B. (2019). Winter cover crop legacy effects on litter decomposition act through litter quality and microbial community changes. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 132-143. doi: 10.1111/1365-2664.13261
- Baveye, P.C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4:41.
- Begill, N., Don, A., & Poeplau, C. (2023). No detectable upper limit of mineral-associated organic carbon in temperate agricultural soils. *Global Change Biology*, 29(16), 4662–4669. <https://doi.org/10.1111/gcb.16804>
- Bellamy, P. H., Loveland, P. J., Bradley, R. I., Lark, R. M., & Kirk, G. J. D. (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 2005 437:7056, 437(7056), 245–248. <https://doi.org/10.1038/nature04038>
- Blom, M., Bachaus, A., de Vries, J., in 't Veld, M., Frambach, M., & Naus, M. (2022). Evaluatie Nationaal programma landbouwbodems: tussenevaluatie periode 2019-2021. Beschikbaar via: https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/03/CE_Delft_210359_Evaluatie_Nationaal_programma_landbouwbodems_Def.pdf
- Briones, M.J., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 23(10), 4396-4411.
- Bulten, W., H.B. Schoorlemmer, 2024. *Actieagenda voor verbeterde kennisdoorstroming in de Nederlandse Tuinbouw*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT-1073.
- Bulten, W., Jansma, J. E., & Potters, J. I. (2021). Invloed zonder macht: Stakeholdermanagement in de praktijk. Wageningen University & Research.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. doi: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030
- Cougnon, M., Reheul, D., D’Hose, T. en Vandaele, E. (2010). Het gebruik van gft-compost in de maisteelt. *Landbouw & Techniek*, 18, pp. 18-21. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/300925>
- Craig, M. E., Mayes, M. A., Sulman, B. N., & Walker, A. P. (2021). Biological mechanisms may contribute to soil carbon saturation patterns. *Global Change Biology*, 27(12), 2633–2644. <https://doi.org/10.1111/gcb.15584>
- Crittenden, S.J. (2015). Biophysical soil quality of tillage systems in conventional and organic farming [PhD thesis]. Wageningen University and Research. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/364181>
- D’Haene, K., Vandenbruwane, J., De Neve, S., Gabriels, D., Salomez, J., & Hofman, G. (2008). The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European Journal Agronomy*, 28, 449-460. doi: 10.1016/j.eja.2007.11.007
- D’Hose, T., Ruyschaert, G., Viaene, N., Debode, J., Vanden Nest, T., van Vaerenbergh, J., Cornelis, W., Willekens, K., & Vandecasteele, B. (2016). Farm compost amendment and non-inversion tillage improve soil quality without increasing the risk for N and P leaching.
- De Haan, J., Vervuurt, W., van de Voorde, T., & van der Gugten, A. (2023). Overzicht maatregelen duurzaam bodembeheer. Beschikbaar via: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/613181>
- De Haan, J.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. Wageningen University & Research, WPR-754. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/440226>
- Dekkers, M.F., Haagsma, W., van Geel, W., van den Berg, W., & de Haan, J. (2023). Groenbemesters en groenbemestermengsels bij niet-kerende grondbewerking. Wageningen University and Research, nr. WPR-OT 975. doi: 10.18174/583355
- Dekkers, M.F., Trip, M., van Balen, D., Huizinga, K., Haagsma, W., Sprangers, T., & Wesselink, M. (2023). Effects of reduced tillage on (cash) crop yields, soil quality and other ecosystem services: results from 2009 till 2022 of the

- long term experiment BASIS, the Netherlands. Wageningen University & Research, WPR-OT 1033. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/635821>
- Don, A., Seidel, F., Leifeld, J., Kätterer, T., Martin, M., Pellerin, S., Emde, D., Seitz, D., & Chenu, C. (2023). Carbon sequestration in soils and climate change mitigation—Definitions and pitfalls. *Global Change Biology*, n/a(n/a), e16983. <https://doi.org/10.1111/gcb.16983>
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., & Grêt-Regamey, A. (2018). Soil quality indicators – from soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators*, 94(1), 151-169. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.06.052
- Dynarski, K.A., Bossio, D.A. & Scow, K.M. (2020). Dynamic Stability of Soil Carbon: Reassessing the “Permanence” of Soil Carbon Sequestration. *Front. Environ. Sci.* 8:514701. doi: 10.3389/fenvs.2020.514701.
- Elhakeem, A. (2021). On productivity, resource capture, and yield stability of cover crop species mixtures [PhD thesis]. doi: 10.18174/540613
- Emde, D., Hannam, K. D., Midwood, A. J., & Jones, M. D. (2022). Estimating Mineral-Associated Organic Carbon Deficits in Soils of the Okanagan Valley: A Regional Study With Broader Implications. *Frontiers in Soil Science*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsoil.2022.812249>
- European Commission [EC]. (2021). EU Soil Strategy for 2030 – Reaping the benefits of healthy soil for people, food, nature and climate. Brussels. Beschikbaar via: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699>
- European Environmental Agency [EEA] (2023). Soil monitoring in Europe — Indicators and thresholds for soil health assessments. EEA Report No 08/2022. doi: 10.2800/956606
- Europese Commissie (2023). Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). SEC(2023) 416 final. https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en
- Europese Raad, (2024). Natuurherstel - De nieuwe regels in de praktijk. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/nature-restoration/#rules>
- Faber, J.H., Cousin, I., Meurer, K.H.E., Hendriks, C.M.J., Bispo, A., Viketoft, M., ten Damme, L., Montagne, D., Hanegraaf, M.C., Gillikin, A., Kuikman, P., Obiang-Ndong, G., Bengtsson, J., & Taylor, A. (2022). Stocktaking for Agricultural Soil Quality & Ecosystem Services Indicators & their Reference Values. EJP SOIL Internal Project SIREN Deliverable 2. Report, 153 pp. https://ejpsoil.eu/fileadmin/projects/ejpsoil/1st_call_projects/SIREN/SIREN_D2_final_report.pdf
- FAO, (2017). Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fieldsend, A. F., Cronin, E., Varga, E., Biró, S., & Rogge, E. (2021). ‘Sharing the space’ in the agricultural knowledge and innovation system: multi-actor innovation partnerships with farmers and foresters in Europe. *The journal of agricultural education and extension*, 27(4), 423-442.
- Floot, H.W.G., Lamers, J.G., & van den Berg, W. (1992). De invloed van de intensiteit van het bouwplan op poot aardappelen, suikerbieten en wintertarwe (vruchtwisselingsproef FH 82). Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, nr. 139. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/354050>
- Garland, G., Edlinger, A., Banerjee, S., Degrunne, F., García-Palacios, P., Pescador, D.S., Herzog, C., Wittwer, R.A., Bender, S.F., Hartman, K., Hydbom, S., Lima, R.A., Loaiza, V., Nemecek, T., Oehl, F., Olsson, P.A., Petchey, O., Prechsl, U.E., Schlaeppli, K., Scholten, T., Seitz, S., Six, J., & van der Heijden, M.G.A. (2021). Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Applied ecology*, 7(34). doi: 10.1126/sciadv.abg6995
- Garsia, A., Moinet, A., Vazquez, C., Creamer, R. E., & Moinet, G. Y. K. (2023). The challenge of selecting an appropriate soil organic carbon simulation model: A comprehensive global review and validation assessment. *Global Change Biology*, 29(20), 5760–5774. <https://doi.org/10.1111/gcb.16896>
- Gentsch, N., Boy, J., Batalla, J.D.K., Heuermann, D., von Wirén, N., Schwenecker, D., Feuerstein, U., Gross, J., Bauer, B., Reinhold-Hurek, B., Hurek, T., Céspedes, F.C., & Guggenberger, G. (2020). Catch crop diversity increases rhizosphere carbon inputs and soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 943-957. doi: 10.1007/s00374-020-01475-8

- Gentsch, N., Riechers, F.L., Boy, J., Schwenecker, D., Feuerstein, U., Heuermann, D., & Guggenberger, G. (2023). Cover crops improve soil structure and change organic carbon distribution in macroaggregate fractions. *EGUsphere*. doi: 10.5194/egusphere-2023-1885
- Georgiou, K., Jackson, R.B., Vindušková, O. et al. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nat Commun* 13, 3797 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31540-9>.
- Gies, E., Cals, T., Groenendijk, P., Kros, H., Hermans, T., Lesschen, J. P., ... & Voogd, J. C. (2023). Scenariostudie naar doelen en doelrealisatie in het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied: een integrale verkenning van regionale water-, klimaat-en stikstofdoelen en maatregelen in de landbouw. Wageningen Environmental Research.
- Giuffré, G., Ricci, A., Sánchez-Estrada, A., & Hidalgo, C. (2023). A biostimulant-treated cover crop increases rhizosphere microbially mediated ecosystem services and supports main crop growth. *Applied Soil Ecology*, 183, 104795. doi: 10.1016/j.apsoil.2022.104795
- Gocke, M. I., Guigue, J., Bauke, S. L., Barkusky, D., Baumecker, M., Berns, A. E., ... & Amelung, W. (2023). Interactive effects of agricultural management on soil organic carbon accrual: A synthesis of long-term field experiments in Germany. *Geoderma*, 438, 116616.
- Grashof-Bokdam, C., Pleijte, M., Potters, J., & Vijn, M. (2018). Prikfels voor duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw: naar een betere balans tussen voedselproductie en andere ecosystemendiensten van de bodem (No. 2910). Wageningen Environmental Research.
- Grunwald, D., Stracke, A. en Koch, H.J. (2022). Cover crop effects on soil structure and early sugar beet growth. *Soil Use and Management*, 39(1), pp. 209-217. doi: 10.1111/sum.12800
- Hanegraaf, M., van den Elsen, E., de Haan, J., & Visser, S. (2019). *Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland-indicatorset en systematiek, versie 1.0* (No. 795). Stichting Wageningen Research (WR).
- Hannula, S.E., Di Lonardo, D.P., Christensen, B.T., Crotty, F.V., Elsen, A., van Erp, P.J., Hansen, E.M., Rubaek, G.H., Tits, M., Toth, Z. en Termorshuizen, A.J. (2021). Inconsistent effects of agricultural practices on soil fungal communities across 12 European long-term experiments. *European Journal of Soil Science*, pp. 1-22.
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., & Regina, K. (2013). Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology*, 19(5), 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- Hein, L., Bagstad, K., Edens, B., Obst, C., de Jong, R., & Lesschen, J. P. (2016). Defining ecosystem assets for natural capital accounting. *PLoS one*, 11(11), e0164460.
- Heller, O., Bene, C. D., Nino, P., Huyghebaert, B., Arlauskienė, A., Castanheira, N. L., ... & Vanwindekens, F. (2024). Towards enhanced adoption of soil-improving management practices in Europe. *European Journal of Soil Science*, 75(2), e13483.
- Herbert, Z., B. Timmermans, J.P. Lesschen, H. Agricola, C.J. Koopmans (2022). Scenariostudie naar de impact van maatregelen op de koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems - Een overzicht van vier ontwikkelingsrichtingen. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer 2022-026 LbP, 36 p.
- Herbert, Z., H. Agricola, C.J. Koopmans (2023). Impact van koolstofmaatregelen op regioniveau - Een scenariostudie naar de mogelijkheden per provincie. Louis Bolk Instituut Publicatienummer 2023-012 LbP, 97 p.
- Hoekstra, O. en Lamers, J.G. (1993). 28 jaar De Schreef. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, nr. 67. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/345375>
- Hoogmoed, M., den Toonder, J., Schepens, J. A. B., Vervuurt, W., & Koopmans, C. (2023). *Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)-bodemkwaliteit indicatoren-Deel 3*. Slim Landgebruik.
- Hoogmoed, M., Janmaat, L., Verstand, D., Bijker, J. W., Schurer, B. L. M., Timmermans, B. G. H., ... & Koopmans, C. (2021). *Bodem & Klimaat Netwerk Akkerbouw: Voortgangsrapportage juni 2021*. Slim Landgebruik.
- Hoogmoed, M., Schepens, J. en Wagenaar J.P. (2023). Bodemindicatoren in de Bodem en Klimaat Netwerken Akkerbouw en Veehouderij, rapportage Slim Landgebruik, 30p.
- Jansen, J., Wessels, R., & Lam, T. G. J. M. (2012). How to R.E.S.E.T. farmer mindset? Experiences from the Netherlands. In Countdown Symposium, Melbourne Australia 19 July 2012 (pp. 23-27). Dairy Australia.
- Janzen, H. H. (2006). The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it?. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 419-424.

- Johnston, A., Poulton, P., Coleman, K., & Macdonald, A. (2017). Soil organic matter: Its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, 146, 233-279.
- Jongeneel, R., van Asseldonk, M., Daatselaar, C., Greijdanus, A., Helming, J., & Vissers, L. (2024). *Uitwerking bedrijfstypen voor duurzame landbouw: melkveehouderij en akkerbouw* (No. 2024-001). Wageningen Economic Research.
- Kamerbrief, (2019). Betreft Nationaal Programma Landbouwbodems. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://edepot.wur.nl/476343>
- Kamerbrief, (2022). Betreft Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-69397aa7ef89ba80b3d521510b1581ac1033add1/pdf>
- Keel, S. G., Anken, T., Büchi, L., Chervet, A., Fliessbach, A., Flisch, R., Huguenin-Elie, O., Mäder, P., Mayer, J., Sinaj, S., Sturny, W., Wüst-Galley, C., Zihlmann, U., & Leifeld, J. (2019). Loss of soil organic carbon in Swiss long-term agricultural experiments over a wide range of management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 286, 106654. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106654>
- Keesstra, S.D., Munkholm, L., Cornu, S., Visser, S.M., Faber, J., Kuikman, P., Thorsoe, M., de Haan, J., Vervuurt, W., Verhagen, J., Neumann, M., Fantappie, M., van Egmond, F., Bispo, A., Wall, D., Berggreen, L., Barron, J., Gascuel, C., Granjou, C., Gerasina, R., Chenu, C. (2020). Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils: deliverable 2.4 Roadmap for the European Joint Programme SOIL. Beschikbaar via: https://ejpsoil.eu/fileadmin/projects/ejpsoil/WP2/Deliverable_2.4_Roadmap_for_the_European_Joint_Programme_SOIL.pdf
- Knotters, M., Teuling, K., Reijneveld, A., Lesschen, J. P., & Kuikman, P. (2022). Changes in organic matter contents and carbon stocks in Dutch soils, 1998–2018. *Geoderma*, 414. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2022.115751>
- Kolb, D. A., & Fry, R. (1975). Towards an applied theory of experiential learning. In: C. Cooper (Ed.) *Theories of Group Process*. John Wiley, London.
- Koopmans, C.J., Wijnands, F.G., & Van Veluw K. (2011). Participatieve ontwikkeling – samenwerking in een vraaggestuurde context van de biologische landbouw, publicatie nummer 2011-032 LbD, www.louisbolk.nl.
- Körschens, M. (2006). The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research—a review. *Plant Soil Environ*, 52(Special Issue), 1–8.
- Labarthe, P., Prager, K., Leloup, H., Elzen, B., Collins, K., Laurant, C., Redman, M., Schoorlemmer, H. B., Sutherland, L.-A., Micheloni, C., Bulten, W., Potters, J. I., Townsend, L. C., Koutsouris, A., Prazan, J., Adamsone-Fiskovica, A., Costa Madureira, L. M., Maiz, D., Tisenkopfs, T., & van Raaij, M. (2021). Deliverable 5.7. Policy Recommendations Report. Strengthening farm advice for innovation and Sustainability. European Commission. <https://edepot.wur.nl/587603>.
- Lacoste, M., Cook, S., McNee, M., Gale, D., Ingram, J., Bellon-Maurel, V., ... & Hall, A. (2022). On-Farm Experimentation to transform global agriculture. *Nature Food*, 3(1), 11-18.
- Legg, S. (2021). IPCC, 2021: Climate change 2021-the physical science basis. *Interaction*, 49(4), 44-45.
- Le Noë, J., Manzoni, S., Abramoff, R., Bölscher, T., Bruni, E., Cardinael, R., Ciais, P., Chenu, C., Clivot, H., Derrien, D., Ferchaud, F., Garnier, P., Goll, D., Lashermes, G., Martin, M., Rasse, D., Rees, F., Sainte-Marie, J., Salmon, E., ... Guenet, B. (2023). Soil organic carbon models need independent time-series validation for reliable prediction. *Communications Earth & Environment*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00830-5>
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553.
- Leroy, B. (2008). Soil food web, C and N transformations and soil structure: interactions and feedback mechanisms as a function of the quality of exogenous organic matter [PhD thesis]. ISBN nummer: 978-90-5989-241-5.
- Lesschen, J. P., Arets, E., van Baren, S., Gonzalez-Martinez, A., Jongeneel, R., Reijs, J., Selten, M., Slier, T., Vellinga, T., & Vissers, L. (2023). *Beleidsscenario's voor klimaatmitigatie in landbouw en landgebruik : resultaten voor de AFOLU-sector in 2035*. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 326). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/630137>
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw.

- Lesschen, J.P., J. Reijs, T. Vellinga, J. Verhagen, H. Kros, M. de Vries, R. Jongendeel, T. Slier, A. Gonzales Martinez, I. Vermeij, C. Daatselaar, (2020). Scenario studie perspectief voor ontwikkelrichtingen Nederlandse Landbouw in 2050. Wageningen Environmental Research, Rapport 2984. 136 p.
- LNV, (2019). Nationaal Programma Landbouwbodems - Alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam beheerd in 2030.
- Martínez-García, L.B., Korthals, G., Brussaard, L., Jorgensen, H.B., De Deyn, G.B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 263, pp. 7-17. doi: 10.1016/j.agee.2018.04.018
- Meersmans, J., Van Wesemael, B., De Ridder, F., Fallas Dotti, M., De Baets, S., & Van Molle, M. (2009). Changes in organic carbon distribution with depth in agricultural soils in northern Belgium, 1960–2006. *Global Change Biology*, 15(11), 2739–2750. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01855.x>
- Moinet, G. Y. K., Hijbeek, R., van Vuuren, D. P., & Giller, K. E. (2023). Carbon for soils, not soils for carbon. *Global Change Biology*.
- Oenema, O. (2020). Bouwplan en nitraatuitspoeling. Commissie Deskundigen Meststoffenwet. Beschikbaar via: <https://www.wur.nl/nl/show/cdm-advies-relatie-tussen-bouwplan-en-nitraatuitspoeling.htm>
- Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., Fernández-Ugalde, O. (2017). LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science*, 69(1), pp. 140-153. doi: 10.1111/ejss.12499
- Peng, Z., Johnson, N.C., Jansa, J., Han, J., Fang, Z., Zhang, Y., Jiang, S., Xi, H., Mao, L., Pan, J., Zhang, Q., Feng, H., Fan, T., Zhang, J. and Liu, Y. (2023). Mycorrhizal effects on crop yield and soil ecosystem functions in a long-term tillage and fertilization experiment. *New Phytologist*, 242(4), pp. 1798-1813. doi: 10.1111/nph.19493
- Porre, R.J. (2020). Clever cover cropping: litter trait diversities and elemental flows [PhD thesis]. Wageningen University and Research. doi: 10.18174/531407
- Potters, J., Collins, K., Schoorlemmer, H., Stræte, E. P., Kilis, E., Lane, A., & Leloup, H. (2022). Living Labs as an Approach to Strengthen Agricultural Knowledge and Innovation Systems. *EuroChoices*, 21(1), 23-29. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12342>.
- Potters, J., Vijn, M., Grashof-Bokdam, C., & Pleijte, M. (2018). Naar een actieagenda voor duurzaam agrarisch bodembeheer. Wageningen University & Research.
- Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R., & Powlson, D. (2018). Major limitations to achieving '4 per 1000' increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology*, 24(6), 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/GCB.14066>
- Rijksoverheid, (2021). 7e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2021/11/26/7e-nederlandse-actieprogramma-betreffende-de-nitraatrichtlijn>
- Rijksoverheid, (2023). Extra pakket maatregelen dicht gat tot klimaatdoel 2030. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/nieuws/2023/04/26/extra-pakket-maatregelen-dicht-gat-tot-klimaatdoel-2030>
- Rijksoverheid, (n.b.). Gebiedsgerichte en samenhangende aanpak landelijk gebied. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/aanpak-stikstof-natuur-water-en-klimaat/gebiedsgerichte-en-samenhangende-aanpak-landelijk-gebied>
- Rops, A.H.J., Schouten, C.A.M. en Alblas, J. (1996). Effecten intensieve bouwplannen op lichte zavelgronden in de Noordoostpolder (WG140). Proefstation AGV Lelystad, verslag nr. 228.
- Ruysenaars, P. G., Coenen, P. W. H. G., Rienstra, J. D., Zijlema, P. J., Arets, E. J. M. M., Baas, K., ... & van Zanten, M. C. (2020). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2018 National Inventory Report 2020.
- RVO, (2021). Eco-activiteiten 2023. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/eco-regeling/eco-activiteiten>
- RVO, (2023). Subsidie Behoud grasland bij afbouw derogatie Geraadpleegd op 9 juli 2024, van: <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/behoud-grasland>
- Samen voor Biodiversiteit, (n.b.). Aanvalsplan landschap - Voor meer landschapselementen in Nederland. Geraadpleegd op 13 augustus 2024, van: <https://www.samenvoorbiodiversiteit.nl/aanvalsplan-landschap>

- Schepens, J. a. B., Timmermans, B. G. H., Bloem, J., Fuchs, L. M., Cruijisen, J. J. P., Slier, T., Heupink, D. T., Wagenaar, J. P., & Koopmans, C. J. (2024). Evaluatie van maatregelen voor koolstofvastlegging na zes jaar meten op Lange Termijn Locaties. <https://research.wur.nl/en/publications/evaluatie-van-maatregelen-voor-koolstofvastlegging-na-zes-jaar-me>
- Schepens, J. A. B., Timmermans, B. G. H., Fuchs, L. M., Peters, R., Bloem, J., Heupink, J. T., ... & Koopmans, C. J. (2022). *Meerjarige evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden: Integrale analyse over de jaren 2018-2020* (No. 2022-016 LbP). Louis Bolk Instituut.
- Schils, R. L. M., Dekker, C., Oenema, O., Hilhorst, G. J., Wagenaar, J. P., Price, P. N., & Verloop, J. (2023). Modelling soil carbon measures on dairy farms. In *The future role of ley-farming in cropping systems* (pp. 171-173).
- Schils, R.L.M., Aarts, H.F.M., Bussink, D.W., Conijn, J.G., Corré, W.J., van Dam, A.M., Hoving, I.E., van der Meer, H.G. en Velthof, G.L. (2007). Grassland renovation in the Netherlands; agronomic, environmental and economic issues. Wageningen University and Research, nr. 47. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/39748>
- Schröder, J., ten Holte, L., van Dijk, W., de Groot, W.J.M., de Boer, W.A. en Jansen, E.J. (1992). Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmais. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/354110>
- 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.
- 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. (Rapport / Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Open Teeltenh; No. WPR-856). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/536510>
- Selin Norén, I., Vervuurt, W., Bakker, N., Koopmans, C., Verstand, D., & de Haan, J. (2022). *Analyse van bodemmaatregelen: effecten op bodemfuncties en toepasbaarheid: Integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer*. (Rapport / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open teelten; No. WPR-OT-898). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/558794>
- Slier, T., van der Kolk, J., Lesschen, J. P., Rougoor, C., Wagenaar, J. P., de Haan, J., Koopmans, C., ... & Smit, B. (2023). *Het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems in Nederland is haalbaar: samenvatting van vijf jaar onderzoek in Slim Landgebruik*. Wageningen Environmental Research.
- Slier, T., Mi-Gegotek, Y., & Lesschen, J. P. (2023). Potentie voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems in de Nederlandse provincies. Slim Landgebruik. <https://edepot.wur.nl/643753>
- Slier, T., Stout, B., Vervuurt, W., Schepens, J., Garcia, L. M., Velthof, G. L., ... & van Middelaar, J. (2022). *Integratierapport Slim Landgebruik: Verdieping op de effecten van maatregelen binnen Slim Landgebruik*. Slim Landgebruik.
- Slier, T., Westerik, B., Stout, B., van Middelaar, J., Lesschen, J. P., Koopmans, C., Schepens, J. A. B., & Vervuurt, W. (2024). *CO₂Bodem Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems*. Slim Landgebruik.
- Smith, P. (2005), An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of direct human-induced, indirect and natural effects. *European Journal of Soil Science*, 56: 673-680. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00708.x>.
- Stewart, C. E., Paustian, K., Conant, R. T., Plante, A. F., & Six, J. (2007). Soil carbon saturation: Concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry*, 86, 19–31.
- Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer [STOWA] (2017). *Deltafact: regelbare drainage*. Beschikbaar via: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Regelbare%20drainage.pdf>
- Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer[STOWA] (2012). *Meer water met regelbare drainage: werking, praktijkervaringen, kansen en risico's*. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/235539>

- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J. E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H. S., Lægdsmand, M., Greve, M. H., & Christensen, B. T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science*, 65(5), 730–740. <https://doi.org/10.1111/ejss.12169>
- Timmermans, B. G. H., van der Burgt, G. J. H. M., Crujisen, J. J. P., Hendriks, C., Wagenaar, J., Noren, I. S., ... & Koopmans, C. J. (2022). Koolstofvastlegging van maatregelpakketen toegepast in regio's.
- Timmermans, B., van der Burgt, G. J. H. M., Schurer, B., Bakker, N., van Asperen, P., & Hanegraaf, M. (2023). *Effecten van landbouwkundige maatregelen op organische stof-, stikstof-, en fosfaatbalansen: een analyse vanuit de systeemprouwen van de PPS Beter Bodembeheer* (No. WPR-OT-1032). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business Unit Field Crops.
- van Boekel, E., Groenendijk, P., Kros, J., Renaud, L., Voogd, J.C., Ros, G., Fujita, Y., Noij, G.J. en van Dijk, W. (2021). Effecten van maatregelen in het zevende Actieprogramma Nitraatrichtlijn. Milieueffectrapportage op planniveau. Wageningen Environmental Research, nr. 3108. Beschikbaar via: https://open.overheid.nl/repository/ronl-cbd5a8fe-a267-443e-b2a9-75533293d1f3/1/pdf/PlanMER_7eActieprogramma_definitief_concept21082021.pdf
- van Dijk, W. en Schröder, J.J. (2007). Adviezen voor stikstofgebruiksnormen voor akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond bij verschillende uitgangspunten. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPR nr. 371. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/30120>
- van Dijk, W., Schröder, J.J., ten Holte, L. en de Groot, W.J.M. (1995). Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmais: verslag van onderzoek op ROC Aver-Heino tussen voorjaar 1991 en najaar 1994. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, nr. 201. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/355968>
- Van Dongen, M. (2021). Samenvatting masterthesis 'condities voor intern- en extern succesvolle klimaatadaptatie pilots op de Nederlandse hoge zandgronden', KLIMAP, 4p.
- van Eekeren, N., Bommelé, L., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., de Goede, R., Reheul, D. en Brussaard, L. (2008). Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology*, 40(3), pp. 432-446. doi: 10.1016/j.apsoil.2008.06.010
- van Geel, W.C.A. en Verstegen, H.A.G. (2008). Wintergerst als groenbemester en stikstofvanggewas. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO nr. 3253013350. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/138116>
- van Geel, W.C.A., Dekker, P.H.M., de Groot, W.J.M., van den Akker, J.J.H. en Froot, H.W.G. (2007). Structuurherstellend vermogen van groenbemesters: verslag van veldproeven in 2005-2006 te Lelystad en Kollumerwaard. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, nr. 510492. Beschikbaar via: https://kennisakker.nl/storage/1440/Rapport_510492_Structuur_Groenbemesting.pdf
- Van Leeuwen, J.P., Saby, N.P.A., Jones, A., Louwagie, G., Micheli, E., Rutgers, M., Schulte, R.P.O., Spiegel, H., Toth, G. en Creamer, R.E. (2017). Gap assessment in current soil monitoring networks across Europe for measuring soil functions. *Environmental Research Letters*, 12. doi: 10.1088/1748-9326/aa9c5c
- Veerman, C., T. P. Correia, C. Bastioli, B. Biro, J. Bouma, E. Cenciala, B. Emmett, E. A. Frison, A. Grand en L. H. Filchev (2020). Caring for soil is caring for life: ensure 75% of soils are healthy by 2030 for healthy food, people, nature & climate. Interim report for the European Commission, Directorate-General for Research & Innovation & Directorate-General for Agriculture & Rural Development. European Commission, Publ. Office of European Union: 82 pp.
- Velthof, G. L., & Mosquera, J. (2011). The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 298-308.
- Velthof, G.L., Neeteson, J.J., van der Meer, H.G. en Oenema, O. (2000). Schatting van de netto stikstofmneralisatie en biologische stikstofbinding in landbouwgronden. Alterra, nr. 117. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/22048>
- Verschuuren, J. (2019). Landbouw en klimaatverandering: Transitie naar klimaatslimme landbouw nog in de kinderschoenen. In N. Teesing (editor), *Milieuproblemen in de landbouw: Falend omgevingsrecht en mogelijke oplossingen* (blz. 227-247). (Vereniging voor Milieurecht; Vol. 2019, Nr. 1). Boom juridisch. <https://www.milieurecht.nl/ mailing/bpfczoivp/n1f0izhs>

- Verstand, D., Bijker, J. W., Evers, A. G., van der Burgt, E. A. P., van Hal, O., Wagenaar, J. P., ... & de Haan, M. H. A. (2022). *Kosten en Baten van Koolstofmaatregelenpakketten*. Wageningen University & Research.
- Vervuurt, W., Schepens, J.A.B., Ros, G., Faber, J., Hoogmoed, M. en Koopmans, C. (in prep.). Effecten van maatregelen voor koolstofvastlegging op de bodemkwaliteit: synthese resultaten 2019-2020-2021.
- Vervuurt, W., Toren, M., Visser, J. H. M., Brinkman, E. P., Kurm, V., Sprangers, T., Specken, J. W., van Asperen, P., van den Berg, W., van Geel, W. C. A., Schnabel, S. K., Korthals, G. W., Wesselink, M., & de Haan, J. J. (2023). *The effect of soil measures on ecosystem services in the long-term experiment 'Bodemkwaliteit Veenkoloniën'*. (Report / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business Unit Open Teelten; No. WPR-OT 1024). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/633362>
- Virto, I., Imaz, M. J., Fernández-Ugalde, O., Gartzia-Bengoetxea, N., Enrique, A., & Bescansa, P. (2014). Soil degradation and soil quality in Western Europe: Current situation and future perspectives. *Sustainability*, 7(1), 313-365.
- Wagenaar, J.P., Esther Wattel, Waas Thissen, Femke Hoefnagels, Marianne Hoogmoed, Ton van Schie, Hanneke Heesmans, Johan Specken, Willem Spriensma, Karola Colombijn – Van der Wende, Julia van Middelaar, Marieke Jelsma, Emiel Ansems, Henk Antonissen en Leen Janmaat (2023). Koolstofvastlegging op minerale landbouwbodems in de praktijk – Netwerken Akkerbouw en Veehouderij, overzichtsrapportage 2018-2023, 73p.
- Walder, F., Büchi, L., Wagg, C., Colombi, T., Banerjee, S., Hirte, J., Mayer, J., Six, J., Keller, T., Charles, R. and van der Heijden, M.G.A. (2023). Synergism between production and soil health through crop diversification, organic amendments and crop protection in wheat-based systems. *Journal of Applied Ecology*, 60(10), pp. 2091-2104. doi: 10.1111/1365-2664.14484
- Wesselink, M., van Gestel, S., Uyttendaele, S. A. L., Saarloos, A., Brinkman, E. P., Kurm, V., Sprangers, T., Visser, J. H. M., Versteegen, H., & Haan, J. J. (2023). *Effects of non-inversion tillage on ecosystem services on a sandy soil: Results of the period 2011-2021 of the long-term experiment Soil quality on sandy soil in Vredepeel, the Netherlands*. (Report / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business Unit Field Crops; No. WPR-OT-1040). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/638690>
- West, T. O., & Six, J. (2007). Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*, 80(1–2), 25–41. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9173-8>
- Wieder, W., Grandy, A., Kallenbach, C., & Bonan, G. (2014). Integrating microbial physiology and physio-chemical principles in soils with the Microbial-MIneral Carbon Stabilization (MIMICS) model. *Biogeosciences*, 11(14), 3899–3917.
- Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützw, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H. J., & Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils—A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, 333, 149–162. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.07.026>
- Wijnholds, K.H. en van den Berg, W. (1995). Vruchtwisselingsproef AGM 600 proefboerderij A.G. Mulderhoeve Emmercompasuum 1981-1989. Effect van gewassrotaties, organische stof en sikstof op de productie van aardappelen, suikerbieten, zomertarwe en haver op een veenkoloniale grond. PAGV verslag nr. 206.
- Wijnholds, K.H., van den Berg, W., Korthals, G.W. en Lamers, J.G. (2004). Onderzoek naar geïntegreerde vruchtwisselingsystemen op de noordoostelijke zand- en dalgronden 1990-2000, en afsluitend onderzoeksjaar 2001. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, PPO nr. 5228458
- Willekens, K., Vandecasteele, B., Buchan, D., & De Neve, S. (2014). Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82, 61-71.
- Wittwer, R.A., Bender, S.F., Hartman, K., Hydbom, S., Lima, R.A.A., Loaiza, V., Nemecek, T., Oehl, F., Olsson, P.A., Petchey, O., Frechsl, U.E., Schlaeppi, K., Scholten, T., Seitz, S., Six, J. en van der Heijden, M.G.A. (2021). Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Science advances*, 7(34). doi: 10.1126/sciadv.abg6995
- Wittwer, R.A., Dorn, B., Jossi, W. and van der Heijden, M.G.A. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. Scientific report, 7. doi: 10.1038/srep41911

Zwetsloot, M.J., Bongiorno, G., Barel, J.M., Paolo di Lonardo, D. and Creamer, R.E. (2022). A flexible selection tool for the inclusion of soil biology methods in the assessment of soil multifunctionality. *Soil Biology and Biochemistry*, 166. doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108514.

Theory of Change voor koolstofvastlegging in Ne

Doelstelling

0,5 Mton CO₂-eq extra vastlegging in minerale landbouwbodems

Impact

Koolstofvastlegging is ingebed op alle bedrijven

Koolstofvastlegging wordt langjarig gerealiseerd en een

Outcome

Koolstofvastlegging kan langjarig worden toegepast op agrarische bedrijven

Implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk door handelingsperspectief en opschaling

Inzicht in de lange termijn potentie voor koolstofvastlegging en -opslag

Output

Beschrijving van mogelijkheden voor koolstofvastlegging op bedrijfsniveau van verschillende bedrijfssystemen

Inzicht in benodigde bedrijfs- en management-aanpassingen i.h.k.v. koolstofvastlegging

Inzicht in effectiviteit van nieuwe bodem-C-maatregelen

Ontwerp van een bodemkoolstof optimaal bedrijfssysteem voor regionale condities

Er is kennis over - of een methode voor - het vergroten van de implementatie van koolstofvastlegging in de praktijk

Inzicht in handelingsperspectief voor de implementatie van koolstofvastlegging

Belang van stikstof voor koolstofvastlegging

Voorbeeldbedrijven zijn ingebed in de implementatie en worden bezocht door boeren en overige stakeholders

De haalbaarheid van 0,5 Mt CO₂ extra koolstofvastlegging in landbouwbodems tot 2050 beoordelen

Het effect van bodemmanagement veranderingen en klimaatverandering op de koolstofvoorraad is bekend

Het effect van tijdelijk stoppen met bodemkoolstofmaatregelen is bekend

Effect van lachgasemissie a.g.v. koolstofvastlegging is bekend evenals de netto CO₂ vastlegging

Acties

Onderzoek naar geschikte maatregelpakketten

Analyse van potentie voor koolstofvastlegging in gangbare en niet-gangbare bedrijfssystemen

Selectie van aanvullende maatregelen

Afwegingskader opstellen voor optimaal bedrijf

Opstellen van overzicht met relevante kennis en instrumenten

Inzicht in een methode voor het vergroten van de implementatie van koolstofvastlegging

Onderzoeken hoe de koolstof- en stikstofcyclus op het bedrijf tot uiting komen

Uitwerken hoe voorbeeldbedrijven vorm kunnen krijgen

Uitvoeren onderzoek naar de maximale koolstofvastlegging

Onderzoek naar het bereiken van de steady state van maatregelen

Onderzoek naar effect van stoppen van maatregelen op de koolstofvoorraad

Bepaling van lachgasemissie als gevolg van maatregelen, incl. het mogelijke kantelpunt met koolstofvastlegging

Selectie van bedrijfssystemen voor het doorvoeren van maatregelpakketten

Analyse van de economische en milieukundige gevolgen van aanpassingen van bedrijfssystemen

Literatuur en experimenteel onderzoek naar potentie CO₂-vastlegging van nieuwe maatregelen

Bepalen potentie voor CO₂-vastlegging van bedrijfssystemen onder verschillende condities

Vaststellen van kennisonderwerpen die i.h.k.v. implementatie verder verkend moeten worden

Het verkrijgen van inzicht in lopende initiatieven

M.b.v. tools inzichtelijk maken hoe koolstof en stikstof samenhangen in de praktijk

Opzetten van voorbeeldbedrijven i.s.m. lopende initiatieven

Bepalen of het mogelijk is om tot 2050 0,5 Mton extra vast te leggen

Analyse naar het effect van management-aanpassingen op koolstofvastlegging

Bepalen van de mogelijke re-emissie per maatregel

Beoordelen van de netto CO₂-vastlegging op de lange termijn

Verkennen van potentie en interactie van samenwerking tussen bedrijfssystemen

Bepalen en uitwerken van praktische implementatiestrategieën en samenwerkingen met andere initiatieven

Organiseren van bijeenkomsten op de voorbeeldbedrijven

Onderzoek naar de impact van klimaatverandering op koolstofvastlegging

derlandse minerale landbouwbodems

Alle landbouwbodems worden duurzaam beheerd

naal vastgelegde koolstof blijft opgeslagen

Door afgewogen beleidskeuzes is het mogelijk om alle landbouwbodems duurzaam te beheren en klimaatdoelen te halen

Inzicht in de interactie tussen landbouwbeleid in relatie tot de mogelijkheden voor koolstofvastlegging

De potentie van koolstofvastlegging voor duurzaam bodembeheer is inzichtelijk en wordt toegepast op het bedrijf

Kennis omtrent koolstofvastlegging t.b.v. klimaat en duurzaam bodembeheer stroomt door naar boeren en wordt toegepast

Inzicht in gevolgen aanpalend nationaal landbouwbeleid op koolstofvastlegging

bijzondere verhouding andere landgebruiksambities aan de potentie voor koolstofvastlegging op provinciaal niveau

Inbedding CO₂ opgave op bedrijfsniveau

Overzicht van synergieën en trade-offs tussen beleidsopgaven

Duurzaam bodembeheer is gedefinieerd en een bijbehorende beoordelings-systematiek is beschikbaar

De positieve en negatieve bijdrage van bedrijfssystemen aan 'duurzaam bodembeheer' zijn gekwantificeerd

Regionale verschillen in de effectiviteit van maatregelen(pakketten) zijn inzichtelijk

Het is inzichtelijk of C-vastlegging t.b.v. klimaat een ander management vraagt dan C-vastlegging t.b.v. ecosysteemdiensten

Wetenschappelijke kennis is vertaald voor de diverse doelgroepen

Communicatie en kennisdeling is succesvol door co-creatie

Erfbetreders brengen de kennis op het bedrijf

Uitvoeren beleidsanalyse en identificeren tegenwerkend/versterkend beleid

Landgebruik van gerelateerde ambities zijn in beeld gebracht

Integrale effecten op bedrijfsniveau zijn berekend

Inzicht in de impact van synergieën en trade-offs op koolstofvastlegging en aanpalende beleidsdoelen

Vaststellen van de definitie

Opstellen van methodiek voor het kwantificeren van effecten

Ontwikkelen van een aanpak om effecten van maatregelen voor verschillende regio's te bepalen

Inventariseren van relaties tussen koolstofvastlegging en ecosysteemdiensten

Opstellen van een communicatieplan

Vaststellen van methodiek voor het samenbrengen van partijen

Verzamelde kennis is onderdeel van bodemonderwijs

Scenariostudies naar effect van aanpalend beleid op de klimaatdoelen

Per regio vaststellen hoeveel hectare landbouwgrond beschikbaar is voor verschillende ambities

Inzicht in synergieën en trade-offs op het bedrijf

Opstellen van een beslisboom voor verschillende beleidsdoelen

Ontwikkelen van beoordelingskader voor duurzaam bodembeheer

Bepalen of synergieën of trade-offs tussen maatregelen ontstaan

Vaststellen of de methode voor koolstofvastlegging t.b.v. klimaat verschilt van ecosysteemdiensten

Doelgroepen dragen bij aan de vertaling van kennis

Verspreiden van kennis onder doelgroepen

Cursussen worden gevolgd door boer en erfbetreder

Bepalen van de kansen voor CO₂-vastlegging

Consequenties van beleid op bedrijfsniveau zijn in beeld gebracht

Kwantificeren van effecten van bedrijfssystemen of duurzaam bodembeheer

Kennisproducten worden ontwikkeld en verspreid onder de doelgroepen

Bijlage 2 Definities

In deze rapportage worden vele, soms nieuwe, termen gebruikt. Om goed helder te communiceren wat er onder deze termen wordt verstaan, volgt hieronder een definitielijst.

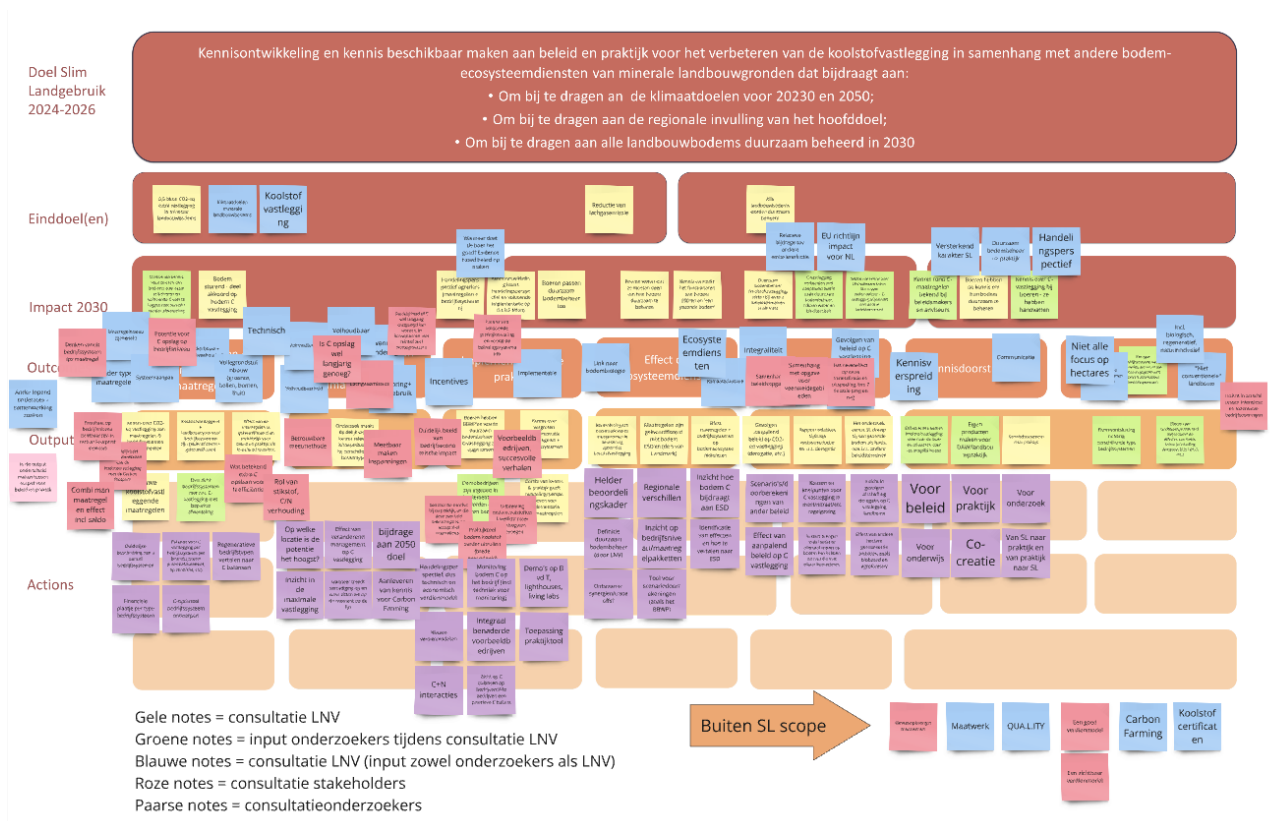
| | |
|----------------------------------|---|
| Additionaliteit | Maatregelen resulteren in extra verminderingen of verwijderingen van broeikasgassen (GHG) die verder gaan dan wat er zou zijn gebeurd in een business-as-usual scenario. |
| Bedrijfssysteem | Een agrarisch bedrijfssysteem is een geïntegreerd systeem dat alle aspecten van een landbouwbedrijf omvat. Het verwijst naar de manier waarop een landbouwbedrijf functioneert, inclusief de interacties tussen de verschillende onderdelen van het bedrijf. Dit omvat de productie van gewassen en/of vee, het beheer van de bodem, het gebruik van water en andere hulpbronnen, en de manier waarop technologie, arbeid en kapitaal worden ingezet om voedsel en andere landbouwproducten te produceren. Voorbeelden van typen agrarische bedrijfssystemen zijn intensieve, extensieve en biologische landbouw en permacultuur. |
| Beperking van SOC-verlies | Een maatregel om bodem organische koolstof (SOC, Soil Organic Carbon) verliezen te verminderen in vergelijking met een business-as-usual scenario. |
| Bodemfuncties | De term bodemfunctie wordt op wisselende en verwarrende wijze gebruikt als synoniem voor bodemproces, functioneren, rol en bodemgerelateerde ecosysteemdiensten (Baveye et al., 2016). Bünemann et al. 2018 definiëren bodemfuncties als (bundels van) bodemprocessen die de levering van ecosysteemdiensten ondersteunen. Voor een onderlinge ordening van begrippen rond het functioneren van bodems zie Figuur 17. |
| Bodemgezondheid | De huidige toestand van de bodem in termen van de chemische, fysische en biologische conditie en de actuele bijdrage (“capacity” sensu Hein et al., 2016; zie Figuur 16) aan de levering van ecosysteemdiensten. De EU Bodemstrategie heeft het hierbij over een maximaal aantal ecosysteemdiensten die potentieel mogelijk zijn (zie ‘bodemkwaliteit’). |
| Bodemindicatoren | Een instrument (meting, dataset, model, expertsysteem) voor het kwantificeren van een (bodem)attribuut, en/of het verschaffen van kwantitatieve informatie over (deel-)processen van het systeem (Hanegraaf et al., 2019). |
| Bodemkwaliteit | De potentiële toestand van de bodem in termen van de chemische, fysische en biologische conditie en de potentiële bijdrage (“capability” sensu (Hein et al., 2016); zie Figuur 16) aan levering van een scala aan ecosysteemdiensten, gegeven (de beperkingen van) grondsoort en landgebruik. |
| Bodemvruchtbaarheid | Het vermogen van de bodem om het gewas van water en voedingsstoffen te voorzien. De bodemvruchtbaarheid wordt bepaald door chemische, fysische en biologische eigenschappen. Het is een bodemfunctie (geen ecosysteemdienst in de classificatie van CICES), en een verzamelnaam voor allerlei bodemprocessen en eigenschappen die gewasproductie bevorderen. Meestal wordt ‘natuurlijke bodemvruchtbaarheid’ bedoeld, i.e. zonder bemesting. |
| Business as usual | Agrarische bedrijfsvoering zoals het de afgelopen jaren is uitgevoerd en wat als uitgangspunt wordt gebruikt voor het opstellen van scenario's met toepassing van maatregelen specifiek voor koolstofvastlegging. |
| Carbon Farming | Carbon Farming betekent het beheer van koolstofvoorraden, -stromen en broeikasgasemissies vanuit de bodem om klimaatverandering tegen te gaan. Carbon |

| | |
|------------------------------|--|
| Co-creatie | <p>Farming verwijst tevens naar een (nieuw) verdienmodel voor boeren waarbij zij (financieel) worden gestimuleerd om klimaatvriendelijke praktijken op te pakken.</p> <p>Co-creatie is een vorm van samenwerking, waarbij alle deelnemers invloed hebben op het proces en het resultaat van dit proces, zoals een plan, advies of product. Voorwaarden voor succesvolle co-creatie zijn gelijkwaardigheid van de deelnemers, wederkerigheid, openheid en vertrouwen. Aan deze voorwaarden is het best voldaan in een gestructureerd maar creatief proces onder begeleiding van een procescoach/begeleider. Co-creatie wordt geacht goed bruikbaar te zijn voor het oplossen van complexe vraagstukken en het realiseren van veranderingen.</p> |
| Duurzaam bodembeheer | <p>Bodembeheer is duurzaam als de ondersteunende, leverende, regulerende en culturele diensten die door de bodem worden geleverd, behouden of verbeterd worden zonder de bodemfuncties die deze diensten mogelijk maken of de biodiversiteit significant te verslechteren. Het evenwicht tussen de ondersteunende en leverende diensten voor plantenproductie en de regulerende diensten die de bodem levert voor waterkwaliteit en -beschikbaarheid en voor de samenstelling van broeikasgassen in de atmosfeer is met name van belang (FAO, 2017).</p> |
| Ecosysteemdiensten | <p>Ecosysteemdiensten zijn de bijdragen van ecosystemen aan voordelen voor de mens die bijdragen aan de economie en andere activiteiten. In geval van bodem ecosysteemdiensten betekent dit bijvoorbeeld beter weerstand kunnen bieden aan extreem natte perioden en droogte (klimaatadaptatie) of in stand houden van biodiversiteit. Het NPL focust op vijf relevante diensten: 'bodemvruchtbaarheid', 'CO₂-vastlegging', 'biodiversiteit', 'waterbuffering' en 'waterkwaliteit' (LNV, 2019).</p> |
| Erfbetreders | <p>Dit zijn alle partijen die op het boerenbedrijf komen om daar een advies te geven over het management. Deze kunnen bestaan uit onafhankelijke adviseurs, bodemcoaches, maar ook adviseurs vanuit toeleverende partijen.</p> |
| Handelingsperspectief | <p>Het begrip "handelingsperspectief" verwijst naar de mogelijkheden en richtlijnen die mensen of groepen hebben om actie te ondernemen in een bepaalde situatie. In de context van boeren gaat het om de concrete acties en strategieën die zij kunnen gebruiken om bepaalde doelen te bereiken, zoals het vastleggen van koolstof in de bodem.</p> |
| Integratie | <p>Inschatten van hoe verschillende maatschappelijke tendensen en beleidsontwikkelingen op elkaar inwerken.</p> |
| Kennisdoorstroming | <p>Vertalen van wetenschappelijke onderzoeksresultaten naar begrijpbare en toepasbare taal en communicatiemiddelen die toegankelijk zijn voor de uiteindelijke gebruikers (boeren, erfbetreders, beleid, onderwijs, ketenpartijen).</p> |
| Klimaatmitigatie | <p>Een antropogene interventie die de bronnen van broeikasgassen vermindert of de opslag ervan verbetert (gebaseerd op Legg (2021)).</p> |
| Koolstofmaatregelen | <p>Onder koolstofmaatregelen wordt verstaan een structurele, langjarige wijziging in de bedrijfsvoering die leidt tot extra vastlegging van bodemkoolstof. Effecten van vele maatregelen zijn onderzocht. Effecten van aanvullende of 'nieuwe' maatregelen moeten nog worden gekwantificeerd voor de Nederlandse situatie.</p> |
| Koolstofvastlegging | <p>Proces van het overbrengen van CO₂ uit de atmosfeer naar de bodem via planten of andere organismen en die vervolgens worden vastgehouden als bodem organische stof. Dit resulteert in een toename van de totale koolstofvoorraad van de bodem.</p> |

| | |
|---|---|
| Koolstofverzadiging van de bodem | Het punt waarop een bodem zijn maximale capaciteit bereikt om extra aangevoerde koolstof op de slaan in de bodem. |
| Koolstofvoorraad | Koolstof in de bodem in een bepaald volume grond (hierbij wordt vaak uitgegaan van de eerste 30 cm) en oppervlak (uitgedrukt in t C/ha). |
| Living labs | Living laboratories – of "living labs" – versnellen innovatie en de adoptie van duurzamere praktijken. Ze creëren mogelijkheden voor boeren en andere belanghebbenden om samen oplossingen te ontwikkelen voor problemen waarmee ze in hun plaatselijke omgeving of regio worden geconfronteerd, waarbij rekening wordt gehouden met de verschillende landbouwsystemen en hun omgeving. Living labs zijn initiatieven waarin experimenten worden uitgevoerd op echte boerderijen, in specifieke regio's en gemeenschapscontexten, met boeren en andere actoren vanaf het begin als gelijkwaardige partners die ideeën voorstellen, testen, verbeteren en verder promoten. |
| Maximale koolstofvastlegging | Dit is het punt waarop de steady-state bereikt wordt bij de toepassing van een bepaalde maatregel. Dit punt kan per maatregel verschillen en het hoeft niet per definitie te betekenen dat op dat moment de bodem verzadigd is. |
| MRV | Monitoring Reporting en Verificatie. |
| Negatieve emissie | Netto verwijdering van CO ₂ equivalenten van broeikasgassen uit de atmosfeer. |
| Netto koolstofvastlegging | Koolstofvastlegging minus de emissie van CO ₂ en N ₂ O vanuit de bodem in CO ₂ -equivalenten. |
| Netwerken | Netwerk van boeren die samenwerken aan bepaalde uitdagingen binnen de agrarische sector. Het voornaamste doel van een netwerk is kennisuitwisseling. |
| Pedoklimatologische context | Verwijst naar de combinatie van bodem- en klimaatomstandigheden in een specifiek gebied, en hoe deze factoren samen de landbouwproductie, vegetatie, en ecologische processen beïnvloeden. De pedoklimatologische context wordt gebruikt om te bepalen welke landbouwpraktijken het meest geschikt zijn voor een bepaald gebied. |
| Permanentie | Dat veranderingen in de koolstofvoorraad of emissiereducties die worden bereikt door een bepaalde interventie, blijvend zijn over een lange termijn. |
| Regeneratieve landbouw | Regeneratieve landbouw is een landbouwpraktijk die een positieve bijdrage wil leveren aan natuur, milieu, klimaat, voedselzekerheid en sociale omstandigheden. |
| Roadmap of routekaart | Een roadmap of routekaart wordt gebruikt als raamwerk voor strategie, beleid en technologieplanning. Het doel van de roadmap is om de Theory of Change te vertalen naar een uitvoerbaar werkplan en tijdlijn. |
| SOC-opbouw | Een toename van de bodem organische koolstof (SOC, Soil Organic Carbon) voorraad op een bepaalde eenheid grond, te beginnen vanaf een initiële SOC-voorraad of in vergelijking met een waarde van business-as-usual (leidt niet altijd tot klimaatmitigatie of C-opslag in bodems). |
| Theory of Change (ToC) | Theory of Change is een methodologie of een criterium voor planning, participatie, adaptief management en evaluatie die onder andere wordt gebruikt in bedrijven, internationale ontwikkeling en onderzoek om sociale verandering te bevorderen. |
| Volhoudbaarheid | De permanentie waarmee vastgelegde koolstof in de bodem blijft onder invloed van een bepaald bodem(koolstof)management. |
| Volhoudbaarheid beleidsdoel | Hoe lang kan het doel van de overheid om 0.5 Mt CO ₂ jaarlijks extra vast te leggen worden volgehouden. |

Bijlage 3 Resultaat van consultaties ten behoeve van het vullen van de Theory of Change

Oorspronkelijke Theory of Change welke is ingevuld met sticky notes vanuit verschillende consultaties zoals beschreven in paragraaf 2.2. De notes zijn in te zien via de [link](#).



Bijlage 4 Relevante publicaties uit Slim Landgebruik 2018-2023

| Afbeelding | Titel | Doelgroep |
|---|---|---|
|  | <p>Maatregelen voor het vastlegging van koolstof in minerale bodems</p> <p>Uit deze brochure is tevens een poster voortgekomen welke is gedeeld met adviseurs uit de Bodemteams van DAW</p> | <p>Boeren en erfbetreders</p> |
|  | <p>Praktijktool Bodemkoolstof</p> | <p>Boeren en erfbetreders</p> |
|  | <p>Website Slim Landgebruik</p> | <p>Onderzoek, beleid, boeren, erfbetreders en onderwijs</p> |
|  | <p>30 vragen en antwoorden over koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems</p> <p>30 vragen en antwoorden over lachgasemissie uit landbouwgronden</p> | <p>Beleid, onderwijs, boeren en erfbetreders</p> |

Het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems in Nederland is haalbaar

Samenvatting van vijf jaar onderzoek in Slim Landgebruik

[Het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems in Nederland is haalbaar](#)

Beleid

Tabel 1: CO₂-balans overzichtstabel van effecten van maatregelen op kooldioxidevastlegging, N₂O-emissie en bodemfunctie op zandgronden.

| Maatregelen | Max CO ₂ -vastlegging ¹ ton CO ₂ /jaar | Zakelijk CO ₂ -vastlegging ² twee | Geeftalige N ₂ O-ermissie ³ ton CO ₂ -eq/jaar | Bodemfunctie ⁴ | | | |
|-----------------------------------|--|--|---|---------------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | | Bodemvruchtbaarheid | Bodemproductiviteit | Klimaatadaptatie | Waterhuishouding |
| Meer blijvend grasland | 20 | 0 | -23 tot 125 | 0/+ | + | + | 0/+ |
| 1-e delijf grasland verleggen | n.b. | 0 | n.b. | 0/+ | + | + | 0/+ |
| Wisselbeest: moss-grasloover | 95 | + | -17 tot 67 | 0/+ | 0/+ | 0/+ | + |
| Aardappel: grasloover | 59 | 0 | -35 tot 25 | + | + | + | + |
| Grasland: maaisilage/vergrassenen | 25 | 0 | 10 tot 19 | 0/+ | 0 | 0 | 0 |
| Extra water meest | 25 | 0 | -4 tot 5 | + | + | + | + |
| Extra compost | 24 | 0 | 1 tot 2 | 0/+ | 0/+ | 0 | + |
| Soepwateren achterlaten | 19 | 0 | 1 tot 7 | + | + | + | 0/+ |
| Agroforestry | 48 | 0 | -3 tot 8 | + | + | + | + |
| Truipakkers | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zaaiakkers | 3 | 0 | -2 tot -1 | 0/+ | 0 | 0/+ | + |
| Maat-karrende grondbeewerking | 0 | 0 | 12 tot 40 | 0/+ | 0 | 0/+ | 0/+ |
| Wisselbeest grasland | n.b. | 0 | -27 tot -6 | 0 | 0 | 0 | 0/+ |

Tabel 2: CO₂-balans overzichtstabel van effecten van maatregelen op kooldioxidevastlegging, N₂O-ermissie en bodemfunctie op kleigronden.

| Maatregelen | Max CO ₂ -vastlegging ¹ ton CO ₂ /jaar | Zakelijk CO ₂ -vastlegging ² twee | Geeftalige N ₂ O-ermissie ³ ton CO ₂ -eq/jaar | Bodemfunctie ⁴ | | | |
|-----------------------------------|--|--|---|---------------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | | Bodemvruchtbaarheid | Bodemproductiviteit | Klimaatadaptatie | Waterhuishouding |
| Meer blijvend grasland | 30 | 0 | -23 tot 75 | 0/+ | + | + | 0/+ |
| 1-e delijf grasland verleggen | n.b. | 0 | n.b. | 0/+ | + | + | 0/+ |
| Wisselbeest: moss-grasloover | 37 | 0 | -8 tot 33 | + | + | + | + |
| Aardappel: grasloover | 21 | 0 | 12 tot 20 | + | + | + | + |
| Grasland: maaisilage/vergrassenen | 113 | 0 | 40 tot 81 | + | + | + | 0/+ |
| Extra water meest | 42 | 0 | -4 tot 6 | + | + | + | + |
| Extra compost | 25 | 0 | 1 tot 3 | 0/+ | 0 | 0 | + |
| Soepwateren achterlaten | 29 | 0 | 1 tot 15 | + | + | + | 0/+ |
| Agroforestry | 48 | 0 | -2 tot 7 | + | + | + | + |
| Truipakkers | 3 | 0 | -1 tot 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zaaiakkers | 4 | 0 | 1 tot 2 | + | + | + | 0/+ |
| Maat-karrende grondbeewerking | 0 | 0 | 12 tot 40 | 0 | 0 | 0/+ | 0/+ |
| Wisselbeest grasland | n.b. | 0 | -23 tot -6 | 0 | 0 | 0 | 0/+ |

[CO₂Bodem, versie juni 2022](#)

Beleid

Nieuwsbrief Slim Landgebruik

Nr. 7 - december 2023

De 7e nieuwsbrief van het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik. Het programma is opgezet naar aanleiding van het klimaatdoel, waarin is bedoeld tot een jaarlijkse vastlegging van 0,5 Mton CO₂-equivalenten in de Nederlandse minerale landbouwbodems vanaf 2030. Deze nieuwsbrief is bedoeld voor alle partijen die een bijdrage kunnen of moeten leveren aan het behalen van dit klimaatdoel. In deze nieuwsbrief vindt u verdere informatie over de voortgang en afspraken van het onderzoeksprogramma rondom het vasthouden en opslaan van koolstof in de bodem. Deze informatie is een aanvulling op de website van Slim Landgebruik.

De 7e nieuwsbrief van het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik. Het programma is opgezet naar aanleiding van het klimaatdoel, waarin is bedoeld tot een jaarlijkse vastlegging van 0,5 Mton CO₂-equivalenten in de Nederlandse minerale landbouwbodems vanaf 2030. Deze nieuwsbrief is bedoeld voor alle partijen die een bijdrage kunnen of moeten leveren aan het behalen van dit klimaatdoel. In deze nieuwsbrief vindt u verdere informatie over de voortgang en afspraken van het onderzoeksprogramma rondom het vasthouden en opslaan van koolstof in de bodem. Deze informatie is een aanvulling op de website van Slim Landgebruik.

Onderwerpen in deze nieuwsbrief

1. Terugblik Kennisdag Bodem en Klimaat
2. Het klimaatdoel voor minerale landbouwbodems in Nederland is haalbaar
3. Koolstofvastlegging: versie 1 en 2
4. Grote Kennisdag webinar met Slim Landgebruik
5. Potentie voor koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems in de Nederlandse provincies
6. Communicatie

Nieuwsbrief Slim Landgebruik

Stakeholders, onderzoekers en beleid

| | | |
|---|---|-------------------------------|
|  <p>Methode voor vaststelling van CO₂-vastlegging in de bodem</p> <p>Type project:</p> <p>CO₂-vastlegging in de bodem door toepassing van blijvend grasland op minerale gronden (zand, klei en löss)</p> <p>Datum: 1 juli 2021 Auteurs: Syef Stapp, Louis Bokk Instituut Camm Klugger, CLM Jan Peter Lesschen, WUR Jos Cozijnsen, Climate Neutral Group Met financiële ondersteuning van het ministerie van LNV in het kader van het Klimaatbeleid, alsmede van ANV Het Groene Woud, S.J.E. Brabants Bodem en Provincie Noord-Brabant.</p> <p>Kenmerk: SNK-CO₂-vastlegging in de bodem-001 Status: Vastgesteld</p> | <p>SNK methodiek: CO₂-vastlegging in de bodem op minerale landbouwgronden</p> <p>SNK methodiek: CO₂-vastlegging in de bodem door toepassing van blijvend grasland op minerale gronden</p> | <p>Boeren en stakeholders</p> |
|---|---|-------------------------------|

