

Scenariostudie naar de impact van maatregelen op de koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems

Een overzicht van vier ontwikkelingsrichtingen

Zwanet Herbert, Bart Timmermans, Jan Peter Lesschen, Herman Agricola & Chris Koopmans



© 2022 Louis Bolk Instituut

Scenariostudie naar de impact van maatregelen op de koolstofvastlegging in minerale
landbouwbodems - Een overzicht van vier ontwikkelingsrichtingen.

Zwanet Herbert¹, Bart Timmermans¹, Jan Peter Lesschen², Herman Agricola², & Chris
Koopmans¹

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research

Publicatienummer 2022-026 LbP

37 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding en achtergrond	5
2 Maatregelen om koolstof vast te leggen	6
2.1 Aandeel graan verhogen	6
2.2 Extra vaste mest	6
2.3 Extra compost	6
2.4 Groenbemesters/vanggewassen	7
2.5 Winterbedekking	7
2.6 Akkerranden	7
2.7 Vogelakkers	7
2.8 Stroresten achterlaten	8
2.9 Gereduceerde grondbewerking	8
2.10 Meer blijvend grasland	8
2.11 Leefijd grasland verhogen	9
2.12 Mais-grasklaver wisselteelt	9
3 Vier potentiële ontwikkelingsrichtingen	10
3.1 Effectiviteits-case	10
3.2 Best-case	10
3.3 Lage kosten-case	10
3.4 GLB-case	11
4 Effect van losse maatregelen	12
4.1 Effect op koolstofvastlegging	12
4.2 Interactie tussen maatregelen	18
5 Excel-tool voor doorrekenen maatregelenpakketten	20
6 Doorrekening ontwikkelingsrichtingen	21
6.1 Effectiviteits-case	21
6.2 Best-case	23
6.3 Lage kosten-case	24
6.4 GLB-case	25
7 Conclusies en aanbevelingen	26
Literatuur	27
Bijlage 1: Leefijdsverdeling blijvend grasland	28
Bijlage 2: Excel tool	30
Bijlage 3: Absolute koolstofvastlegging	32

Samenvatting

Inleiding en achtergrond

De landbouwsector heeft zich gecommitteerd aan het Klimaatakkoord uit 2019. Een onderdeel daarvan is het doel om vanaf 2030 een reductie van 0,5 Mton CO₂-equivalenten per jaar te realiseren door het vastleggen van koolstof in de organische stof van minerale landbouwbodems. Via het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL) werkt LNV samen met diverse partijen aan het realiseren van handelingsperspectieven voor duurzaam bodembeheer en koolstofvastlegging in landbouwbodems. Een belangrijk onderdeel van het NPL is het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik (SL). Binnen Slim Landgebruik ligt de focus onder meer op het onderbouwen van de effectiviteit van maatregelen voor koolstofvastlegging. Dit heeft onder andere geleid tot tussenresultaten omtrent de effectiviteit van koolstofvastlegging en de CO₂-Bodem tabel (2021). De route naar realisatie van het doel om in 2030 extra koolstofvastlegging van 0,5 Mton CO₂-eq te realiseren is van vele factoren afhankelijk. Momenteel ontbreekt er een duidelijk zicht op hoe de beoogde extra koolstofvastlegging behaald kan worden.

Doelstelling

Om meer inzicht te verkrijgen in mogelijke ontwikkelingsrichtingen naar 2030 van de koolstofvastlegging in de praktijk, zijn vier hypothetische scenario's rondom de implementatie van maatregelen van koolstofvastlegging uitgewerkt. De studie dient als eerste vingeroefening om gevoel te krijgen voor de effecten van de toepassing van maatregelen om koolstoflegging te realiseren in de landbouw.

Aanpak

In totaal is een set van twaalf maatregelen om koolstof vast te leggen in minerale bodems meegenomen in deze studie. Hiervan komen de meesten overeen met maatregelen uit de CO₂-bodem tabel van Slier et al. (2021).

1. Aandeel graan verhogen
2. Extra vaste mest
3. Extra compost
4. Groenbemesters/vanggewassen
5. Winterbedekking
6. Akkerranden
7. Vogelakkers
8. Stroresten achterlaten
9. Gereduceerde grondbewerking
10. Meer blijvend grasland
11. Leeftijd grasland verhogen
12. Mais-grasklaver wisselteelt

De vier hypothetische scenario's (cases) rondom de implementatie van maatregelen van koolstofvastlegging met de maatregelen die ze omvatten en die in deze studie zijn uitgewerkt zijn:

1. Effectiviteits-case

Aan de hand van de resultaten van Lesschen et al. (2021) zijn voor klei- en zandgrond de top drie maatregelen geselecteerd die de hoogste potentiële vastlegging lieten zien. Deze zijn:

- Aandeel graan verhogen (zand en klei)
- Meer blijvend grasland (zand en klei)
- Mais-grasklaver wisselteelt (zand)
- Groenbemesters/vanggewassen (klei)

2. Best-case

Het Best-case scenario gaat er van uit dat alle maatregelen zoals omschreven in hoofdstuk 2 worden gestimuleerd en zo de hoogst mogelijke koolstofvastlegging plaatsvindt. Dit scenario omvat alle 12 maatregelen.

3. Lage kosten-case

In de Lage kosten-case wordt gekeken wat de verwachte koolstofvastlegging wordt wanneer alleen de maatregelen die de minste financiële kosten met zich meebrengen worden geïmplementeerd. Bij de selectie van de drie maatregelen met de laagste meerkosten per hectare is gebruik gemaakt van de CO₂-bodem tabel (Slier et al. 2021). De maatregelen in deze case zijn:

- Mais-grasklaver wisselteelt (zand)
- Meer blijvend grasland (zand en klei)
- Leeftijd grasland verhogen (zand en klei)
- Extra vaste mest (klei)

4. GLB-case

De GLB-case bestaat uit maatregelen die via het GLB gestimuleerd zullen worden. Dit scenario laat daarmee de verwachte koolstofvastlegging zien die via het GLB reeds bereikt wordt. De maatregelen in deze case zijn:

- Aandeel graan verhogen (zand en klei)
- Meer blijvend grasland (zand en klei)
- Winterbedekking (zand en klei)

Om de totale jaarlijkse koolstofvastlegging voor de verschillende scenario's door te rekenen is een Excel tool ontwikkeld. Deze tool maakt het mogelijk om per scenario het maatregelenpakket samen te stellen en de implementatiegrenzen aan te passen. De Excel tool gebruikt als achterliggende data de cijfers van Slier et al. (2021), welke gebaseerd zijn op de CO₂-bodem tabel. De tool is zo ingericht dat deze data in de toekomst eenvoudig vervangen kunnen worden door nieuwere versies van de CO₂-bodem tabel.

Resultaten

Bij het toepassen van de maatregelen uit de Effectiviteits-case wordt bij een hoge implementatie van 75% een vastlegging van 436 kton CO₂/jaar bereikt. Bij een lage implementatiegraad van 25% wordt in totaal 145 kton CO₂ per jaar vastgelegd. Hiermee wordt het doel om ten minste 0,5 Mton per jaar vast te leggen niet gehaald. 85 % implementatie is nodig om 0,5 Mton te behalen.

Wanneer in de Best case ingezet wordt op het toepassen van alle maatregelen wordt er bij een hoge implementatie (75%) een totale jaarlijkse koolstofvastlegging van 817 kton CO₂ verwacht. Bij een lage implementatie (25%) is de verwachte koolstofvastlegging 272 kton CO₂ per jaar.

Als in de lage kosten case alleen de drie goedkoopste maatregelen op zand- en kleigronden worden toegepast is de totale vastlegging die bereikt wordt 329 kton CO₂ per jaar bij een implementatie van 75% en 110 kton CO₂ per jaar bij een implementatie van 25%. Zelfs bij een implementatie van 100% kan met deze selectie van maatregelen het doel van 0,5 Mton CO₂ vastlegging per jaar niet gehaald worden.

De maatregelen uit de GLB-case ten slotte leggen samen 458 kton CO₂ vast per jaar bij een implementatie van 75% en 153 kton CO₂ per jaar bij een implementatie van 25%. Om met deze case te komen tot een jaarlijkse vastlegging van 0,5 Mton CO₂ is een implementatie van ten minste 86% nodig. Uit de doorrekening blijkt dat de GLB-maatregelen vooral op zandgrond leiden tot het vastleggen van koolstof.

Conclusies en aanbevelingen

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 cases 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. De maatregelen groenbemesters en vanggewassen, hoger aandeel blijvend grasland, en gewasresten achterlaten zijn daarbij de maatregelen die hieraan het meeste bijdragen.

- Indien gekozen wordt voor een focus op een beperkte set maatregelen die erg effectief zijn is het doel ook haalbaar, maar moeten de gekozen maatregelen wel op grote schaal worden toegepast.
- Het implementeren van een beperkte set maatregelen met lage toepassingskosten zorgt voor onvoldoende koolstofvastlegging om het klimaatdoel te halen. De lage kosten case, met de drie goedkoopste maatregelen per bodemsoort zijn daarbij allen veehouderijmaatregelen.

- De eco-regelingen in het nieuwe GLB leggen bij een hoge implementatie nog niet genoeg koolstof vast om het doel te halen. Onder de eco-regelingen vallen echter een aantal maatregelen welke niet zijn meegenomen in deze studie maar wel degelijk potentie hebben om bij te dragen aan het vastleggen van koolstof. Hiermee wordt het doel bij een hoge implementatie vermoedelijk toch gehaald.

1 Inleiding en achtergrond

De landbouwsector heeft zich gecommitteerd aan het Klimaatakkoord uit 2019. Een onderdeel daarvan is het doel om vanaf 2030 een reductie van 0,5 Mton CO₂-equivalenten per jaar te realiseren door het vastleggen van koolstof in de organische stof van minerale landbouwbodems. Met de toekomstvisie "Waardevol en Verbonden" wil het ministerie van LNV inzetten op het duurzaam beheren van landbouwbodems waarin de beoogde koolstofvastlegging gerealiseerd wordt.

Via het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL) werkt LNV samen met diverse partijen aan het realiseren van handelingsperspectieven voor duurzaam bodembeheer en koolstofvastlegging in landbouwbodems. Een belangrijk onderdeel van het NPL is het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik (SL). Binnen Slim Landgebruik ligt de focus onder meer op het onderbouwen van de effectiviteit van maatregelen voor koolstofvastlegging. Een aantal maatregelen worden hiertoe onderzocht met behulp van lange termijn experimenten en praktijkonderzoek. Dit heeft onder andere geleid tot tussenresultaten omtrent de effectiviteit van koolstofvastlegging en de CO₂-Bodem tabel (2021). Hierbij is ook een technische potentie van de totale koolstofvastlegging in landbouwbodems in Nederland berekend.

De route naar realisatie van het doel om in 2030 extra koolstofvastlegging van 0,5 Mton CO₂-eq te realiseren is van vele factoren afhankelijk. Deze factoren zijn onder andere de implementatiegraad van maatregelen onder boerenbedrijven, het totale areaal waarop maatregelen worden toegepast en de effectiviteit van de maatregelen op de koolstofvastlegging. Momenteel ontbreekt er een duidelijk zicht op hoe de beoogde extra koolstofvastlegging behaald kan worden.

Om meer inzicht te verkrijgen in mogelijke ontwikkelingsrichtingen naar 2030 van de koolstofvastlegging in de praktijk, zijn vier hypothetische scenario's rondom de implementatie van maatregelen van koolstofvastlegging uitgewerkt. De aanname is hierbij dat de boerenbedrijven vooral met het maatregelenpakket vanuit Slim Landgebruik aan de slag zullen gaan. Het doel van deze scenariostudie is om aanknopingspunten te vinden voor meer sturing op de focus van onderzoek en van de kennisverspreiding rondom maatregelen voor koolstofvastlegging. De studie dient als eerste vingeroefening om gevoel te krijgen voor de effecten van de toepassing van maatregelen om koolstofvastlegging te realiseren in de landbouw. Hierom zijn stimuleringsacties en samenhangende kosten voor het toepassen van de maatregelen in deze studie buiten beschouwing gelaten.

2 Maatregelen om koolstof vast te leggen

In totaal is een set van twaalf maatregelen om koolstof vast te leggen in minerale bodems meegenomen in deze studie. Hiervan komen de meesten overeen met maatregelen uit de CO₂-bodem tabel van Slier et al. (2021). De maatregel 'dierlijke mest en compost toevoegen' uit de CO₂-bodem tabel is opgesplitst in de twee aparte maatregelen 'extra vaste mest' en 'extra compost'. Daarnaast is ook van de maatregel 'groenbemester/vanggewassen' een alternatieve variant 'winterbedekking' uitgewerkt en is aanvullend op de maatregel 'aandeel blijvend grasland verhogen' de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' opgenomen in de set van maatregelen. De maatregelen 'kruidenrijk grasland' en 'agroforestry' zijn vanwege het gebrek aan kwantitatieve inschattingen voor de koolstofvastlegging in de bodem niet meegenomen in deze studie. In dit hoofdstuk worden alle maatregelen kort toegelicht en afgebakend.

2.1 Aandeel graan verhogen

De Nederlandse akkerbouw past gewasrotaties toe met een groot aandeel rooigewassen zoals aardappelen, uien en suikerbieten. Omdat bij de teelt van rustgewassen meer gewasresten zoals wortels achterblijven, is een hoger aandeel rustgewassen in het bouwplan gunstig voor de koolstofvastlegging in de bodem. Onder rustgewassen vallen bijvoorbeeld graangewassen, grassen en vlinderbloemigen zoals klaver, lupine, veldbonen en luzerne. Voor de maatregel 'aandeel graan verhogen' is specifiek gekeken naar het verhogen van het aandeel granen in het bouwplan naar 50% ten koste van intensieve rooigewassen.

Het aandeel graan wat al geteeld wordt in het bouwplan verschilt sterk per regio en daarmee ook de potentie om extra graan te verbouwen. Voor deze maatregel is binnen deze studie gekeken naar de regionale potentie voor koolstofvastlegging.

2.2 Extra vaste mest

Vaste mest heeft een relatief hoog gehalte aan organisch materiaal doordat de mest vermengd is met strooisel zoals stro. Van de totale mestproductie in Nederland bestaat minder dan vijf procent uit traditionele vaste mest. Tegenwoordig worden ook via mestscheiding meststoffen geproduceerd met veel organische stof. In deze maatregel is de beperkte hoeveelheid extra beschikbare vaste mest verdeeld over het volledige landbouwareaal (Lesschen et al., 2021). Hierdoor is de dosering en verwachte koolstofvastlegging per hectare lager dan bij doseringen die in de praktijk gangbaar zijn.

2.3 Extra compost

Net als vaste mest bevat compost veel organische stof ten opzichte van kunstmest of drijfmest, waardoor het toedienen van compost een effectieve maatregel is voor het

vastleggen van koolstof. In deze maatregel is specifiek gekeken naar groencompost en gft-compost. De dosering die in de berekeningen is meegenomen is bepaald als de potentieel extra beschikbare hoeveelheid compost in Nederland verdeeld over het areaal akkerbouwgewassen en snijmais (Lesschen et al., 2021). De dosering en de daarbij horende effecten per hectare liggen daarmee lager dan bij een praktijkgerichte dosering.

2.4 Groenbemesters/vanggewassen

Groenbemesters verbouwen is een effectieve maatregel om koolstof vast te leggen doordat het volledige gewas wordt ingewerkt in de bodem. In Nederland wordt al op meer dan de helft van het akkerbouwareaal een groenbemester geteeld na het hoofdgewas. Er is een grote diversiteit aan groenbemesters die geteeld worden welke verschillen in de hoeveelheid bovengrondse en ondergrondse biomassa die zij produceren (Selin Norén et al., 2021). Voor deze maatregel is gekeken naar hoeveel extra implementatie van groenbemesters mogelijk is. Om de diversiteit aan groenbemesters en het bijhorende effect op de koolstofvastlegging te generaliseren is een gewogen gemiddelde genomen van de berekende koolstoftoevoer van elke groenbemester bij inwerking voor de winter (Lesschen et al. 2021).

2.5 Winterbedekking

In de eco-regeling van het nieuwe GLB wordt ingezet op het jaarrond bedekt houden van het bouwland. Het gaat hierbij met name om het laten staan van groenbemesters uit het voorgaande jaar welke in het voorjaar worden ingewerkt. De maatregel 'winterbedekking' is daarom toegevoegd in deze studie, als overwinterende versie van de maatregel 'groenbemesters/vanggewassen'.

2.6 Akkerranden

Een akkerrand is een eenjarige of meerjarige strook ingezaaid met een mengsel van grassen, kruiden, granen en bloemen. Via dood materiaal en de intensieve beworteling wordt organische stof en daarmee koolstof opgebouwd in de bodem. Bij deze maatregel wordt uitgegaan van een meerjarige akkerrand, waarbij bij de bepaling van de koolstofvastlegging per hectare de hele hectare bestaat uit akkerrand.

2.7 Vogelakkers

Vogelakkers worden volvelds aangelegd voor een periode van drie tot vier jaar. Ze bestaan uit braakstroken ingezaaid met grassen, granen en kruiden, afgewisseld met stroken rode klaver of luzerne. Deze braakstroken en rode klaver- of luzernestroken wisselen elkaar over de breedte van het perceel af. Het oppervlakte braakstrook bestrijkt ongeveer 25% van het perceel en de rode klaver/luzerne 75%. De stroken rode klaver/luzerne worden elk jaar zo'n

drie of vier keer gemaaid en afgevoerd. De vogelakkers leggen koolstof vast doordat dood materiaal van de meerjarige vegetatie achterblijft in de bodem.

2.8 Stroresten achterlaten

Onder gewasresten vallen de stengels, stoppels, bladeren en wortels van het gewas. Gewasresten die achterblijven op het land kunnen bijdragen aan de vastlegging van koolstof omdat minder organisch materiaal met de oogst het perceel verlaat. Binnen deze maatregel wordt er specifiek gekeken naar het effect van het achterlaten en inwerken van graanstengels (stro) na de graanoogst. De situatie waarin al het stro wordt achtergelaten na de oogst wordt vergeleken met de situatie waarin een deel van het stro wordt achtergelaten, representatief voor de gemiddelde hoeveelheid stro die nu al wordt achtergelaten (Lesschen et al., 2021).

2.9 Gereduceerde grondbewerking

De maatregel 'gereduceerde grondbewerking' omvat meerdere varianten van grondbewerking waarbij alleen een oppervlakkige bewerking of een niet-kerende bewerking van de bodem plaatsvindt. Aangenomen wordt dat gereduceerde grondbewerking de afbraak van koolstof in de bodem vertraagt waardoor ten opzichte van conventioneel ploegen meer koolstof wordt opgeslagen. Of er ten opzichte van conventioneel ploegen daadwerkelijk koolstofvastlegging plaatsvindt staat al lange tijd ter discussie. Onderzoek geeft tot dusver geen eenduidig beeld van de effecten van gereduceerde grondbewerking op koolstofvastlegging in de bodem. Binnen Slim Landgebruik wordt er daarom voor nu uitgegaan van het ontbreken van een effect (Lesschen et al., 2021).

2.10 Meer blijvend grasland

Op grasland worden relatief veel gewasresten aangevoerd via wortel- en bladresten terwijl de ondergrondse afbraak van organische stof laag is (Van Eekeren et al., 2018a). Dat leidt tot een hoge koolstofvastlegging. Bij scheuren komt er meer zuurstof in de bodem waardoor koolstof wordt afgebroken. Met een hoger aandeel blijvend grasland (grasland dat ten minste vijf jaar niet vernieuwd wordt), vinden er minder grondbewerkingen plaats en wordt meer koolstof in de bodem vastgelegd. Voor deze maatregel worden in het bouwplan de hoeveelheden tijdelijk grasland en snijmais beiden met 40% verlaagd ten gunste van blijvend grasland (Lesschen et al., 2021). Dit is gebaseerd op de aannames voor een grondgebonden melkveehouderij met meer eiwit productie op eigen bedrijf. Regionaal is dit percentage naar beneden geschaald waar een verschuiving van 40% niet mogelijk was.

2.11 Leefijd grasland verhogen

Voortbordurend op de maatregel 'meer blijvend grasland' uit Lesschen et al. (2021) wordt in deze maatregel gekeken naar het verminderen van de frequentie waarop blijvend grasland vernieuwd wordt. Door de frequentie van graslandvernieuwing te verlagen blijft meer koolstof vastgelegd in de bodem. In deze maatregel is specifiek gekeken naar het verlagen van de frequentie waarop blijvend grasland vernieuwd wordt van eens in de zes jaar naar eens in de tien jaar op zandgrond, en van eens in de negen jaar naar eens in de vijftien jaar op kleigrond. Voor deze maatregel is gekeken naar de regionale potentie. Op regioniveau zijn er grote verschillen in de leeftijden van het grasland, waardoor er door heel Nederland niet overal evenveel ruimte is om deze maatregel toe te passen.

2.12 Mais-grasklaver wisselteelt

Op met name zandgrond hebben melkveebedrijven veelal snijmais in het bouwplan, die vaak jaren opeen op hetzelfde perceel geteeld wordt. Met de maatregel 'Mais-grasklaver wisselteelt' wordt een 60-20-20 verhouding in het bouwplan gehanteerd met 60% blijvend grasland en een wisselteelt van 20% tijdelijk grasland en 20% snijmais. Het doorbreken van de continue teelt van snijmais leidt tot een hogere vastlegging van koolstof. Bij deze maatregel zijn, in regio's waar dit nog niet het geval was, de aandelen tijdelijk grasland en snijmais teruggebracht naar 20% en is het aandeel blijvend grasland verhoogd naar 60%.

3 Vier potentiële ontwikkelingsrichtingen

De route naar realisatie van het doel om in 2030 extra koolstofvastlegging van 0,5 Mton CO₂-equivalenten is van vele factoren afhankelijk. Welke maatregelen worden geïmplementeerd en hoe hoog de implementatiegraad van deze maatregelen onder boerenbedrijven is, bepaald sterk in welke mate naar de doelen van koolstofvastlegging wordt toegewerkt. Om meer inzicht te verkrijgen in mogelijke ontwikkelingsrichtingen naar 2030 zijn vier hypothetische scenario's opgesteld waarin verschillende maatregelenpakketten zijn doorgerekend. Voor elke case is gekeken naar de effecten op de koolstofvastlegging bij een lage implementatiegraad (25%) en bij een hoge implementatiegraad (75%).

3.1 Effectiviteits-case

In de Effectiviteits-case wordt ingezet op het stimuleren van de maatregelen die naar verwachting op landelijke schaal zullen leiden tot de hoogste jaarlijkse koolstofvastlegging. Dit zijn maatregelen die een relatief hoge vastlegging per hectare laten zien, of op landelijk niveau op een groot areaal kunnen worden toegepast. Aan de hand van de resultaten van Lesschen et al. (2021) zijn voor klei- en zandgrond de top drie maatregelen geselecteerd die de hoogste potentiële vastlegging lieten zien (Tabel 1).

Tabel 1: De maatregelenpakketten voor zand- en kleigrond zoals deze zijn doorgerekend voor de effectiviteits-case.

Maatregelen Effectiviteits-case	
Zand	Klei
Aandeel graan verhogen	Aandeel graan verhogen
Meer blijvend grasland	Groenbemesters/vanggewassen
Mais-grasklaver wisselteelt	Meer blijvend grasland

3.2 Best-case

Het Best-case scenario gaat er van uit dat alle maatregelen zoals omschreven in hoofdstuk 2 worden gestimuleerd en zo de hoogst mogelijke koolstofvastlegging plaatsvindt. Niet alle maatregelen kunnen naast elkaar uitgevoerd worden, waardoor iets op het potentiaal moet worden ingeleverd. Daarentegen zijn er ook maatregelen die juist extra mogelijkheden creëren voor andere maatregelen. De aannames die hiervoor gemaakt zijn worden beschreven in hoofdstuk 4.2.

3.3 Lage kosten-case

In de Lage kosten-case wordt gekeken wat de verwachte koolstofvastlegging wordt wanneer alleen de maatregelen die de minste financiële kosten met zich meebrengen

worden geïmplementeerd. Bij de selectie van de drie maatregelen met de laagste meerkosten per hectare is gebruik gemaakt van de CO₂-bodem tabel (Slier et al. 2021). Deze tabel geeft een schatting van de kosten van de maatregelen op basis van eerdere economische doorrekeningen die binnen Slim Landgebruik zijn uitgevoerd. De maatregelen vogelakkers en akkerranden zijn uit de selectie weggelaten. In de kostenweergave van Slier et al. (2021) zijn ANLb subsidies voor deze maatregelen meegenomen, waardoor de daadwerkelijke kosten van deze maatregelen naar verwachting hoger zullen uitvallen dan de CO₂-bodem tabel weergeeft. Voor de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' zijn de financiële doorrekeningen uit Van Hal & Wagenaar (2021) gebruikt. De geselecteerde maatregelen voor zand- en kleigrond zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: De maatregelenpakketten voor zand- en kleigrond zoals deze zijn doorgerekend voor de Lage kosten-case.

Maatregelen Lage kosten-case	
Zand	Klei
Mais-grasklaver wisselteelt	Meer blijvend grasland
Meer blijvend grasland	Leeftijd grasland verhogen
Leeftijd grasland verhogen	Extra vaste mest

3.4 GLB-case

De GLB-case bestaat uit maatregelen die via het GLB gestimuleerd zullen worden. Dit scenario laat daarmee de verwachte koolstofvastlegging zien die via het GLB reeds bereikt wordt. In overleg met het LNV zijn drie maatregelen uit geselecteerd welke naar verwachting aan zullen sluiten bij het GLB (Tabel 3). De maatregelen zoals deze doorgerekend zijn binnen deze scenariostudie kunnen mogelijk afwijken van de maatregelen zoals deze worden gedefinieerd en geïmplementeerd binnen het GLB.

Tabel 3: De maatregelenpakketten voor zand- en kleigrond zoals deze zijn doorgerekend voor de GLB-case.

Maatregelen GLB-case	
Zand	Klei
Aandeel graan verhogen	Aandeel graan verhogen
Meer blijvend grasland	Meer blijvend grasland
Winterbedekking	Winterbedekking

4 Effect van losse maatregelen

Om iets te zeggen over de verwachte koolstofvastlegging voor de verschillende ontwikkelingsrichtingen is inzicht nodig in de effectiviteit van de losse klimaatmaatregelen op de vastlegging van koolstof en in het areaal waarop deze maatregelen in potentie kunnen worden toegepast. Binnen Slim Landgebruik zijn aan de hand van de nieuwste inzichten en beschikbare data inschattingen gemaakt van de koolstofvastlegging op zand- en kleigronden. Daarnaast zijn de potentiële arealen voor implementatie van de maatregelen en de schaal waarop de maatregelen reeds worden toegepast in kaart gebracht (Lesschen et al., 2021). In hoofdstuk 4.1. wordt toegelicht hoe de koolstofvastlegging en potentiële arealen zijn gekwantificeerd. In hoofdstuk 4.2. worden de verwachte interacties tussen de losse klimaatmaatregelen beschreven en gekwantificeerd.

4.1 Effect op koolstofvastlegging

Lesschen et al. (2021) heeft voor het gros van de klimaatmaatregelen omschreven in hoofdstuk 2 de koolstofvastlegging op zand- en kleigronden bepaald door middel van modelberekeningen. Hiervoor zijn gegevens over bemesting, gewasopbrengst en bodemgegevens gebruikt om de effecten van de losse maatregelen op postcodeniveau uit te rekenen. Voor elke maatregel zijn de resultaten op postcodeniveau daarna geaggregeerd tot een landelijk gemiddelde effect voor de koolstofvastlegging, uitgesplitst voor zand- en kleigronden. Hierbij wordt uitgegaan van een implementatie gedurende de eerste jaren van toepassing van de maatregelen, waarbij nog sprake is van een rechtlijnig effect op de koolstofvoorraad. Voor deze studie zijn de maatregelen uit Lesschen et al. (2021) nogmaals berekend, maar nu op basis van data over gewasarealen uit de Basis Registratie Percelen (BRP) van 2021. Verder zijn voor deze scenariostudie enkele maatregelen toegevoegd, opgesplitst of herzien. Deze worden in onderstaande paragrafen verder toegelicht. Een overzicht van de inschattingen van de koolstofvastlegging en arealen van de maatregelen die zijn meegenomen in deze studie zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Potentiële jaarlijkse CO₂-vastlegging per hectare, het potentieel areaal waarop de maatregel kan worden toegepast en de huidige implementatiegraad van de maatregelen, uitgesplitst naar zand- en kleigronden. Deze resultaten zijn gebaseerd op een update van Lesschen et al., (2021).

Maatregel	CO ₂ -vastlegging		Potentieel areaal		Huidige implementatiegraad %
	kg CO ₂ / ha / jaar		1000 ha		
	Zand	Klei	Zand	Klei	
Aandeel graan verhogen	1900	1990	21	31	69
Extra vaste mest	50	60	661	742	94

Extra compost	80	90	287	381	72
Groenbemesters/vanggewassen	2300	1860	17	72	64
Winterbedekking	2300	1860	13,7	28,6	40
Akkerranden	520	780	6	8	6
Vogelakkers	1860	1430	2	3	6
Gewasresten achterlaten	765	1650	24	48	56
Gereduceerde grondbewerking	0	0	505	505	23
Meer blijvend grasland	2620	1850	81	49	79
Leeftijd grasland verhogen	520	690	63	69	0
Mais-grasklaver wisselteelt	2120	1680	45	22	87

4.1.1. Aandeel graan verhogen

Binnen Nederland zijn per regio grote verschillen wat betreft de gewassen die er geteeld worden en in welke omvang. Het is niet in elke regio mogelijk om het aandeel graan in het bouwplan op te schalen naar 50% zoals de veronderstelling is in Lesschen et al. (2021). Tegelijkertijd wordt er in andere regio's al (ruimschoots) aan het doel van 50% graangewassen in het bouwplan voldaan. Het is daarom van toegevoegde waarde om deze regionale



Figuur 1: De veertien landbouwregio's van Nederland zoals gebruikt door het CBS.

verschillen mee te nemen wanneer de potentie van de maatregel 'aandeel graan verhogen' wordt bepaald.

De standaard bouwplannen zijn in kaart gebracht voor de veertien landbouwregio's van Nederland, zoals deze worden onderscheiden door het CBS (Figuur 1). Dit is een vrij grove indeling waarbij binnen de regio nog grote verschillen kunnen liggen in de gehanteerde bouwplannen. Zo bevinden zich in de regio Veenkoloniën & Oldambt bijvoorbeeld veel bedrijven met een intensief Veenkoloniaal bouwplan met maar weinig granen en bedrijven op de zware klei in Oldambt waar de aandelen graan in het bouwplan rond de 70% liggen. Door per regio onderscheid te maken tussen zand- en kleigrond en veengronden niet mee te nemen worden veel van deze verschillen in een regio uit elkaar gehaald. In Bijlage 1 zijn de kaarten die deze opdeling in zand- en kleigebieden weergeven toegevoegd. Daarnaast is er alleen gekeken naar de gewasgroepen die landelijk het meest geteeld worden (bollen en knollen, aardappelen, suikerbieten, uien en granen) waardoor de groenteteelt en fruitteelt buiten beschouwing zijn gelaten. Zo ontstaat er een indeling in 28 groepen waarin de bouwplannen binnen een groep weinig variatie tonen.

Tabel 5: De huidige en potentiële aandelen graan in het bouwplan en de verwachte CO₂-vastlegging voor de 14 landbouwregio's, uitgesplitst voor zand- en kleigronden.

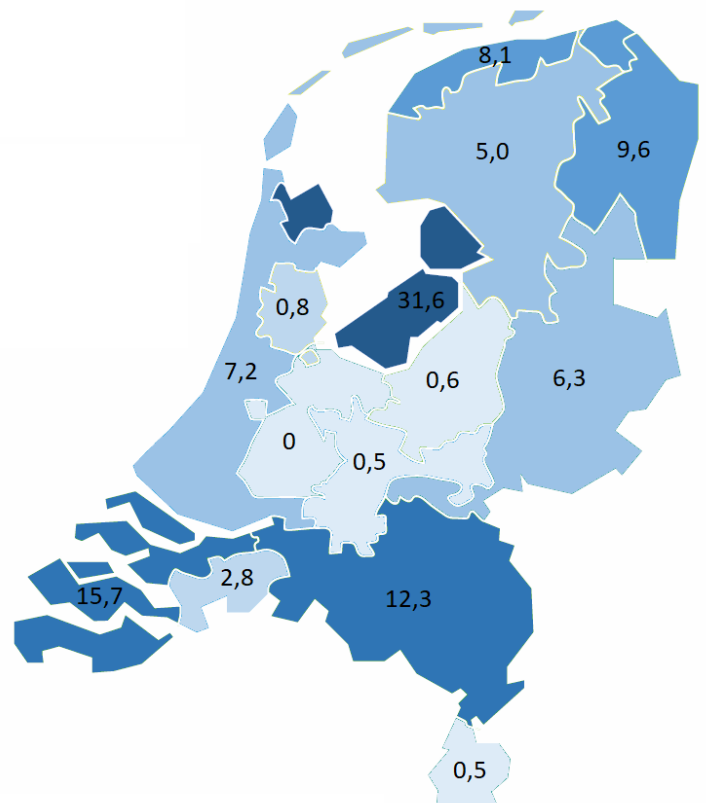
Regio	Gemiddeld huidig aandeel graan (%)		Potentieel aandeel graan (%)		CO ₂ -vastlegging (kg CO ₂ / ha / jaar)		Potentieel areaal (1000 ha)	
	Zand	Klei	Zand	Klei	Zand	Klei	Zand	Klei
	Bouwhoek & Hogeland	37	40	50	50	1840	2030	0,1
Veenkoloniën & Oldambt	22	69	40	50	1640	2050	5,5	0,3
Noordelijke Weidegebied	19	47	40	50	2170	2140	1,7	0,6
Oostelijk Veehouderijgebied	36	53	50	50	1640	1500	3,5	0,4
Centraal Veehouderijgebied	52	53	50	50	1850	-	0,3	0,0
IJsselmeerpolders	16	28	30	50	2220	2170	1,9	12,5
Westelijk Holland	7	38	15	50	2400	2280	0,7	2,4
Waterland en Droogmakerijen	11	36	20	50	-	1930	0,0	0,4
Hollands/Utrechts Weidegebied	98	82	50	50	-	-	0,0	0,0
Rieverengebied	52	63	50	50	1880	1600	0,1	0,2
Zuidwestelijk Akkerbouwgebied	40	43	50	50	1690	1710	0,4	8,8
Zuidwest-Brabant	25	55	50	50	2080	2200	0,9	0,4
Zuidelijk Veehouderijgebied	37	45	50	50	1780	1840	6,2	0,7
Zuid-Limburg	54	50	50	50	-	1220	0,0	0,4
Totaal Nederland					1900	1990	21	31

Om tot standaard bouwplannen te komen zijn per regio de gewasarealen van rooivruchten (bollen en knollen, aardappelen, suikerbieten en uien) en graangewassen uit BRP 2021 gebruikt, waarbij onderscheid werd gemaakt tussen zand- en kleigrond. Voor elke regio is op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van de potentiële verhoging van graan in het bouwplan die per regio haalbaar is (Tabel 5).

Deze inschatting is gebaseerd op het aandeel graangewassen dat al geteeld wordt in de regio en de typen rooivruchten die veel geteeld worden in de regio. Zo is in regio's waar op het moment maar weinig graan verbouwd wordt de stap naar 50% graan waarschijnlijk te groot. In de regio's waar veel bollenteelt plaatsvindt zal maar moeilijk met gewasarealen geschoven kunnen worden. Ook in de Veenkoloniën bijvoorbeeld wordt het aanpassen van de gewasrotatie als lastig ervaren en is een verhoging van het aandeel graan naar 50% waarschijnlijk te hoog gegrepen.

De koolstofvastlegging die in Lesschen et al. (2021) per postcodegebied berekend is voor het omzetten van een hectare rooigewas naar graan is geaggregeerd naar de 14 landbouwregio's. Postcodegebieden waar het areaal graan al boven de 50% ligt zijn niet meegenomen in de bepaling van de koolstofvastlegging en het potentiële areaal van de regio. Waar het verhogen van het aandeel graan naar 50% niet mogelijk wordt geacht is het potentiële areaal wat omgezet kan worden naar graan omlaag geschaald naar de relatieve toename die voor de regio als maximaal haalbaar wordt gezien. Het theoretische areaal in Nederland waarop extra graan kan verbouwd werd geschat op 31.000 hectare op zand en 31.000 hectare op klei. Door de beperkte haalbaarheid in bepaalde regio's op zand is de het potentiële areaal op zandgrond verlaagd naar 21.000 hectare.

De potentiële koolstofvastlegging van de maatregel 'aanpassen gewasrotatie' is het hoogst in de IJsselmeerpolders en het laagst in het Hollands en Utrechts weidegebied (Figuur 2).



Figuur 2: Potentiële koolstofvastlegging van de maatregel 'aanpassen gewasrotatie' in de veertien landbouwgebieden (kt CO₂ / jaar).

4.1.2. Winterbedekking groenbemester

Het effect van het overwinteren van een groenbemester op de koolstofvastlegging is binnen Slim Landgebruik nog niet doorgerekend. Of het overwinteren in vergelijking met het inwerken in het najaar leidt tot extra koolstofvastlegging is erg afhankelijk van het type groenbemester en de weersomstandigheden. Waar grasachtige groenbemers zoals Italiaans raaigras of winterrogge de winter meestal goed doorkomen en in het voorjaar nog in biomassa kunnen toenemen, zijn veel van de gangbare groenbemers vorstgevoelig en zullen in de meeste gevallen volledig afsterven gedurende de winter.

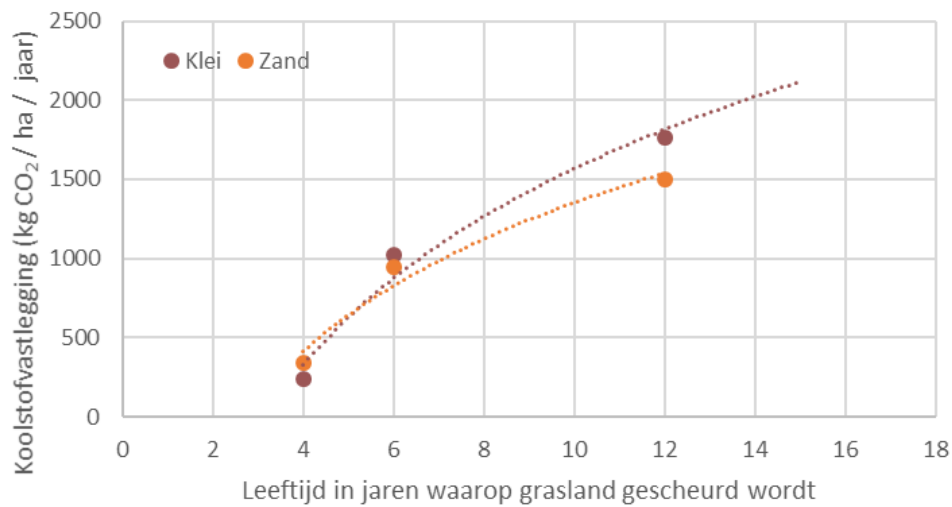
Aangenomen wordt de biomassatoename gemiddeld relatief gering is over de wintermaanden. Hierom is er voor gekozen om voor het overwinteren van een groenbemester uit te gaan van een gelijke koolstofvastlegging als bij de maatregel 'groenbemester/vanggewassen'.

Voor het toepassen van een groenbemester die in de winter blijft liggen zijn als uitgangspositie de arealen van de maatregel 'groenbemester/vanggewassen' gebruikt. Omdat het, met name op kleigrond, niet onder alle omstandigheden haalbaar is een groenbemester te laten overwinteren, zijn de arealen naar beneden geschaald door het areaal van de maatregel 'groenbemers/vanggewassen' te vermenigvuldigen met 0,9 voor zandgrond en 0,5 voor kleigrond.

4.1.3. Leeftijd grasland verhogen

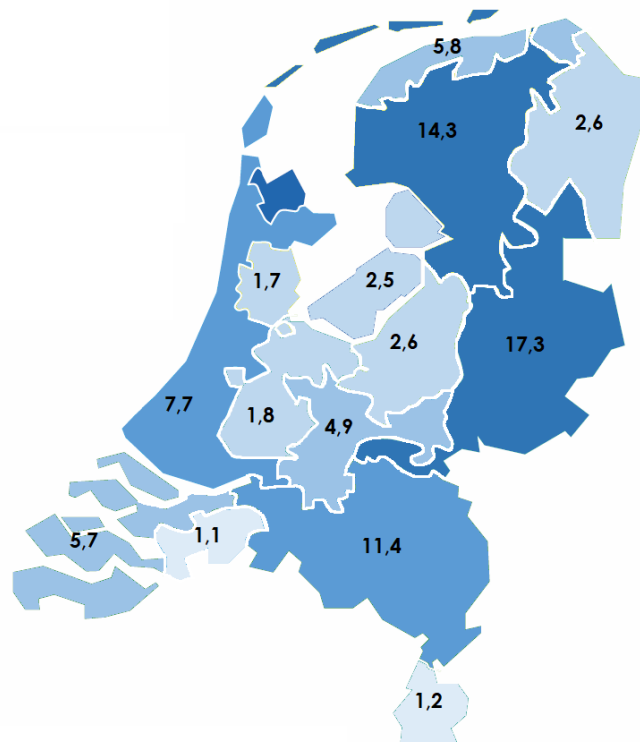
Binnen de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' is gekeken naar de jaarlijkse extra koolstofvastlegging wanneer blijvend grasland minder vaak gescheurd wordt. Specifiek is er gekeken naar de extra koolstofvastlegging bij het verlagen van de frequentie waarop het grasland vernieuwd wordt van eens in de zes jaar naar eens in de tien jaar op zandgrond, en van eens in de negen jaar naar eens in de vijftien jaar op kleigrond. Hiervoor is met het stikstof- en organische-stofmodel NDICEA doorgerekend hoeveel koolstof er jaarlijks gemiddeld wordt vastgelegd bij verschillende frequenties waarop blijvend grasland vernieuwd wordt (Van der Burgt et al., 2006; Figuur 3). Elk punt in Figuur 3 staat voor een grasland regime waarbij het grasland elke x jaren vernieuwd wordt. Met NDICEA is de koolstofvastlegging berekend voor meerdere vernieuwingsregimes. Hiermee is het verband tussen de verschillende regimes en de koolstofvastlegging in kaart gebracht. Na het scheuren laat NDICEA eerst een verlies aan bodemkoolstof zien waarna het aandeel koolstof in de bodem langzaam weer op peil komt en daarna een netto toename laat zien. Hierdoor is bij een regime van elke vier jaar vernieuwen de gemiddelde toename per jaar nog vrij laag. Door minder vaak te scheuren neemt de gemiddelde koolstofvastlegging per jaar toe. Aangezien de toevoer van organisch materiaal bij het ouder worden van de grasmatten over tijd afneemt, vakt de curve van koolstofvastlegging door minder vaak te scheuren op den duur af. Het verschil in koolstofvastlegging tussen zes en tien jaar op zand, en negen en vijftien jaar op klei is bepaald

als de extra koolstofvastlegging bij het toepassen van de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' (Tabel 6).



Figuur 3: Gemiddelde jaarlijkse koolstofvastlegging bij verschillende leeftijden waarop grasland gescheurd wordt.

Om de potentiële arealen te bepalen waarop de maatregel toegepast kan worden is voor elk van de 14 landbouwregio's een inschatting gemaakt van de leeftijdsverdeling van het blijvend grasland (Bijlage 2). Per regio is het aandeel van het blijvend grasland wat in de jongste leeftijdsgroep van blijvend grasland zit genomen als het areaal waarop de maatregel nog kan worden toegepast. De totale potentiële arealen op zand- en kleigrond zijn weergegeven in Tabel 6. De regionale potentie is het hoogst in het Noordelijk Weidegebied en het Oostelijk Veehouderijgebied (Figuur 4).



Figuur 4: Potentiële koolstofvastlegging van de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' in de veertien landbouwgebieden (kton CO₂/jaar).

Tabel 6: Jaarlijkse extra koolstofvastlegging en potentiële arealen bij het verhogen van de leeftijd grasland op zand- en kleigrond.

Grondsoort	Beschrijving maatregel	CO ₂ -vastlegging	Potentieel
		(kg CO ₂ / ha / jaar)	areaal (1000 ha)
Zand	Leeftijd grasland van 6 jaar naar 10 jaar	520	63
Klei	Leeftijd grasland van 9 jaar naar 15 jaar	690	69

4.2 Interactie tussen maatregelen

Bij het combineren van maatregelen zullen er verschuivingen optreden in de potentiële arealen waarop een maatregel kan worden toegepast. De maatregelen 'mais-grasklaver wisselteelt' en 'aandeel blijvend grasland verhogen' berusten allebei op het omzetten van hectares tijdelijk grasland en snijmais in blijvend grasland waardoor hun potentiële arealen gedeeltelijk overlappen. De maatregel 'mais-gras wisselteelt' wordt alleen in gebieden toegepast waar het areaal blijvend grasland onder de 60% ligt en heeft daardoor een lager potentieel areaal dan de breder toepasbare maatregel 'aandeel blijvend grasland verhogen' waarin bovendien rigoureuzer geschoven wordt met mais en tijdelijk grasland. Wanneer beide maatregelen samen in een maatregelenpakket worden doorgerekend, wordt het areaal van de maatregel 'mais-gras wisselteelt' daarom afgetrokken van het areaal 'aandeel grasland verhogen'. Het areaal van laatstgenoemde is dus afhankelijk van de mate waarin de maatregel 'mais-gras wisselteelt' wordt toegepast.

Wanneer het areaal blijvend grasland toeneemt door het toepassen van de maatregelen 'blijvend grasland verhogen' of 'wisselteelt mais-grasklaver' is er meer areaal beschikbaar om de leeftijd van de graszode te verhogen. Wanneer de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' wordt toegepast samen met 'blijvend grasland verhogen' en/of 'wisselteelt mais-grasklaver' dan wordt 25% van het potentiële areaal van deze maatregel(en) toegevoegd aan het potentiële areaal van de maatregel 'leeftijd grasland verhogen'. 25% is het gemiddelde aandeel van de huidige hectares blijvend grasland op zowel zand- als kleigrond die van de jongste leeftijdsgroep konden verouderen naar de middelste leeftijdsgroep (zie hoofdstuk 4.1.3.).

Een vergelijkbaar overlap vindt plaats bij het gelijktijdig implementeren van de maatregelen 'groenbemester/vanggewassen' en 'winterbedekking'. Hierbij worden hectares die ingezet worden voor de maatregel 'winterbedekking' afgetrokken van de potentiële hectares voor de maatregel 'groenbemester/vanggewassen'.

Als er meer graan verbouwd wordt in het bouwplan zorgt dit logischerwijze voor meer hectares waarop stroresten kunnen worden achtergelaten. De extra hectares graan gaan vaak ten koste van rooigewassen die te laat in het jaar geoogst worden om daarna nog een groenbemester te telen. Wanneer het aandeel graan in het bouwplan toeneemt vergroot dus direct de potentie voor het telen van een groenbemester. De potentie van de maatregelen 'gewasresten achterlaten', 'groenbemesters/vanggewassen' en 'winterbedekking' neemt daarom toe wanneer de maatregel 'aandeel graan verhogen' in het maatregelenpakket is meegenomen. De extra hectares waarop de maatregel 'aandeel graan verhogen' wordt toegepast worden opgeteld bij de potentiële hectares van 'gewasresten achterlaten' en 'groenbemester/vanggewassen'. Het potentiële areaal van de maatregel 'winterbedekking' neemt toe met een fractie 0,9 op zand en 0,5 op klei van de extra hectares graan.

5 Excel-tool voor doorrekenen maatregelenpakketten

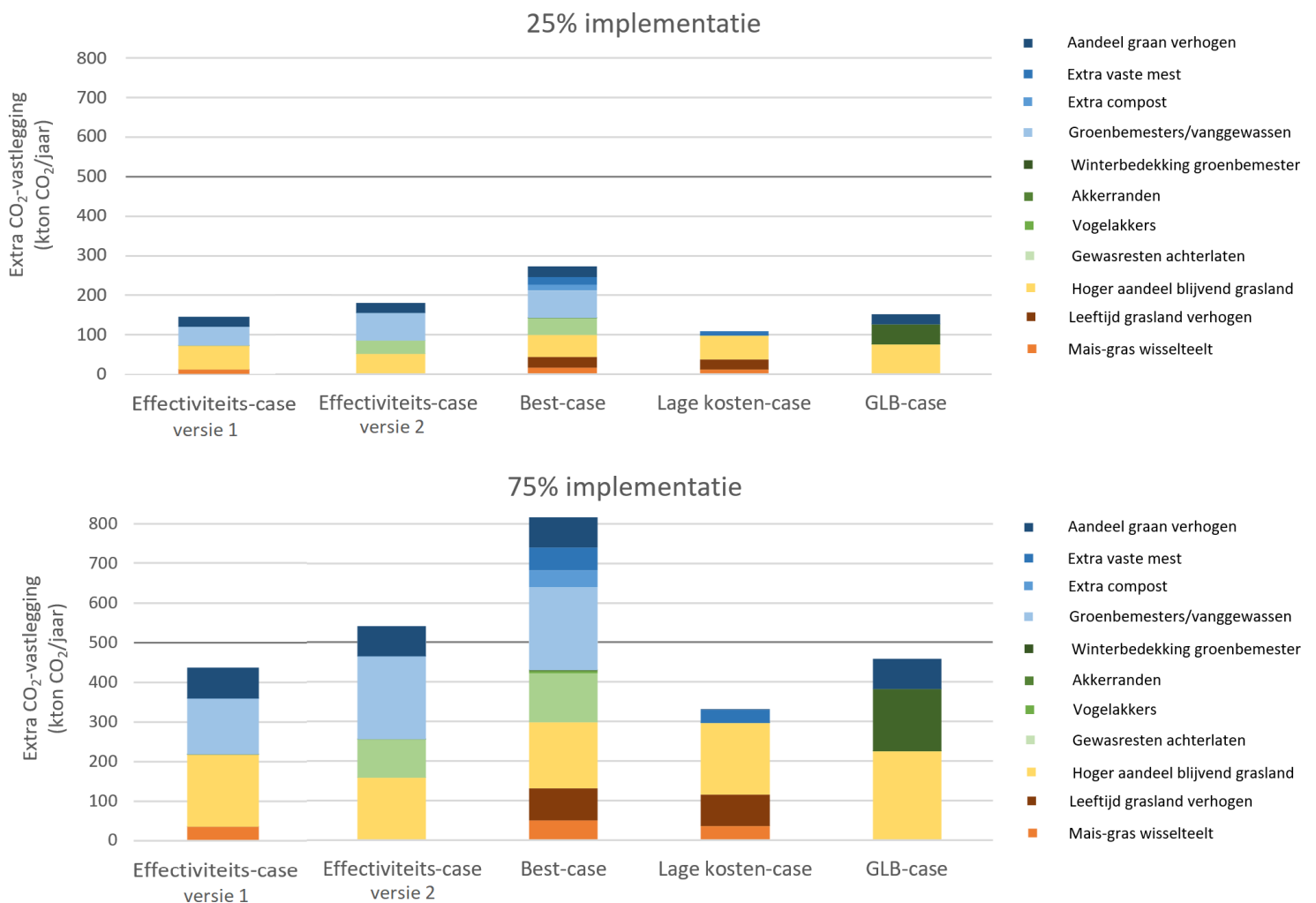
Om de totale jaarlijkse koolstofvastlegging voor de verschillende scenario's door te rekenen is een Excel tool ontwikkeld (Bijlage 3). Deze tool maakt het mogelijk om per scenario het maatregelenpakket samen te stellen en de implementatiegrenzen aan te passen.

De Excel tool gebruikt als achterliggende data de cijfers zoals weergegeven in Tabel 4. De tool is zo ingericht dat deze data in de toekomst eenvoudig vervangen kunnen worden door nieuwere versies van de CO₂-bodem tabel. Interactie-effecten worden in de tool meegenomen zoals beschreven staat in hoofdstuk 4.2.

Om de vier scenario's door te rekenen zijn in het eerste tabblad 'Input' voor de vier scenario's de maatregelen en implementatiegraden geselecteerd zoals vastgesteld in hoofdstuk 3. Wanneer de maatregelen 'meer blijvend grasland' en 'mais-gras wisselteelt' samen in een scenario zijn opgenomen moet in de tool een keuze gemaakt worden in welk percentage het areaal 'mais-gras wisselteelt' wordt meegenomen in de doorrekening. Afschalen komt hiermee ten goede van het areaal 'aandeel blijvend grasland verhogen'. Waar de maatregelen 'meer blijvend grasland' en 'mais-gras wisselteelt' samen in een scenario zijn opgenomen is voor deze studie de maatregel 'mais-gras wisselteelt' geïmplementeerd op 50% van zijn potentiële areaal. Indien de maatregelen 'groenbemesters/vanggewassen' en 'winterbedekking' samen in een scenario zijn opgenomen zijn de effecten van laatstgenoemde weggelaten in de doorrekening.

6 Doorrekening ontwikkelingsrichtingen

Er zijn grote verschillen in de totale verwachte koolstofvastlegging bij het toepassen van de verschillende scenario's (Figuur 5). Bij het toepassen van het maatregelenpakket uit de Best-case wordt verreweg de meeste koolstofvastlegging verwacht. De Lage kosten-case leidt tot de minste koolstofvastlegging waarbij nog niet eens de helft van het potentiaal van de Best-case wordt bereikt. Bij een hoge implementatiegraad van 75% wordt het doel om ten minste 0,5 Mton per jaar vast te leggen alleen gehaald in de Effectiviteits-case versie 2 en de Best-case.

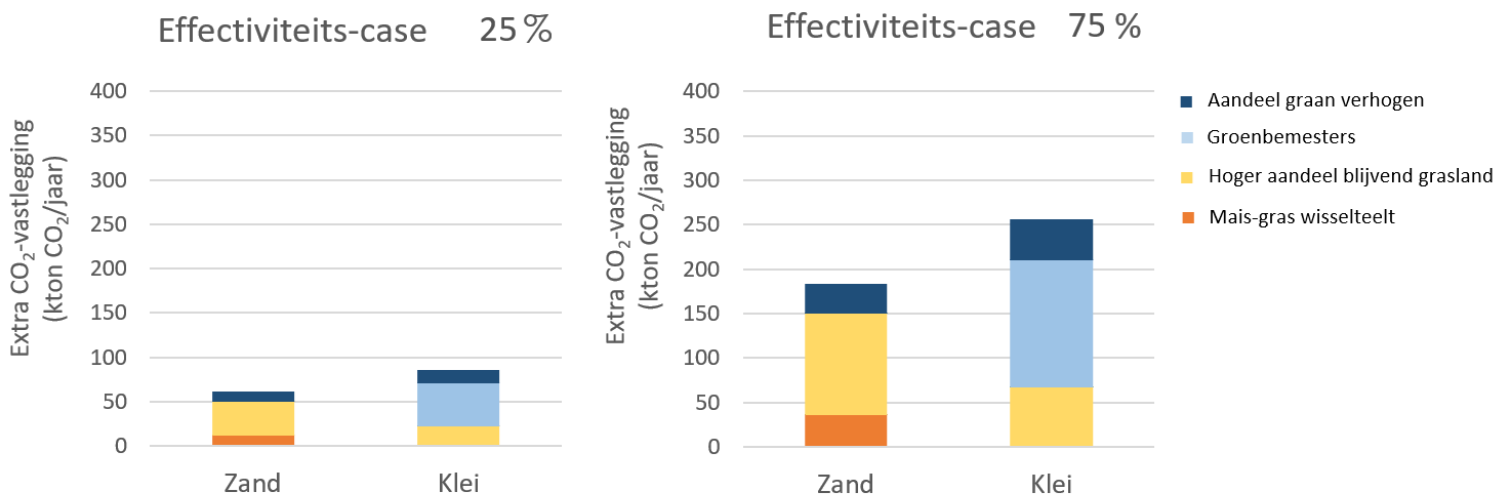


Figuur 5: De totale verwachte koolstofvastlegging van de verschillende scenario's bij een lage (25%) en een hoge (75%) implementatiegraad.

6.1 Effectiviteits-case

Bij het toepassen van de maatregelen die volgens de CO₂bodem tabel op landelijk niveau leiden tot de meeste koolstofvastlegging wordt bij een hoge implementatie van 75% een vastlegging van 436 kton CO₂/jaar bereikt (Figuur 6; Bijlage 4, Tabel 1). Bij een lage implementatiegraad van 25% wordt in totaal 145 kton CO₂ per jaar vastgelegd. Hiermee

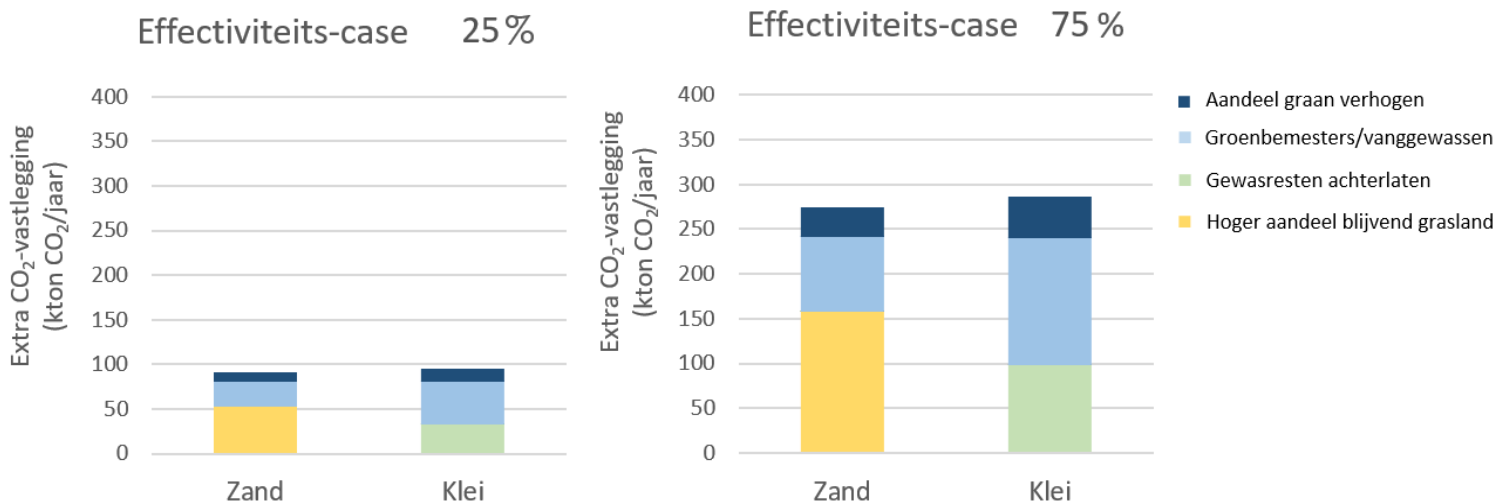
wordt het doel om ten minste 0,5 Mton per jaar vast te leggen niet gehaald. Om met deze set maatregelen het doel te behalen is een implementatie van ongeveer 85% nodig. De hoogste vastlegging wordt bereikt op de kleigronden. Hier draagt met name de maatregel 'groenbemesters/vanggewassen' sterk bij aan het vastleggen van koolstof (143



Figuur 6: De verwachte koolstofvastlegging bij het toepassen van de maatregelen uit de Effectiviteits-case bij een lage (25%) en hoge (75%) implementatie.

kton CO₂ per jaar). Op kleigrond ligt nog veel ruimte voor het toepassen van extra groenbemesters, zeker wanneer ook ingezet is op het verhogen van het aandeel graan in de bouwplannen, waardoor het potentiële areaal voor groenbemesters toeneemt. Op zandgrond ontbreekt een dergelijke positieve interactie van maatregelen en is de vastlegging een stuk lager. De maatregelen 'meer blijvend grasland' en 'mais-gras wisselteelt' zijn wegens overlap in arealen beiden gehalveerd in hun potentiële arealen. Bij de selectie van maatregelen voor dit scenario is gekeken naar de potentie van de individuele maatregelen en niet naar mogelijke interactie tussen de maatregelen onderling. Wanneer interacties tussen maatregelen in acht genomen worden wordt in het scenario op zand de maatregel 'mais-gras wisselteelt' vervangen door 'groenbemesters/vanggewassen' en op klei de maatregel 'blijvend grasland verhogen' door 'gewasresten achterlaten' (Figuur 7).

Bij deze nieuwe invulling van het scenario is de totale jaarlijkse vastlegging nu 541 kton CO₂ bij een hoge implementatie van 75% en 180 kton CO₂ bij een lage implementatie van 25% (Figuur 7; Bijlage 4, Tabel 2). Op zand is de vastlegging nu een stuk hoger door het hogere beschikbare areaal van de maatregel 'meer blijvend grasland'. De groenbemesters leveren door het extra areaal uit de maatregel 'aandeel graan verhogen' ook een forse bijdrage aan de totale vastlegging op zandgrond. Op klei zorgt het achterlaten van gewassen door het additionele areaal vanuit de maatregel 'aandeel graan verhogen' voor meer vastlegging ten opzichte van de oorspronkelijk doorgerekende maatregel 'meer blijvend grasland'.



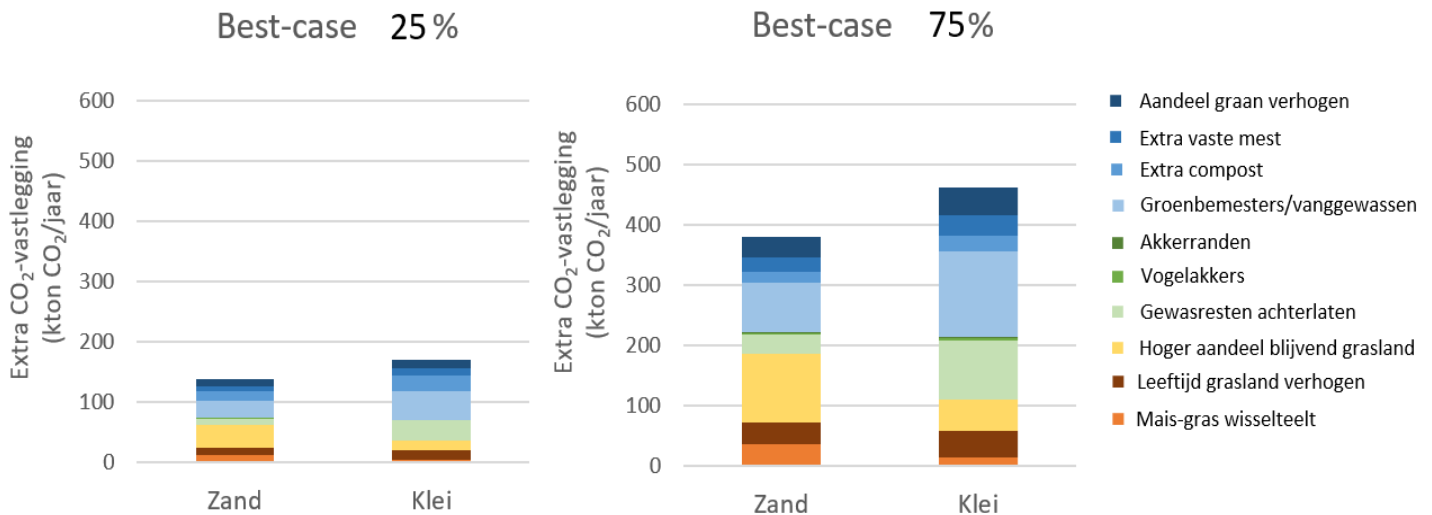
Figuur 7: De verwachte koolstofvastlegging bij het toepassen van de maatregelen uit de Effectiviteits-case versie 2 waarbij op zand de maatregel 'mais-gras wisselteelt' is vervangen door 'groenbemesters/vanggewassen' bij een lage (25%) en hoge (75%) implementatie.

6.2 Best-case

Wanneer ingezet wordt op het toepassen van alle maatregelen wordt er bij een hoge implementatie (75%) een totale jaarlijkse koolstofvastlegging van 817 kton CO₂ verwacht. Bij een lage implementatie (25%) is de verwachte koolstofvastlegging 272 kton CO₂ per jaar (Figuur 8; Bijlage 4, Tabel 3). Om aan het doel van een vastlegging van 0,5 Mton per jaar te voldoen is een implementatie van ten minste 45% nodig. Het moet in acht genomen worden dat de maatregelen kruidenrijk grasland en agroforestry bij gebrek aan onderbouwing niet meegenomen zijn in deze doorrekening. De totale koolstofvastlegging bij het toepassen van alle maatregelen inclusief kruidenrijk grasland en agroforestry is dus waarschijnlijk hoger dan deze doorrekening laat zien.

Door de effecten van alle maatregelen naast elkaar te zetten is goed te zien welke maatregelen het effectiefst zijn en welke maar een marginaal effect hebben op de koolstofvastlegging. Maatregelen zoals de akkerranden en vogelakkers leggen per hectare aardig wat koolstof vast maar kunnen maar zeer beperkt toegepast worden. Hierdoor is de impact van deze maatregelen op landelijk niveau nihil. Voor het toedienen van extra vaste mest en compost is er juist veel areaal beschikbaar maar begrenst de beperkte beschikbaarheid van deze meststoffen een hogere vastlegging van koolstof.

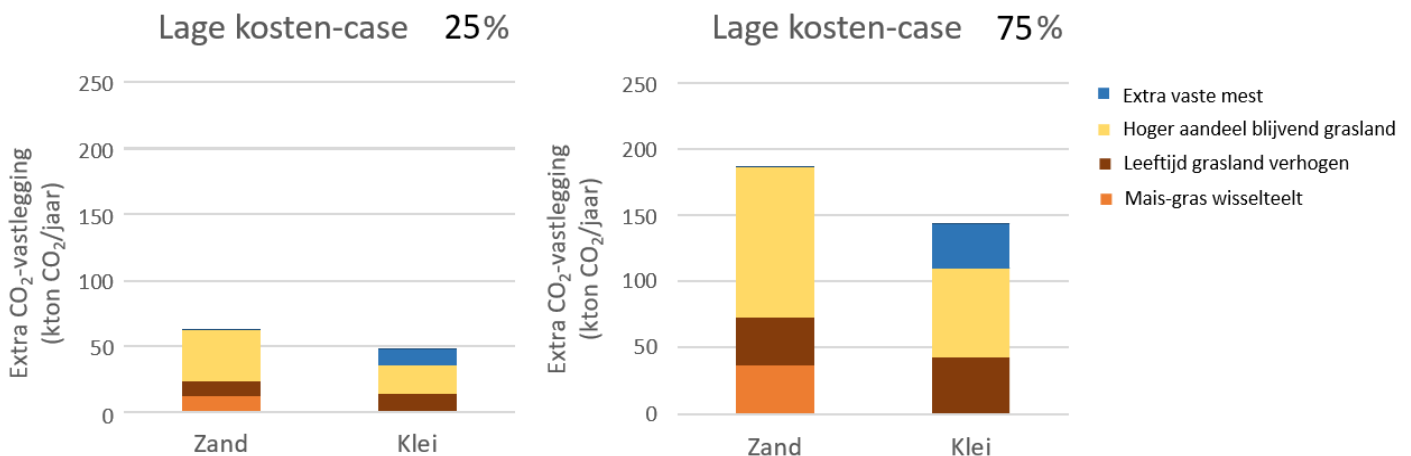
Als alle maatregelen worden gestimuleerd zijn op zand het verhogen van het aandeel blijvend grasland en het telen van extra groenbemesters de belangrijkste maatregelen om koolstof vast te leggen. Op klei zijn dit het telen van extra groenbemesters en het achterlaten van gewasresten.



Figuur 8: De verwachte koolstofvastlegging bij het toepassen van de maatregelen uit de Best-case bij een lage (25%) en hoge (75%) implementatie.

6.3 Lage kosten-case

Als alleen de drie goedkoopste maatregelen op zand- en kleigronden worden toegepast is de totale vastlegging die bereikt wordt 329 kton CO₂ per jaar bij een implementatie van 75% en 110 kton CO₂ per jaar bij een implementatie van 25% (Figuur 9; Bijlage 4, Tabel 4). Zelfs bij een implementatie van 100% kan met deze selectie van maatregelen het doel van 0,5 Mton CO₂ vastlegging per jaar niet gehaald worden. Het maximaal haalbare met deze maatregelen is een totale jaarlijkse vastlegging van 439 kton CO₂.



Figuur 9: De verwachte koolstofvastlegging bij het toepassen van de maatregelen uit de Lage Kosten-case bij een lage (25%) en hoge (75%) implementatie.

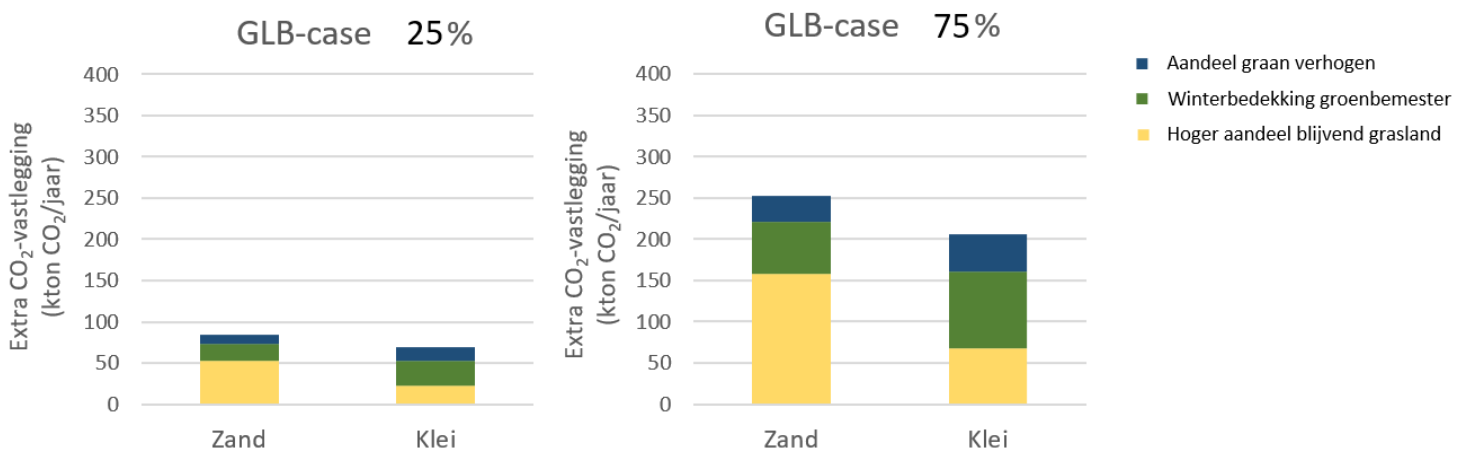
Op zowel zand- als kleigrond levert het verhogen van het aandeel blijvend grasland de meeste koolstofvastlegging. Opvallend is dat de maatregelen met de laagste kosten behalve 'extra vaste mest' allen maatregelen zijn die van toepassing zijn op melkveehouderijen.

6.4 GLB-case

De maatregelen uit de GLB-case leggen samen 458 kton CO₂ vast per jaar bij een implementatie van 75% en 153 kton CO₂ per jaar bij een implementatie van 25% (Figuur 10; Bijlage 4, Tabel 5).

Uit de doorrekening blijkt dat de GLB-maatregelen vooral op zandgrond leiden tot het vastleggen van koolstof. Dit komt doordat op zand nog veel potentie is om te schuiven van tijdelijk grasland naar blijvend grasland en doordat op klei niet alle groenbemesters kunnen overwinteren.

Om met deze case te komen tot een jaarlijkse vastlegging van 0,5 Mton CO₂ is een implementatie van ten minste 86% nodig. Onder de eco-regelingen van het nieuwe GLB vallen ook de klimaatmaatregelen 'kruidenrijk grasland' en 'agroforestry', welke binnen deze studie nog niet zijn doorgerekend. Deze maatregelen kunnen potentieel extra koolstof vastleggen. De koolstofvastlegging die gerealiseerd wordt met de maatregelen in het GLB is daarom waarschijnlijk hoger dan deze doorrekening laat zien.



Figuur 10: De verwachte koolstofvastlegging bij het toepassen van de maatregelen uit de GLB-case bij een lage (25%) en hoge (75%) implementatie.

7 Conclusies en aanbevelingen

De 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 cases 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. De maatregelen groenbemesters en vanggewassen, hoger aandeel blijvend grasland, en gewasresten achterlaten zijn daarbij de maatregelen die hieraan het meeste bijdragen. Verder laten de resultaten zien dat:

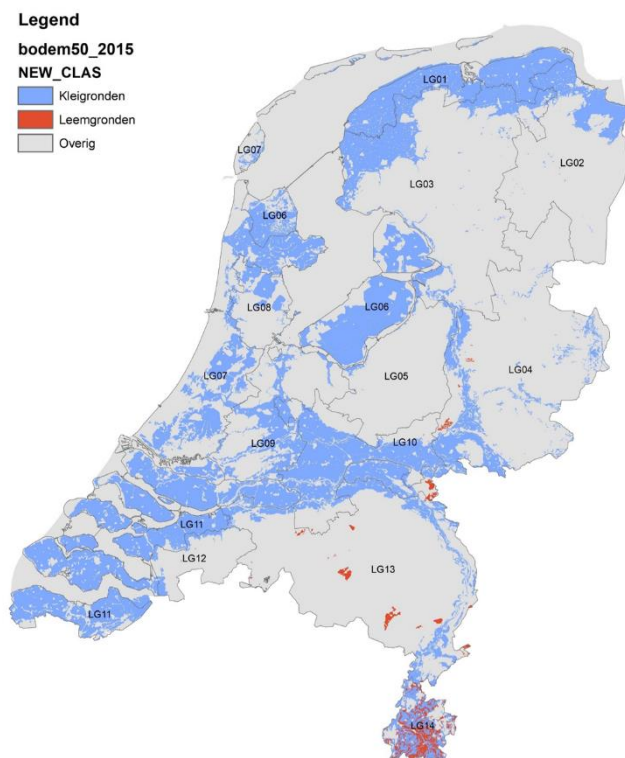
- Indien er gekozen wordt voor een focus op een beperkte set maatregelen die erg effectief zijn, het doel ook haalbaar is. Maar dit kan alleen als de gekozen maatregelen dan wel op grote schaal worden toegepast.
- Het implementeren van een beperkte set maatregelen met lage toepassingskosten zorgt voor onvoldoende koolstofvastlegging om het klimaatdoel te halen. De lage kosten case, met de drie goedkoopste maatregelen per bodemsoort zijn daarbij allen veehouderijmaatregelen.
- De eco-regelingen in het nieuwe GLB leggen bij een hoge implementatie nog niet genoeg koolstof vast om het doel te halen. Onder de eco-regelingen vallen echter een aantal maatregelen welke niet zijn meegenomen in deze studie maar wel degelijk potentie hebben om bij te dragen aan het vastleggen van koolstof. Hiermee wordt het doel bij een hoge implementatie vermoedelijk toch gehaald.

Bepaalde maatregelen kunnen binnen agrarische bedrijven makkelijker worden geïmplementeerd dan andere maatregelen. Om tot realistischere inschattingen te komen voor de haalbare CO₂-vastlegging met deze set klimaatmaatregelen zou in vervolgonderzoek naar de realistische implementatiegraad van losse maatregelen gekeken kunnen worden in plaats één implementatiepercentage te implementeren voor het hele maatregelenpakket. Door de implementatiegraad van maatregelen individueel in te stellen kunnen inschattingen van de CO₂-vastlegging gemaakt worden die beter aansluiten bij wat in de praktijk haalbaar is. Daarnaast zou er ook regio-specifiek gekeken kunnen worden naar de mogelijkheden voor koolstofvastlegging door de keuze voor maatregelen en implementatiegraden af te stemmen op waar binnen een regio potentie ligt.

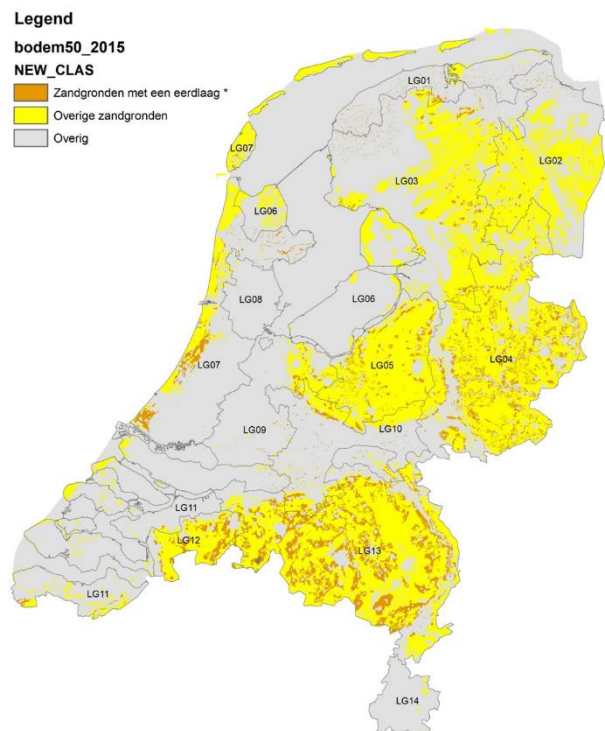
Literatuur

- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw. Wageningen Environmental Research, Rapport 3130 ISSN 1566-7197, 87 p.
- Selin Noren, I., van Geel, W., de Haan, J. (2021). Cover crop reference values: effective organic matter and nitrogen uptake, Wageningen Research, Report WPR 877, 30 p.
- Slier, T., Lesschen, J. P., Stout, B., Porre, R., Agricola, H., de Haan, J. & Koopmans, C. (2021). CO2bodem – Tussenresultaten Slim Landgebruik.
- Van der Burgt, G.J.H.M., Oomen, G.J.M., Habets, A.S.J. et al. (2006). The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutrient Cycling in groecosystems* 74: 275.
- Van Hal, O., Wagenaar, J. P. (2021). Bodem en Klimaat netwerk Veehouderij. Tussenrapportage 2020. Louis Bolk Instituut. 53 p.

Bijlage 1: Zand- en kleigronden



Figuur 1: De klei- en leemgronden van Nederland uitgetekend over de indeling in veertien landbouwgebieden.



Figuur 2: De zandgronden van Nederland uitgetekend over de indeling in veertien landbouwgebieden.

Bijlage 2: Leeftijdsverdeling blijvend grasland

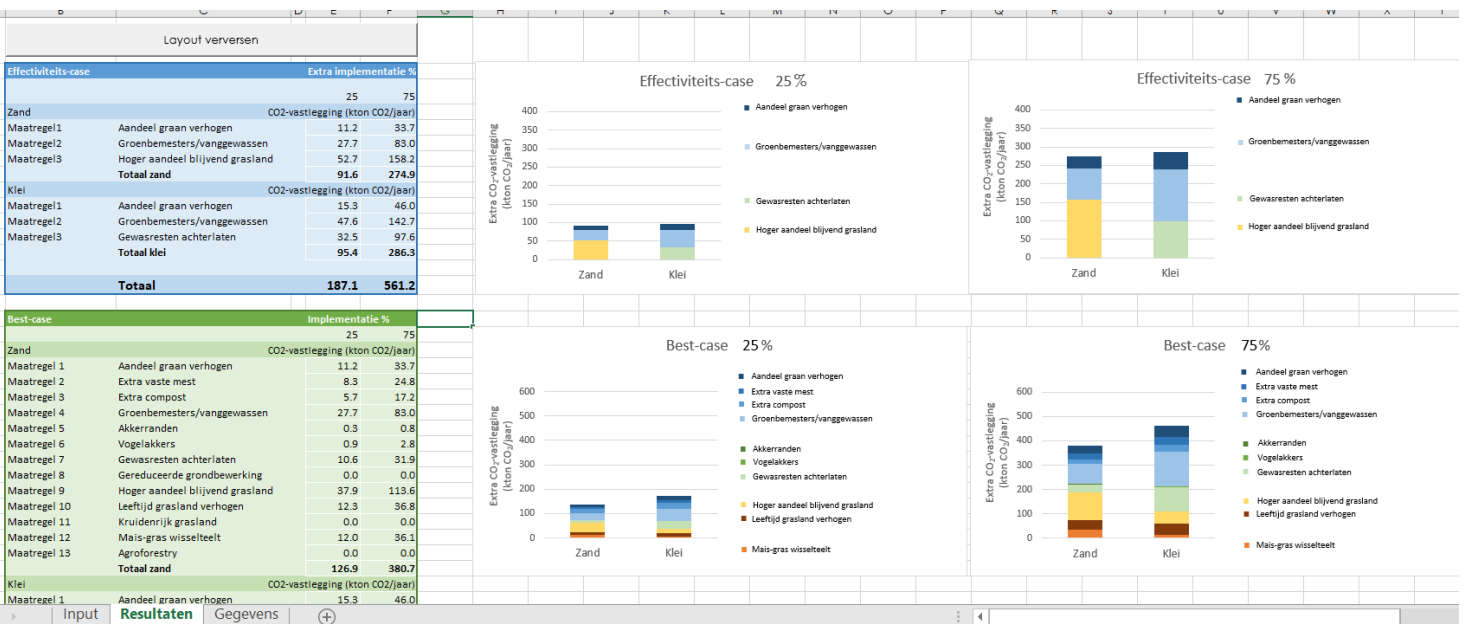
Tabel 1: Inschatting van de leeftijdsverdeling van de arealen blijvend grasland in de 14 landbouwregio's.

Regio	ZAND			KLEI				
	Areaal blijvend grasland 1000 ha	Areaal grasland per leeftijdscategorie 1000 ha			Areaal blijvend grasland 1000 ha	Areaal grasland per leeftijdscategorie 1000 ha		
		5-7	8-12	>12		7-11	12-18	>18
Bouwhoek & Hogeland	2,2	0,4	0,7	1,1	32,2	8,1	8,1	16,1
Veenkoloniën & Oldambt	12,2	3,1	3,1	6,1	9,2	1,4	2,3	5,5
Noordelijke Weidegebied	70,6	10,6	17,6	42,4	63,6	12,7	19,1	31,8
Oostelijk Veehouderijgebied	98,8	24,7	24,7	49,4	32,5	6,5	8,1	17,9
Centraal Veehouderijgebied	25,8	3,9	6,4	15,4	3,8	0,8	1,1	1,9
IJsselmeerpolders	1,0	0,5	0,3	0,2	3,8	3,3	0,4	0,2
Westelijk Holland	5,0	1,2	1,2	2,5	20,4	10,2	6,1	4,1
Waterland en Droogmakerijen	0,1	0,02	0,0	0,1	6,3	2,5	1,9	1,9
Hollands/Utrechts Weidegebied	3,1	0,5	0,8	1,9	22,0	2,2	6,6	13,2
Rieverengebied	3,4	0,9	0,9	1,8	32,2	6,4	6,4	19,3
Zuidwestelijk Akkerbouwgebied	1,4	0,4	0,4	0,7	15,8	7,9	4,7	3,2
Zuidwest-Brabant	5,0	1,5	1,5	2,0	0,7	0,5	0,1	0,1
Zuidelijk Veehouderijgebied	31,2	15,6	9,4	6,2	9,4	4,7	1,9	2,8
Zuid-Limburg	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	1,7	1,7	3,3
Totaal	260	63	67	130	258	69	68	121
	Leeftijd gem.	6	10	14	Leeftijd gem.	9	15	21

Bijlage 3: Excel tool

Case	Maatregel	Zand	Klei	Implementatie %	Implementatie bij overlap maatregelen		
Effectiviteit-case Selecteer rechts de drie maatregelen die de hoogste capaciteit hebben wat betreft koolstofvastlegging.	Maatregel 1	Aandeel graan verhogen	Aandeel graan verhogen	Laag	% van potentieel areaal	Zand	Klei
	Maatregel 2	Groenbemesters/vanggewassen	Groenbemesters/vanggewassen	25	Mais-gras wisselteelt	50	50
	Maatregel 3	Hoger aandeel blijvend grasland	Gewasresten achterlaten	75	Hoger aandeel blijvend grasland	72	77
				Overlap maatregelen?	Nee		
Best-case Selecteer rechts alle mogelijke maatregelen voor het Best-case scenario.	Maatregel 1	Aandeel graan verhogen	Aandeel graan verhogen	Laag			
	Maatregel 2	Extra vaste mest	Extra vaste mest	25			
	Maatregel 3	Extra compost	Extra compost	75			
	Maatregel 4	Groenbemesters/vanggewassen	Groenbemesters/vanggewassen				
	Maatregel 5	Akkerranden	Akkerranden				
	Maatregel 6	Vogelakkers	Vogelakkers		Overlap maatregelen?	Ja	
	Maatregel 7	Gewasresten achterlaten	Gewasresten achterlaten				
	Maatregel 8	Gereduceerde grondbewerking	Gereduceerde grondbewerking				
	Maatregel 9	Hoger aandeel blijvend grasland	Hoger aandeel blijvend grasland				
	Maatregel 10	Leeftijd grasland verhogen	Leeftijd grasland verhogen				
	Maatregel 11	Kruidenrijk grasland	Kruidenrijk grasland				
	Maatregel 12	Mais-gras wisselteelt	Mais-gras wisselteelt				
	Maatregel 13	Agroforestry	Agroforestry				
Lage kosten-case Selecteer rechts de drie maatregelen met de laagste kosten (€/ha).	Maatregel 1	Mais-gras wisselteelt	Hoger aandeel blijvend grasland	Laag			
	Maatregel 2	Hoger aandeel blijvend grasland	Leeftijd grasland verhogen	25			
	Maatregel 3	Leeftijd grasland verhogen	Extra vaste mest	75	Overlap maatregelen?	Ja	
GLB-case Selecteer rechts de vier maatregelen die via het GLB gestimuleerd zullen worden.	Maatregel 1	Aandeel graan verhogen	Aandeel graan verhogen	Laag			
	Maatregel 2	Hoger aandeel blijvend grasland	Hoger aandeel blijvend grasland	25			
	Maatregel 3	Winterbedekking groenbemester	Winterbedekking groenbemester	75			
	Maatregel 4	-Kies maatregel-	-Kies maatregel-		Overlap maatregelen?	Nee	

Figuur 1: Het inputscherm van de Excel tool. Hierin wordt gekozen welke graan cases worden doorgerekend, welke maatregelen worden meegenomen in elke case en met welke implementatiepercentages gerekend wordt. Een keuze moet gemaakt worden over in hoeverre de maatregel mais-gras wisselteelt wordt doorgerekend wanneer deze samen met meer blijvend grasland in de case zit.



Figuur 2: In het resultatenscherm staan voor elke case de vastlegging van de individuele maatregelen en de cumulatieve vastlegging weergegeven in een tabel. De resultaten worden gevisualiseerd in staafdiagrammen..

GEGEVENS			
KLEI			
Maatregel	CO ₂ -vastlegging (kg CO ₂ /ha/jaar)	Potentieel areaal (1000 ha)	Huidige implementatie (2017) %
Aandeel graan verhogen	1990	30.8	69
Extra vaste mest	60	742.4	94
Extra compost	90	381.1	72
Groenbemesters/vanggewassen	1860	71.5	64
Winterbedekking groenbemester	1860	35.8	10
Akkerranden	780	3.2	6
Vogelakkers	1430	3.2	6
Gewasresten achterlaten	1650	48.1	56
Gereduceerde grondbewerking	0	505	23
Hoger aandeel blijvend grasland	1850	48.6	79
Leeftijd grasland verhogen	690	69.0	73
Kruidenrijk grasland	0	607	87
Mais-gras wisselteelt	1680	22.2	87
Agroforestry	0	25	0
ZAND			
Maatregel	CO ₂ -vastlegging (kg CO ₂ /ha/jaar)	Potentieel areaal (1000 ha)	Huidige implementatie (2017) %
Aandeel graan verhogen	1900.0	21.4	69
Extra vaste mest	50.0	661.4	94
Extra compost	80.0	286.8	72
Groenbemesters/vanggewassen	2300.0	17.1	64
Winterbedekking groenbemester	2300.0	15.4	30
Akkerranden	520.0	2.0	6
Vogelakkers	1860.0	2.0	6
Gewasresten achterlaten	770.0	24.3	56
Gereduceerde grondbewerking	0.0	505	23
Hoger aandeel blijvend grasland	2620.0	80.5	79
Leeftijd grasland verhogen	520.0	63.0	75
Kruidenrijk grasland	0.0	607	87
Mais-gras wisselteelt	2120.0	45.4	87
Agroforestry	0	25	0

Figuur 3: In de sheet met gegevens kan de achterliggende data gemakkelijk vervangen worden door nieuwe versies van de CO₂bodem tabel.

Bijlage 4: Absolute koolstofvastlegging

Tabel 1: Jaarlijkse koolstofvastlegging per maatregel en als totaal voor de Effectiviteitscase versie 1, opgesplitst voor zand- en kleigrond.

Effectiviteitscase versie 1	25%	75%
CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)		
Aandeel graan verhogen	10,2	30,5
Mais-gras wisselteelt	12,0	36,1
Meer blijvend grasland	37,9	113,6
Totaal zand	60,1	180,2
CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)		
Aandeel graan verhogen	15,3	46,0
Groenbemesters/vanggewassen	47,6	142,7
Meer blijvend grasland	22,5	67,4
Totaal klei	85,4	256,1
TOTAAL	145,4	436,3

Tabel 2: Jaarlijkse koolstofvastlegging per maatregel en als totaal voor de Effectiviteitscase versie 2, opgesplitst voor zand- en kleigrond.

Effectiviteitscase versie 2	25%	75%
CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)		
Aandeel graan verhogen	10,2	30,5
Groenbemesters/vanggewassen	22,1	66,4
Meer blijvend grasland	52,7	158,2
Totaal zand	85,0	255,1
CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)		
Aandeel graan verhogen	15,3	46,0
Groenbemesters/vanggewassen	47,6	142,7
Gewasresten achterlaten	32,5	97,6
Totaal klei	95,4	286,3
TOTAAL	180,5	541,4

Tabel 3: Jaarlijkse koolstofvastlegging per maatregel en als totaal voor de Best-case, opgesplitst voor zand- en kleigrond.

Best-case	25%	75%
CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)		
Aandeel graan verhogen	10,2	30,5
Extra vaste mest	8,3	24,8
Extra compost	5,7	17,2
Groenbemesters/vanggewassen	22,1	66,4
Akkerranden	0,3	0,8
Vogelakkers	0,9	2,8
Gewasresten achterlaten	8,8	26,4
Gereduceerde grondbewerking	0,0	0,0
Meer blijvend grasland	37,9	113,6
Leeftijd grasland verhogen	12,3	36,8
Mais-gras wisselteelt	12,0	36,1
Totaal zand	118,5	355,4
CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)		
Aandeel graan verhogen	15,3	46,0
Extra vaste mest	11,1	33,4
Extra compost	8,6	25,7
Groenbemesters/vanggewassen	47,6	142,7
Akkerranden	0,6	1,9
Vogelakkers	1,1	3,4
Gewasresten achterlaten	32,5	97,6
Gereduceerde grondbewerking	0,0	0,0
Meer blijvend grasland	17,3	52,0
Leeftijd grasland verhogen	15,0	44,9
Mais-gras wisselteelt	4,7	14,0
Totaal klei	153,9	461,6
TOTAAL	272,3	817,0

Tabel 4: Jaarlijkse koolstofvastlegging per maatregel en als totaal voor de Lage kosten-case, opgesplitst voor zand- en kleigrond.

Lage kosten-case	25%	75%
	CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)	
Mais-gras wisselteelt	12,0	36,1
Meer blijvend grasland	37,9	113,6
Leeftijd grasland verhogen	12,3	36,8
Totaal zand	62,2	186,5
	CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)	
Meer blijvend grasland	22,5	67,4
Leeftijd grasland verhogen	14,0	42,0
Extra vaste mest	11,1	33,4
Totaal klei	47,6	142,8
TOTAAL	109,8	329,4

Tabel 5: Jaarlijkse koolstofvastlegging per maatregel en als totaal voor de GLB-case, opgesplitst voor zand- en kleigrond.

GLB-case	25%	75%
	CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)	
Aandeel graan verhogen	10,2	30,5
Meer blijvend grasland	52,7	158,2
Winterbedekking groenbemester	21,2	63,5
Totaal zand	84,0	252,1
	CO2-vastlegging (kton CO ₂ /jaar)	
Aandeel graan verhogen	15,3	46,0
Meer blijvend grasland	22,5	67,4
Winterbedekking groenbemester	30,9	92,8
Totaal klei	68,7	206,2
TOTAAL	152,8	458,4