

No-regret maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale landbouwbodems

Een verkennende studie

Jennie van der Kolk¹, Herman Agricola¹, Emily te Pas², Thalisa Slier¹, Bert Smit³, Sjef Staps⁴

Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd door [partners] met subsidie van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend Programma Slim Landgebruik (BO-53-002).

Augustus, 2021

Contact: Slimlandgebruik@wur.nl

Auteurs: Jennie van der Kolk¹, Herman Agricola¹, Emily te Pas², Thalisa Slier¹, Bert Smit³, Sjef Staps⁴

No Regret maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale landbouwbodems - Een verkennende studie

Wageningen Environmental Research

Wageningen, april 2021

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Universiteit

3 Wageningen Economic Research

4 Louis Bolk Instituut

Inhoudsopgave

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Definitie no-regret	9
1.3 Overzicht maatregelen	9
2 Methode	11
2.1 Bepaling en beoordeling van de indicatoren	11
2.1.1 Effectiviteit	11
2.1.2 Toepasbaarheid in de bedrijfsvoering	12
2.1.3 Mee-koppel effecten	14
3 Maatregelen	16
3.1 Maatregelen Akkerbouw	16
3.1.1 Verbeteren gewasrotatie	16
3.1.2 Gewasresten achterlaten	19
3.1.3 Toedienen organische meststoffen	22
3.1.4 Groenbemesters/vanggewassen	25
3.1.5 Akkerranden	28
3.1.6 Vogelakkers	30
3.1.7 Agroforestry	32
3.1.8 Niet-kerende grondbewerking	35
3.2 Maatregelen Veehouderij	38
3.2.1 Behoud grasland; het voorkomen van scheuren van grasland	38
3.2.2 Toedienen organische meststoffen	41
3.2.3 Kruidenrijk grasland	44
3.2.4 Mais-gras wisselteelt	46
3.2.5 Niet kerende grondbewerking in mais	49
3.2.6 Silvopastoraal	51
4 Beoordeling	55
4.1 Effectiviteit	55
4.2 Toepasbaarheid	56
4.3 Mee-koppel effecten	57
5 Conclusie en discussie	58
6 Literatuurlijst	61
Bijlage 1	64

Woord vooraf

Dit project is gestart naar aanleiding van de vraag van beleidsmedewerkers van het ministerie van LNV of we voordat de klimaatdoelen in 2030 van kracht worden niet alvast maatregelen kunnen aanbevelen waarmee boeren koolstof in de bodem vastleggen die ‘zonder er spijt van te krijgen’. In dit project hebben we zoveel mogelijk maatregelen bekeken op aspecten waarop we ‘spijt zouden kunnen krijgen’. Dit hebben we niet alleen gedaan, maar een groot aantal experts hebben deze beoordeling op verschillende aspecten voor ons uitgevoerd. Hierbij willen wij alle experts bedanken die een bijdrage hebben geleverd: Janjo de Haan (WPR), Jan Peter Lesschen (WEnR), Derk van Balen (WPR), Jan Willem van Groeningen (Wageningen University), Wim Dijkman (CLM), Jan Verhagen (WPR), Jan-Paul Wagenaar (Louis Bolk Instituut), Chris Koopmans (Louis Bolk Instituut), Bas Janssens (WEcR), Gerben Doornewaard (WEcR), Gerard Velthof (WEnR) en Bart de Knecht (WEnR).

Namens het projectteam,
Jennie van der Kolk

Samenvatting

Binnen het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik worden maatregelen onderzocht die gezamenlijk ervoor moeten zorgen dat het klimaatdoel om jaarlijks 0,5 Mton extra CO₂ vast te leggen in de bodem vanaf 2030 kan worden gerealiseerd. Vanuit het ministerie van LNV is de vraag gekomen of er niet al vanaf 2021 maatregelen kunnen worden genomen, waarvan helder is dat zij met een hoge mate van zekerheid gaan bijdragen aan dit doel. Om die reden is een project gestart met als doel om individuele maatregelen of een set van maatregelen te identificeren die op relatief korte termijn en onder GLB door de praktijk kunnen worden toegepast voor het vastleggen van koolstof aan de bodem, die met een grote mate van zekerheid effectief zijn. Samen met beleidsmedewerkers van het ministerie van LNV hebben we de definitie van no-regret bepaald: 'No regret maatregelen zijn bewezen effectieve maatregelen waarbij koolstof additioneel wordt vastgelegd of koolstof wordt vastgehouden in de minerale landbouwbodems, welke breed toepasbaar, met beperkte kosten en waarbij er geen of aanvaardbare negatieve afwentelingseffecten zijn'.

We hebben een brede lijst met maatregelen die koolstof kunnen vastleggen kwalitatief beoordeeld op diverse indicatoren die gezamenlijk de definitie van no-regret omvatten. Hieraan hebben diverse experts vanuit het onderzoek en beleid een bijdrage geleverd. Op basis van deze kwalitatieve analyse kan worden vastgesteld dat er geen enkele maatregel is die voldoet aan de definitie. Deze analyse kan zeker wel worden gebruikt als afwegingskader bij het wegen van maatregelen. Wanneer als eerste selectie criterium Effectiviteit wordt gekozen dan komen de maatregelen verbeteren van gewasrotatie door meer granen te telen, toedienen van organische mest (vooral in de akkerbouw) en behoud van grasland naar voren. Echter, deze maatregelen scoren op één of meerdere van de andere indicatoren (te) laag. Al deze maatregelen scoren negatief op de acceptatie door de boeren, waardoor dit een punt van aandacht is voordat deze maatregel wordt aanbevolen aan boeren. Daarbij is het zo dat het toedienen van organische mest ook niet per definitie positief uitpakt voor het behalen van de klimaatdoelstelling aangezien de emissie van lachgas hoog wordt ingeschat. Om een betere inschatting te maken van no-regret maatregelen is het belangrijk de onzekerheid rond alle indicatoren te verkleinen.

Maatregel	Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Zekerheid v.d .effectiviteit	Areal toepasbaarheid	Inpassing huidig bouwplan	Gewassaldo (euro/ha)		Monitorbaarheid	Acceptatie N L'se boeren	N ₂ O emissie	Bodemvruchtbaarheid
					Korte termijn	Lange termijn				
Akkerbouw										
1. Verbeteren gewasrotatie (meer granen)	+++	+	++	+	--	+	+	-	+	++
2a. Gewasresten achterlaten - laag C/N	++	0	+	++	0/+	0/+	+/-	+/-	-	+
2b. Gewasresten achterlaten - hoog C/N				++	0/+	+	+/-	+/-	+	+
3a. Organische mest - drijfmest	++	++	+	+	+	0/+	0/+	+	-	+
3b. Organische mest - vaste mest/ compost				-	-	+	+	-	+	++
4a. Vanggewassen, groen bemesters - laag C/N	+	+	+++	+	+/-	0/+	0/+	+	-	++
4b. Vanggewassen, groen bemesters - hoog C/N				+	-	+	+	+	+	++
5. Akkerranden	0	-	0	-	-	-	+	+	0/+	0/+
6. Vogelakkers	+	-	+	-	--	+/-	+	-	0/+	-/+
7. Agroforestry	+++	0	+	--	--	+/-	+	--	+	+
8a. NKG - slemgevoelige grond	0	+	+++	+/-	+0	+0	-	-	-	-
8a. NKG - niet slemgevoelige grond				+/-	+0	+0	-	+/-	+	+
Veehouderij										
1a. Behoud grasland, weinig productief >10 jaar?	+++	++	++	0	0	0	-	-	-	+
1b. Behoud grasland, productief < 10 jaar				0	0	0	-	+/-	+	+□
2a. Organische mest - drijfmest	++	+	+	0	+	+	+	++	-	+□
2b. Organische mest - vaste mest/ compost				0	0	0	+	+0	+	++
3. Kruidenrijk grasland	0	-	++	0	0	-	-	+/-	0/+	0/+
4. Mais-gras wisselteelt	+	+	+++	+	0	+	++	+/-	-/+	+
5a. NKG in Mais - slemgevoelige grond	0	0	++	0	-	0	-	-	-	-
5b. NKG in Mais - niet slemgevoelige grond				0	-	0	-	-	+	+
6. Silvopastoraal	+	0	+	-	-	-	++	--	+	+

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik worden maatregelen onderzocht die gezamenlijk ervoor zouden moeten zorgen dat het klimaatdoel om jaarlijks 0,5 Mton extra CO₂ vast te leggen in de bodem vanaf 2030 kan worden gerealiseerd. Vanuit het ministerie van LNV is de vraag gekomen of er niet al vanaf 2021 maatregelen kunnen worden genomen, waarvan helder is dat zij met een hoge mate van zekerheid gaan bijdragen aan dit doel. Om die reden is een project gestart met als doel om individuele maatregelen of een set van maatregelen te identificeren die op relatief korte termijn en onder GLB door de praktijk kunnen worden toegepast voor het vastleggen van koolstof aan de bodem, die met een grote mate van zekerheid effectief zijn.

In dit rapport wordt verslag gedaan naar welke maatregelen het label 'no-regret' kunnen krijgen. Nadat is bepaald wat we verstaan onder 'no-regret' is een overzicht gemaakt welke maatregelen in aanmerking zouden kunnen komen voor 'no-regret' maatregelen. Deze maatregelen zijn uitgesplitst naar akkerbouwbedrijven en veehouderijbedrijven. Vervolgens zijn er indicatoren gezocht waarmee de maatregelen kunnen worden beoordeeld om te zien of ze voldoen aan de definitie van 'no-regret'. Deze indicatoren zijn gescoord op basis van kennis in de literatuur en expert judgements. Op basis van deze score krijgen beleidsmakers inzicht in hoe effectief een maatregel is om koolstof in de bodem vast te leggen, maar tevens goed inpasbaar is in de agrarische praktijk en zo min mogelijk neven-effecten kent.

1.2 Definitie no-regret

Op 13 juli 2020 is een workshop gehouden met medewerkers van het ministerie van LNV en onderzoekers vanuit het partnership Slim Landgebruik. In deze workshop stond centraal wat we gezamenlijk verstaan onder een no regret maatregel en hoe we deze kunnen beoordelen. Dit verslag is bijgesloten als Bijlage 1.

De definitie is nog een aantal keren via de email aan de deelnemers toegestuurd en uiteindelijk is de volgende definitie vastgesteld: *'No regret maatregelen zijn bewezen effectieve maatregelen waarbij koolstof additioneel wordt vastgelegd of koolstof wordt vastgehouden in de minerale landbouwbodems, welke breed toepasbaar, met beperkte kosten en geen of aanvaardbare negatieve afwentelingseffecten zijn'.*

1. Bewezen effectief: gedragen door het gros van de wetenschappers; aangetoond middels langjarig veldonderzoek (LTE's) of aangetoond in de wetenschappelijke literatuur;
2. Koolstofvastlegging: dit houdt in dat het koolstofgehalte wordt verhoogd of er voor wordt gezorgd dat het niet wordt afgebroken en dat dit voor langere tijd gebeurt (zeg minimaal 10 jaar);
3. Breed toepasbaar: op veel gronden en makkelijk in te passen in de agrarische bedrijfsvoering
4. Beperkte kosten: zodat de economische gevolgen voor de boer nihil zijn;
5. Geen of aanvaardbare negatieve mee-koppelende effecten: zowel qua milieu, landschap als bodemkwaliteit.

1.3 Overzicht maatregelen

Akkerbouw

1. Verbeteren gewasrotatie; aandeel graan in het bouwplan verhogen. (ref. intensief bouwplan)
2. Achterlaten gewasresten; mogelijk in combinatie met aanpassingen bouwplan waarbij het aandeel extra graan tevens de gewasresten oplevert. (ref. weghalen gewasresten)

3. Toedienen organische meststoffen; uitwerking van meerdere typen meststof (a drijfmest, b vaste mest; c compost / ref. kunstmest).
4. Groenbemesters/vanggewassen inzetten; inzet groenbemester na de teelt van het hoofdgewas en daarna inwerken in de bodem. Onderzoek naar inzet van verschillende soorten groenbemesters. (ref. geen groenbemester/ vanggewas)
5. Akkerranden; betreft permanente/meerjarige akkerranden. (ref. standaard akkerbouw)
6. Vogelakkers (ref. standaard akkerbouw)
7. Agroforestry; boven- en ondergrondse vastlegging. Voedselbos, agro-silvocultuur. Bomen in bouwland. (ref. standaard akkerbouw)
8. Niet kerende grondbewerking (ref. ploegen)

Veehouderij

1. Behoud grasland; het voorkomen van scheuren van grasland. (ref. regelmatig scheuren)
2. Toedienen organische meststoffen; uitwerking van meerdere typen meststof (a drijfmest b vaste mest /ref. kunstmest).
3. Kruidenrijk grasland; biedt een grotere variëteit in wortelstructuur en worteldiepte (ref. standaard grasland)
4. Mais-gras wisselteelt; 60% permanent gras, 20% grasklaver, 20% mais (driejarige wisselteelt).(ref. 60% permanent gras, 40% mais)
5. Silvopastoraal; bomen in (uitloop)weides. Boven- en ondergrondse vastlegging. (ref. standaard grasland)
6. NKG in mais; NKG in combinatie met gras en maisteelt, mais in grasland, zie proef Marwijksoord. (ref. standaard mais teelt met ploegen)

2 Methode

Om de geïdentificeerde maatregelen te beoordelen op alle aspecten die de definitie van no regret maatregelen omvat is gekozen voor de volgende methodiek:

- Identificatie van indicatoren volgend op de definitie van no regret maatregelen;
- Eerste beoordeling van deze indicatoren door het projectteam;
- Toetsing hiervan door externe experts;
- Op basis hiervan heeft verdere toespitsing van de indicatoren plaatsgevonden;
- Definitieve beoordeling.

2.1 Bepaling en beoordeling van de indicatoren

Tijdens de workshop van 13 juli 2020 is de basis gelegd voor hoe we een maatregel moeten beoordelen op de definitie van no-regret. Er zijn toen gezamenlijk 3 thema's geïdentificeerd, die in de hieronder volgende paragrafen verder worden toegelicht.

2.1.1 Effectiviteit

Het eerste thema waarop no-regret maatregelen zijn beoordeeld is effectiviteit. Binnen dit thema wordt nagegaan of een maatregel daadwerkelijk bijdraagt aan CO₂-vastlegging in de bodem. Om de effectiviteit te bepalen zijn drie criteria vastgesteld, namelijk

- 1) de effectiviteit van de koolstofvastlegging in ton CO₂ (in CO₂-equivalent) per hectare per jaar,
- 2) de zekerheid van die effectiviteit en,
- 3) het areaal waarop een maatregel toegepast kan worden.

De effectiviteit van de maatregel zegt in dit geval iets over hoeveel CO₂ er naar verwachting additioneel wordt opgeslagen in de minerale landbouwbodem. Additioneel betekent in dit geval extra opslag ten opzichte van de opslag d.m.v. de huidige praktijk.

De zekerheid van de effectiviteit is een maatstaf om te duiden hoe zeker we van de uitspraak van de effectiviteit zijn. Een maatregel waarvan de effectiviteit onder Nederlandse omstandigheden wetenschappelijk is bewezen heeft daarbij een hogere zekerheid dan een maatregel die slechts matig en enkel in het buitenland is onderzocht. Een maatregel die in veldexperimenten is onderzocht krijgt daarnaast een hogere zekerheid toegekend dan een maatregel die enkel is doorgerekend in modellen.

Om een maatregel te laten resulteren in daadwerkelijke CO₂ vastlegging is het areaal waarop de maatregel kan worden toegepast belangrijk. Een maatregel met een hoge vastlegging per hectare maar slechts een kleine toepasbaarheid kan uiteindelijk mogelijk minder bijdragen dan een maatregel met een lagere vastlegging maar een grote toepasbaarheid. Bij voorkeur passen we een maatregel toe met een hoge vastlegging en een groot toepasbaar areaal.

Voor iedere maatregel is een kwalitatieve score toegekend aan de drie criteria. Er is gekozen voor een score die loopt van +++ tot --- omdat er te weinig onderscheid kon worden gemaakt wanneer de schaal van -- naar ++ zou lopen. Dit zit met name in het gebied rond de +.

De kwalitatieve score is als volgt opgebouwd:

Schaal	Effectiviteit
+++	De maatregel draagt zeer positief bij aan CO ₂ vastlegging
++	De maatregel draagt positief bij aan CO ₂ vastlegging
+	De maatregel draagt slechts in kleine mate bij een CO ₂ vastlegging
0	De maatregel heeft niet aangetoond dat het bijdraagt aan CO ₂ vastlegging
-	De maatregel draagt negatief bij aan het vastlegging van CO ₂
Schaal	Zekerheid
+++	De zekerheid van het effect van de maatregel is zeer groot en aangetoond in Nederlandse (veld en lab) studies
++	De zekerheid van het effect van de maatregel is groot en aangetoond in Nederlandse studies
+	De zekerheid van het effect van de maatregel is middelmatig en voor Nederland met name gebaseerd op modelberekeningen
0	De zekerheid van het effect van de maatregel is klein en is (nog) niet aangetoond in Nederlandse studies
-	Er zijn nog geen studies die het effect van deze maatregel kwantificeren
Schaal	Areaal*
+++	Deze maatregel kan op nagenoeg al het akkerland/grasland worden toegepast
++	Deze maatregel kan op een aanzienlijk aandeel van het akkerland/grasland worden toegepast
+	Deze maatregel kan op een middelmatig deel van het akkerland/grasland worden toegepast
0	Deze maatregel kan op een klein deel van het akkerland/grasland worden toegepast
-	Deze maatregel kan niet op akkerland/grasland worden toegepast

*Er is deze studie geen onderscheid gemaakt tussen klei- en zandgronden, omdat we analyse doen op een hoger abstractie niveau.

** Voor het bepalen van de kwalitatieve score is gebruik gemaakt van expert judgement. Zie bijlage 1 voor een overzicht van de experts die hebben bijgedragen aan het bepalen van de effectiviteit.

2.1.2 Toepasbaarheid in de bedrijfsvoering

Voor de toepasbaarheid is allereerst een lijst met criteria opgesteld die voor akkerbouwers en melkveehouders van belang kunnen zijn bij hun overwegingen om een maatregel al dan niet te willen accepteren en toepassen (deze lijst is tot stand gekomen door een brainstorm van onderzoekers in dit project, gebruikmakend van jarenlange ervaring met projecten met agrariërs en kennis van factoren die voor hen van belang zijn bij de adoptie van maatregelen):

- Inpassing huidig bouwplan
- Machines, materieel, gebouwen
- Arbeid
- Scholing
- Teeltschade (onkruid/aaltjes)
- Conflict andere regulering
- Afzet producten
- Weerbaarheid klimaat

- Diversificatie
- Gewassaldo (euro/ha)
- Monitorbaarheid
- Acceptatie Nederlandse boeren (een samenvattend criterium over de voorgaande criteria heen).

Deze criteria zijn als volgt gedefinieerd en gescoord:

- Inpassing huidig bouwplan: is het gemakkelijk om deze maatregel in te passen in het huidige bouwplan? Zo ja, dan plusje(s);
- Machines, materieel, gebouwen: zijn er investeringen nodig in machines, materieel of gebouwen om deze maatregel uit te kunnen voeren? Zo ja, dan minnetje(s); geen extra investeringen = 0; bij lagere investeringen een +;
- Arbeid: is er meer arbeidsinzet van de boer of zijn personeel nodig om deze maatregel uit te voeren? Zo ja, dan minnetje(s);
- Scholing: is er scholing nodig voor de boer of personeel om deze maatregel uit te kunnen voeren? Zo ja, dan minnetje(s);
- Teeltschade (onkruid/aaltjes): treedt er door deze maatregel teeltschade op, met name door een toename van onkruid- en aaltjesproblemen? Zo ja, dan minnetje(s);
- Conflict andere regulering: treden er door deze maatregel conflicten op met andere regulering? Zo ja, dan minnetje(s); geen conflict, dan een 0;
- Afzet producten: wordt door deze maatregel de afzet van producten (volume en/of prijs) bevorderd? Zo ja, dan plusje(s);
- Weerbaarheid klimaat; wordt door deze maatregel de weerbaarheid van het klimaat bevorderd? Zo ja, dan plusje(s);
- Diversificatie: wordt door deze maatregel de diversificatie (met name meer gewassen) op het bedrijf bevorderd? Zo ja, dan plusje(s);
- Gewassaldo (euro/ha) - Korte termijn: wordt door deze maatregel het gewassaldo op korte termijn op het bedrijf bevorderd? Zo ja, dan plusje(s);
- Gewassaldo (euro/ha) - Lange termijn: wordt door deze maatregel het gewassaldo op lange termijn (stel: 10 jaar) op het bedrijf bevorderd? Zo ja, dan plusje(s);
- Monitorbaarheid: is deze maatregel goed te monitoren? Zo ja, dan plusje(s);
- Acceptatie Nederlandse boeren: dit is in feite een overall indicator over de voorgaande indicatoren. Als de boeren deze maatregel snel accepteren, dan plusje(s).

Om een maatregel te scoren op deze indicatoren is de volgende beoordeling gebruikt:

Schaal	Toepasbaarheid
++	Erg makkelijk
+	Vrij makkelijk
+/-	Sterk wisselend
0	Weinig / geen verschil huidig
-	Vrij moeilijk
--	Erg moeilijk

De verschillende maatregelen zijn door de onderzoekers in dit project gescoord op de verschillende criteria en vervolgens door (andere) experts op het gebied van respectievelijk akkerbouw en melkveehouderij¹. De experts hebben hun scores ingevuld zonder de scores van de onderzoekers te kennen. Hun scores zijn vervolgens eerst met de experts doorgesproken en vervolgens door de betrokken onderzoekers uit het projectteam gewogen. De daaruit afgeleide scores zijn in dit rapport weergegeven.

2.1.3 Mee-koppel effecten

Op basis van de workshop No Regret met de opdrachtgever van 13 juli 2020, zijn als te onderzoeken mee-koppel effecten (d.w.z. effecten die onbedoeld ook optreden bij een maatregel voor het vastleggen van koolstof aan de bodem) geïdentificeerd:

- 1) Emissies naar de lucht (CO₂, N₂O)
- 2) Bodemvruchtbaarheid (fysisch , chemisch, biologisch).
- 3) Waterkwaliteit (NO₃)
- 4) Biodiversiteit (niet alleen bodemleven, ook bovengronds)
- 5) Landschap kwaliteit
- 6) Klimaatadaptatie (water bufferend vermogen)

¹ Het betreft medewerkers van Louis Bolk Instituut en Wageningen Economic Research met veel kennis van de praktijk en/of een eigen agrarisch bedrijf.

De mee-koppel effecten zijn vervolgens beoordeeld door experts waarbij de volgende kwalitatieve score is toegepast:

Schaal	Mee-koppel effect
++	Positief effect
+	Matig positief effect
-/+	Sterk wisselend effect
0	Netto-effect is nul/gering,
-	Matig negatief effect
--	Negatief effect

NB. Een mee-koppel effect wordt als positief beoordeeld wanneer het gewenste effect optreedt ofwel wanneer het niet een ongewenst effect tot gevolg heeft. Zo is het effect op de emissie van CO₂ of N₂O positief wanneer de maatregelen geen emissie van CO₂ of N₂O tot gevolg heeft. En voor klimaatadaptatie is het effect positief wanneer de maatregel bijdraagt aan (algemene) doelen voor klimaatadaptatie.

3 Maatregelen

3.1 Maatregelen Akkerbouw

3.1.1 *Verbeteren gewasrotatie*

Beschrijving maatregel

Met een jaarlijks terugkerende intensieve (akkerbouw)teelt, zoals van rooivruchten of maïs, gaat de organische stofvoorraad in de bodem achteruit. Dit komt door intensieve grondbewerking en doordat er weinig toevoer is van organische stof via gewasresten. Door het jaarlijks afwisselen van gewassoorten wordt dat voorkomen. Met name een groter aandeel granen en grassen in het bouwplan zullen het organische stofgehalte doen stijgen. Graan in het bouwplan zorgt voor een toevoeging van organische stof via het relatief grote wortelstelsel levert na de oogst een behoorlijke hoeveelheid organische stof. Afwisseling met gras(klaver) of een groenbemester die niet wordt geoogst maar volledig wordt ondergewerkt zorgt niet alleen voor het vasthouden van nutriënten in de bodem, maar levert ook organische stof. (Handleiding goed koolstofbeheer, CLM 201300).

Verruiming van de vruchtwisseling met meer graan is gunstig voor de bodemkwaliteit en vaak ook voor de mineralenbenutting, maar is ongunstig voor het economisch bedrijfsresultaat. Met name op bedrijven met pootgoedaardappelen zijn forse opbrengststijgingen nodig om het inkomensverlies te compenseren die op dit moment weinig realistisch lijken. In dergelijke situaties kan beter eerst worden gekeken naar alternatieve maatregelen zoals organische meststofkeuze, inwerken van stro en het telen van vroege rassen. Ook verruiming met vroeg geoogste bloembolgewassen of groenten of landruil met een melkveehouder kunnen aantrekkelijkere alternatieven zijn. (Van Dijk et al., 2013).

Bij een ruimere vruchtwisseling neemt de ziektedruk af, minder last van ziekten en betekent minder gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Dit heeft positieve effecten op waterkwaliteit en biodiversiteit

Bij deze maatregel is onderscheid te maken naar meer graan in de rotatie opnemen of een ander 4e gewassen. Momenteel opgenomen in de LTE's: meer graan in bouwplan, van nu 1 op 6 in rotatie, streven naar 1 op 4 of 1 op 3. Andere gewassen in de rotatie opnemen, zoals tijdelijk grasland, luzerne is nog niet in de LTE's opgenomen.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Proeven uit de Lange Termijn Experimenten (LTE's; Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020) tonen een positief effect op de koolstofbalans wanneer het aandeel graan in het bouwplan toeneemt. In Koopmans et al. (2019) is een significant effect waargenomen, in Koopmans et al. (2020) is een trend waargenomen in de langjarige proeven.	+++
Zekerheid van de effectiviteit	In Koopmans et al. (2020) is de effectiviteit van de maatregel berekend aan de hand van zowel modelberekeningen als langjarige proeven. Door de grote variatie die mogelijk is met bouwplanaanpassingen is het zeer lastig om het effect van de maatregel te bepalen. Modelberekeningen helpen om hier inzicht in te krijgen.	+
Toepasbaar areaal	In principe kan de maatregel op veel bedrijven worden toegepast. Echter zitten bedrijven in bepaalde regio's al aan de maximale toepasbaarheid van granen in het bouwplan. Om boeren te stimuleren deze maatregel toe te passen zijn (winstgevende) afzetmogelijkheden van het extra geteelde graan nodig.	++

Op

basis van expert judgement is de zekerheid van de effectiviteit beoordeeld met ++. Afgaande op de schaal van de scores en de mate waarin de effectiviteit van deze maatregel is gebaseerd op modelberekeningen is de score aangepast naar +.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Is gebaseerd op huidig bouwplan, dat wil zeggen dat er geen verandering in gewassenkeuze plaats vindt, alleen een verschuiving.	+
Machines, materieel, gebouwen	Met bestaande mechanisatie; geen nieuwe investeringen	0
Arbeid	Minder intensief bouwplan geeft minder werk	+
Scholing	Kennis is aanwezig	0
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Ruimere rotatie (minder rooivruchten) verkleint het risico op teeltschade	+
Conflict andere regulering	Voorschriften CAP?	0
Afzet producten	Mogelijk, mits goed gecommuniceerd; risico van eenzijdiger bouwplan is prijsdruk; internationale afzet is helemaal lastig	+/-
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting. Granen leggen per saldo koolstof vast en verbeteren de bodemkwaliteit.	+
Diversificatie	Bouwplan met meer granen is eenzijdiger	0
Gewassaldo (euro/ha)		--

	Kosten op korte termijn voorafgaand aan de baten op lange termijn*	+
Monitorbaarheid	Met drone of via Gecombineerde Data Inwinning (GDI) door RVO	+
Acceptatie NL'se boeren*	Economische gronden: ruimere gewasrotatie met meer rustgewassen geeft lager saldo	-

* score in tabellen voor respectievelijk korte (bovenste vakje) en lange termijn (onderste vakje)

Verbeteren gewasrotatie is in het algemeen goed inpasbaar. Het leidt voor de boer op korte termijn tot een lager gewassaldo. Op de langere termijn kan dit verbeteren en zelfs gunstiger worden dan het eerdere bouwplan.

Mee-koppel effecten

Criteriaum	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit ²	Vooraf bij graan en gras, rel. hoog Eos en hoge C/N	+
1. Emissies		
CO ₂	Neutraal	0/+
N ₂ O	Lagere emissie	+
NO ₃	Hoger os gehalte -> minder kans op nitraat uitspoeling	+
2. Bodemvruchtbaarheid		
Fysisch (structuur)	Verbetering door minder intensieve grondbewerking	+
Chemisch (N, P, K)	Hogere OS-mineralisatie, positief voor mineralenbenutting (van Dijk 2013)	+
Biologisch (bodemleven)	Lagere ziektedruk, minder bestrijdingsmiddelengebruik	+
3. Waterkwaliteit	Minder bestrijdingsmiddelen, minder uit /afspoeling van o.m. nitraat, bestrijdingsmiddelen	+
4. Biodiversiteit	Optelsom voorgaande, positief	+
5. Landschap kwaliteit	Graan wordt door de burger hoog gewaardeerd	0/+
6. Klimaatadaptatie	Beter water bufferend vermogen, door meer os en betere bodemstructuur, echter	0/+
Opmerkingen	<p>Kennislagunes; regionale verschillen, verschillen zand klei. Regionale differentiatie, in Oldambt veel meer graan dan NOP bv.</p> <p>Een ruimere gewasrotatie heeft voor zover bekend alleen maar positieve mee-koppeleffecten.</p> <p>Maar een negatief inkomenseffect omdat graan een minder renderend gewas is. Ook speelt de vraag of er wel genoeg vraag is naar meer Nederlands graan?</p>	

² De kwaliteit van organische stof is veelzijdig en kan op verschillende manieren worden aangeduid, bijvoorbeeld met stabiliteit (Eos), leeftijd (jong of oud) en C/N-verhouding.

Afwenteling op emissies

Het opnemen van meer gewassen in het bouwplan verhoogt het bodem organische stofgehalte, verbetert het bodemleven en vermindert verdichting. Het minder frequent telen van rooigewassen en in plaats daarvan het groeien van meerjarige gewassen en inzaaien met gras in rotatie betekent wel een lager inkomen voor de boer. De lagere gewasopbrengsten kunnen dan ook leiden tot indirecte veranderingen in landgebruik. Het verbeteren van gewasrotaties leidt tot efficiënter gebruik van kunstmest, en wellicht dus ook een vermindering van kunstmest gebruik. Dit vermindert NO_3^- uitspoeling, en als gevolg daarvan de N_2O emissies (Lesschen et al., 2012). In een aantal veldexperimenten in de Verenigde Staten en Canada is ook lagere N_2O en CO_2 -emissies en hogere gewasopbrengsten gemeten wanneer maïs, tarwe en sojabonen in rotatie werden verbouwd ten opzichte van monoculturen. Concluderend, het verbeteren van gewasrotaties kan de uitstoot van CO_2 en N_2O verminderen (Behnke et al., 2018; Drury et al., 2008).

3.1.2 Gewasresten achterlaten

Beschrijving maatregel

Bij deze maatregel worden gewasresten (vooral stro), die normaal worden weggehaald, achtergelaten op het veld, wat leidt tot een hogere aanvoer van organische stof naar de bodem. Deze maatregel heeft een hoge potentie voor met name de akkerbouwgebieden (Veenkoloniën, Flevoland en Zeeland) (Handleiding goed koolstofbeheer, Louis Bolk 2013).

Gewasresten worden vaak van het land verwijderd om te worden gebruikt als strooisel in stallen, als veevoer of als energiebron. Echter ze kunnen ook op het land achterblijven, en voor extra toevoer van koolstof naar de bodem zorgen. De bijdrage van gewasresten aan bodem organische stof verschilt per gewas. Gewasresten een hoge C/N-verhouding (zoals graan C/N:75) worden doorgaans minder makkelijk afgebroken dan gewasresten met een lage C/N-verhouding (bv, suikerbiet C/N:23).

Tabel 6. Aanvoer van organische stof en effectieve organische stof het achterlaten van gewasresten. Hoeveelheden zijn in kg per ha, bij de gemiddelde opbrengst. De effectieve organische stof is de hoeveelheid organische stof die nog over is na één jaar (uit: Hanegraaf, 2010).

Gewas	Aanvoer van organische stof	Effectieve organische stof
Snijmaïs, ondergronds	1500	525
Aardappelen	3977	875
Korrelmaïs, ondergronds	2000	700
Zomertarwe, inclusief stro	8500	2550
suikerbieten	1500	375
Luzerne, eerste jaar, ondergronds	3000	1050

Over het algemeen zal het achterlaten van gewasresten een positieve invloed hebben op het organische stofgehalte, maar dit is afhankelijk van het soort gewas en de grondsoort. De bedekking van de bodem met gewasresten in de winter vermindert ook het risico op erosie en gaat verdichting van de bodem tegen. Door het inwerken van gewasresten is er wel een hoger risico op lachgasemissies. (Lesschen 2012) Lachgas wordt gevormd tijdens de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie in de bodem, water en andere bronnen waar stikstofomzettingen plaats vinden (bijvoorbeeld compostering). Gemakkelijk afbreekbare organische stof is de energiebron voor denitrificerende (lachgas-producerende) bacteriën (Velthof, 2000).

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Bij een LTE in Canada is een significante toename van de bodemkoolstof gevonden (Malhi et al. 2011). Ook de eerste modelberekeningen uit het Slim Landgebruik LTE-project (Koopmans et al. 2021/in press) tonen positieve effecten.	++
Zekerheid van de effectiviteit	Tot op heden is het onderzoek naar het effect van deze maatregel in Nederland schaars. Buitenlandse publicaties tonen positieve effecten. Daarnaast speelt er onzekerheid over de effectiviteit van de maatregel doordat de hypothese is dat het afgevoerde stro in veel van de gevallen alsnog terugkomt op het land, in de mest of als bodembedekker. Dit kan de effectiviteit van de maatregel doen afnemen, omdat het in dat geval weinig verschil zou maken of een gewasrest wel of niet wordt achtergelaten.	0
Toepasbaar areaal	In principe kan deze maatregel in veel bouwplannen worden toegepast. Echter worden de meeste gewasresten al achtergelaten op het land. Deze maatregel zal dan ook met name kunnen worden toegepast op het areaal waarop stro wordt geteeld.	+

Op basis van expert judgement scoort deze maatregel ++ op de zekerheid van de effectiviteit. Literatuuronderzoek ondersteunt deze uitspraak echter niet. Het ontbreekt nog aan onderbouwde studies in Nederland.

Ook lijkt het toepasbaar areaal overschat middel expert judgement. Het is correct dat de maatregel op nagenoeg al het akkerland toegepast kan worden, waardoor een score van +++ correct is. Echter worden nagenoeg alle gewasresten reeds achtergelaten. Daardoor neemt het areaal waarop de maatregel nog additioneel toepasbaar is af. Om deze reden is de score aangepast naar +.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Laag C/N	Hoog C/N
Inpassing huidig bouwplan	Bouwt voort op huidig bouwplan	++	++
Machines, materieel, gebouwen	Met bestaande mechanisatie; mogelijk nieuwe investering in hakselaar	++	++
Arbeid	Maakt niet uit	+	+
Scholing	Kennis is aanwezig	0	0
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Gewasresten van bepaalde gewassen kunnen b.v. inoculum bevatten	+/-	+/-
Conflict andere regulering	Nvt	0	0
Afzet producten	Effect individuele maatregel is lastig aan te geven; mogelijk als onderdeel van bedrijfssysteem of keurmerk	0	0
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting	0	+

Diversificatie	Maatregel levert geen diversificatie	0	0
Gewassaldo (euro/ha)	Saldo lange termijn vrijwel gelijk aan de korte termijn	0/+	0/+
Monitorbaarheid	Met drone	+/-	+/-
Acceptatie NL'se boeren*	Bestaande maatregel	+/-	+/-

Gewasresten achterlaten is goed inpasbaar en heeft een neutraal- tot positief effect op het gewassaldo.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	Laag C/N	Hoog C/N
0. OS toename/ kwaliteit	Graan/maisstengel hebben rel. hoog Eos en C/N, maisblad groener, minder stabiel met laag Eos en C/N	+	++
1. Emissies			
CO ₂	Gering	0/+	0/+
N ₂ O	Effect afhankelijk van C/N-gewas	-	+
NO ₃	Minder uitspoeling bij hogere os gehalte	-	+
2. Bodemvruchtbaarheid			
Fysisch (structuur)	Beter bij gewassen met hoge Eos	+	+
Chemisch (N, P, K)	Beter bij gewassen met makkelijk afbreekbaar os	+	+
Biologisch (bodemleven)	Beter bij gewassen met makkelijk afbreekbaar os	+	+
3. Waterkwaliteit	Minder uitspoeling bij hoog C/N	-	+
4. Biodiversiteit		+	+
5. Landschap kwaliteit		0/+	0/+
6. Klimaatadaptatie	Beter water bufferend vermogen als bodemstructuur verbeterd, impact op adaptatie echter gering	0/+	0/+
Opmerkingen	Zand vs. klei, verschil in omvang niet in richting Ruimer bouwplan met rust gewassen (graan, hoge C/N,) goed voor verhogen os gehalte heeft geringe afwentelingseffecten. Klein risico's op lachgas emissie bij hoger os gehalte van de bodem		

Afwenteling op emissies

De mate waarin het achterlaten en inwerken van gewasresten bijdraagt aan de opbouw van organische stof in de bodem en de effecten op N₂O emissies hangt af van de gewassoort (Lesschen et al., 2012). Gewasresten met een hoger CN-ratio, zoals van granen, worden minder makkelijk afgebroken en leiden tot minder N₂O emissies ten opzichte van gewasresten met een laag CN-ratio, bijvoorbeeld van peulen, waarbij de afbraak kan leiden tot hoge N₂O emissies (Lesschen et al., 2012; Pugesgaard et al., 2017; Signor et al., 2013). Als gewasresten zeer makkelijk afbreekbaar zijn, kan

dit ook leiden tot consumptie van zuurstof en verhoging van N₂O emissies als gevolg van denitrificatie (Lesschen et al., 2011). Tegelijkertijd kan de verhoging van organische stof in de bodem ook NO₃⁻ binden en uitspoeling verminderen en daarmee indirecte N₂O emissies voorkomen (Lesschen et al., 2012).

3.1.3 Toedienen organische meststoffen

Beschrijving maatregel

Voor het op peil houden of verbeteren van de bodemvruchtbaarheid is een regelmatige aanvoer van organische stof in de vorm van compost of organische mest van groot belang. De inzet van compost en organische mest is een bewezen maatregel voor verbetering van de bodemkwaliteit en de waterhuishouding. Het betekent ook meer voedsel voor bodemdierpjes en dus meer biodiversiteit.

De organische stof die door organische meststoffen wordt aangevoerd wordt voor een belangrijk deel snel weer afgebroken. De organische stof die na één jaar nog over is wordt effectieve organische stof genoemd. Niet elke mestsoort is hetzelfde: drijfmest wordt bijvoorbeeld veel sneller afgebroken dan vaste mest en compost. En vaste mest en compost hebben in vergelijking met drijfmest een hoger EOS en hogere gehalte van P en K.

Tabel 1. EOS* en NPK aanvoer: vergelijking van aantal producten bij aanvoer van 15 ton/ha.

15 ton per ha	Effectieve OS	Stikstof (N)	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Kalium (K ₂ O)
GFT compost	2900	14 **	36 **	113
Vaste rundermest	1600	38	48	62
Runderdrijfmest	800	36	23	18
Varkensdrijfmest	400	77	57	23

* EOS: Effectieve organische stof. Dit is de hoeveelheid organische stof die na 1 jaar nog in de grond aanwezig is.

** 10% van 135 kg N, 50% van 72 kg P₂O₅.

Uit onderzoek blijkt dat de beste resultaten voor het verhogen van het bodem os kunnen worden behaald met meststoffen die zowel op voeding van het gewas als ook op de opbouw van de bodem zijn gericht: een bouwplan met b.v. 50% groencompost en 50% rundveedrijfmest kan het bodemorganische stofgehalte binnen 10 jaar verhogen met 0,5% op zand en 0,8% op klei. (Deltaplan Agrarisch waterbeheer, Factsheet inzet van compost en organische mest).

Het aanbod aan organische meststoffen verschilt. Voor drijfmest is er landelijk gezien een overschot, terwijl voor vaste mest en compost de vraag groter is dan het aanbod. In 2017 werd in Nederland ca. 1,8 miljoen ton compost geproduceerd. Het grootste deel daarvan wordt afgezet in de akker- en tuinbouw en de boomteelt.

Effectiviteit

Criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	In Koopmans et al. (2020) wordt een positief effect gevonden door het toedienen van organische meststoffen. De resultaten tonen echter wel dat verschillende meststoffen een verschillende potentie hebben.	++
Zekerheid van de effectiviteit	Verschillende studies tonen het positieve effect van de maatregel aan. Door de grote variatie in meststoffen neemt de onzekerheid toe. Ook moet er rekening worden gehouden met het feit dat wanneer bijvoorbeeld compost in de akkerbouw wordt toegepast deze niet op een andere plek kan worden toegepast zoals dat nu wellicht het geval is.	++

Toepasbaar areaal	In principe kan deze maatregel breed worden ingezet in de akkerbouw. Echter worden in Nederland worden al veel organische meststoffen toegediend. Daarnaast is het aanbod van de organische meststoffen zoals compost en vaste mest beperkt.	+
-------------------	--	---

Op basis van expert judgement is het toepasbaar areaal van deze maatregel gescoord met ++. Rekening houdend met het areaal waarop deze maatregel reeds wordt toegepast en de beperkte beschikbaarheid van organische meststoffen is deze score lager ingeschat naar +.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	DM	VM CP
Inpassing huidig bouwplan	Sluit aan op huidig bouwplan	+	-
Machines, materieel, gebouwen	Met bestaande mechanisatie; geen nieuwe investeringen	+	+
Arbeid	Extra organische mest, toedienen en aanvoer vergt meer arbeid	0	0
Scholing	Kennis is aanwezig	0	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Afhankelijk van de soort meststof en of verontreinigingen aanwezig zijn; onkruidzaden in dierlijke mest of glasscherven in compost	+	+
Conflict andere regulering	Regelgeving rond meststoffen	+/-	+/-
Afzet producten	Effect individuele maatregel is lastig aan te geven; mogelijk als onderdeel van bedrijfssysteem of keurmerk	0	0
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting; iets gunstiger dan 2a	+	++
Diversificatie	Bestaande maatregel	0	0
Gewassaldo (euro/ha)	Bestaande maatregel	+	+/-
Monitorbaarheid	Niet direct zichtbaar; kortdurende handeling; administratie	0/+	+
Acceptatie NL'se boeren*	Bestaande maatregel	+	-

DM: drijfmest; VM; vaste mest; CP: compost

Toedienen van organische meststoffen sluit voor drijfmest goed aan bij de huidige praktijk. Voor vaste mest en compost vraagt dit aanpassingen. Vooral die laatste twee hebben een positief effect op bodemweerbaarheid, ook tegen klimaatontwrichting.

Meekoppeleffecten

Criterion	Toelichting	DM	VM/ CP
0. OS toename/ kwaliteit	EOS: drijfmest lager dan van vaste mest/ compost	+	++
1. Emissies			
CO ₂	Vooraf bij drijfmest kans op emissie	-	0/+
N ₂ O	Vooraf bij drijfmest kans op emissie	-	+
NO ₃	Vooraf bij drijfmest kans op emissie	-	-/0
2. Bodemvruchtbaarheid			
Fysisch (structuur)	Compost /vaste mest heeft hoge Eos	0	+
Chemisch (N, P, K)	Mede afhankelijk van de hoeveelheid die wordt toegediend	+	+
Biologisch (bodemleven)	Afhankelijk van de wijze van toediening	-/0	+
3. Waterkwaliteit	Vooraf bij drijfmest kans op uitspoeling	-	+
4. Biodiversiteit	Compost en vaste mest dragen meest bij	-	+
5. Landschap kwaliteit	Geen impact	0	0
6. Klimaatadaptatie	Geen tot gering effect, bij vaste mest/ compost beter water bufferend vermogen door betere bodemvruchtbaarheid	0	0/+
Opmerkingen	<p>Aanvoer van compost en/of vaste mest heeft door NPK een gunstig effect op de gewasgroei</p> <p>Vaste mest/ compost verbeterd de bodemkwaliteit en waterhuishouding, ook behoorlijke klimaatwinst als de kunstmest vervangt. Aanbod vaste mest/compost is echter beperkt.</p> <p>Toedienen van drijfmest heeft negatieve afwenteling, i.t.t. vaste mest/ bewerkte mest/ compost. Grotere winst naarmate de kunstmest wordt vervangen. Echter aanbod vaste mest/compost is beperkt.</p>		

DM: drijfmest; VM; vaste mest; CP: compost.

Afwenteling op emissies

Net als bij gewasresten, hangen N₂O emissies van compost en ruwe mest af van het C/N-ratio, waarbij een lager C/N-ratio leidt tot hogere N₂O emissies. Gecomposteerde mest leidt over het algemeen tot lagere CO₂ en N₂O emissies dan ruwe mest, omdat gecomposteerde mest een hoger gehalte aan stabiele C bevat. Ruwe mest is makkelijker afbreekbaar wat leidt tot hogere N₂O en CO₂-emissies, en daarmee potentieel een afname van organische stofgehalte. Jaarlijkse toevoeging van compost leidt tot een hoger organisch stofgehalte, met name in stabiele vorm (De Rosa et al., 2018). Desondanks wordt de toediening van compost en mest niet altijd gezien als een mitigatie strategie aangezien er geen atmosferische CO₂ wordt vastgelegd of emissies worden voorkomen. Al kan het gebruik van organische bemesting wel kunstmestgebruik doen verminderen en de daaraan gerelateerde N₂O en CO₂-emissies (Guenet et al., 2020).

3.1.4 Groenbemesters/vanggewassen

Beschrijving maatregel

Een groenbemester wordt toegepast om het OS-gehalte te verhogen. Het primaire doel van een vanggewas (wordt ingezaaid na een hoofdgewas b.v. mais) is om stikstofuitspoeling te beperken zodat de stikstof in de kringloop blijft en beschikbaar komt voor het volgende gewas. Een goed geteeld vanggewas kan veel meer dan alleen stikstof vastleggen en kan ook een goede groenbemester zijn.

In Nederland is het zaaien van een vanggewas tegenwoordig verplicht na de teelt van maïs op zand- en lössgrond. Je mag vanggewassen niet eerder onderwerken dan 1 februari. Toegelaten vanggewassen zijn bladkool, bladrammenas, gras, Japanse haver, triticale, wintergerst, winterrogge en wintertarwe. Op de website van RVO vind je meer informatie.

Een groenbemester of vanggewas wordt meestal gezaaid om uitspoeling en daarmee verlies van nutriënten in de herfst te voorkomen. Ook vanuit het oogpunt van organische stofbeheer is het gunstig om een groenbemester of vanggewas te telen en winterbraak te vermijden. Zo'n gewas zorgt namelijk voor vastlegging van koolstof op het eigen bedrijf – een verschil met het invoeren van elders vastgelegde koolstof zoals compost. Doordat het gewas ondergeploegd wordt, wordt de vastgelegde organische stof aan de bodem toegevoegd. Een deel daarvan zal snel weer afbreken, maar toch wordt er ook effectieve organische stof aan de bodem toegevoegd, die veel langzamer afbreekt. In Tabel 3 staan indicaties van de hoeveelheid organische stof en effectieve organische stof die aan de bodem wordt toegevoegd bij het inwerken van verschillende groenbemesters. Voor het succes van een groenbemester of vanggewas is de timing cruciaal: hoe eerder het gewas gezaaid wordt in de nazomer of vroege herfst, hoe beter. Een groenbemester die pas na 1 oktober de grond in gaat zal in het najaar weinig meer groeien. Een dergelijke groenbemester is alleen zinnig wanneer het volgende voorjaar nog benut wordt voor groei.

Tabel 3. Aanvoer van organische stof en effectieve organische stof na het onderwerken van verschillende groenbemesters. Hoeveelheden zijn in ton per ha, bij een gemiddelde gewasgroei. De effectieve organische stof is de hoeveelheid organische stof die nog over is na één jaar. Voor de meeste groenbemesters wordt 30% aangehouden (zomerkoolzaad: 25%) (uit: Hangegraaf, 2010).

Gewas	Aanvoer van organische stof	Effectieve organische stof
raaigras	2550	612
rode klaver	3800	432
witte klaver	2700	783
bladrammenas	3000	900
gele mosterd	3800	850
wikke	3000	645

(Uit: handleiding goed koolstofbeheer Louis Bolk)

Bij een vanggewas/ groenbemester is er een extra risico op N₂O-emissies, omdat tijdens het onderwerken van de groenbemester N₂O kan ontstaan doordat zowel extra C als N-beschikbaar komen. Echter het vanggewas/ groenbemester levert ook stikstof aan het volggewas, waardoor er meer stikstof beschikbaar is en minder kunstmest nodig is en daarmee een lagere N₂O- en NH₃-emissie. Het belangrijkste effect is uiteraard de verlaging van de nitraatuitspoeling. Doordat het gewas in het najaar stikstof opneemt wordt nitraatuitspoeling en het risico op oppervlakkige afspoeling van stikstof naar oppervlaktewater beperkt. Dit leidt ook tot minder indirecte N₂O-emissie. (Lesschen, 2012).

Effectiviteit

Criterion	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Groenbemester en vanggewassen leveren met name snel afbreekbare organische stof. Daardoor is de verwachte bijdrage aan langdurige koolstofvastlegging relatief laag. Verschillende buitenlandse studies tonen echter een positief effect op bodemkoolstof (Ruis & Blanco-canque, 2017; Poeplau & Don, 2015).	+
Zekerheid van de effectiviteit	In Nederland is er nog geen onderzoek uitgevoerd naar het kwantificeren van koolstofvastlegging d.m.v. groenbemesters. In het 2020 LTE-project uit Slim Landgebruik (Koopmans et al. 2021/in press) wordt de maatregel wel meegenomen.	+
Toepasbaar areaal	Groenbemesters kunnen in vele gevallen worden toegepast, mits de hoofdteelt op tijd kan worden geoogst. Door de afhankelijkheid van weersomstandigheden is dit niet altijd te voorspellen.	+++

Toepasbaarheid

Criterion	Toelichting	Laag C/N	Hoog C/N
Inpassing huidig bouwplan	Hier wel verschuiving van gewassen over percelen, in referentiesituatie blijft alles hetzelfde (gras blijft gras, mais blijft mais), maar niet moeilijk	+	+
Machines, materieel, gebouwen	Met bestaande mechanisatie; geen nieuwe investeringen	-	-
Arbeid	Maakt niet uit ten opzichte van huidige situatie	-	-
Scholing	Kennis is aanwezig	-	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Keuze juiste groenbemester: b.v. luzerne op zandgrond is ongewenst/schadelijk	+/-	+/-
Conflict andere regulering	Nvt	0	0
Afzet producten	Effect individuele maatregel is lastig aan te geven; mogelijk als onderdeel van bedrijfssysteem of keurmerk	+	+
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting	+	++
Diversificatie	Maatregel levert geen diversificatie	+	+
Gewassaldo (euro/ha)	Saldo lange termijn gunstiger dan de korte termijn, maar onzeker	+/-	-
Monitorbaarheid	Niet direct zichtbaar; kortdurende handeling; administratie	0/+	+
Acceptatie NL'se boeren*	Bestaande maatregel; dwingende wetgeving	+	+

Vanggewassen en groenbemesters zijn goed inpasbaar in het huidige bouwplan, hebben een positief effect op weerbaarheid en diversificatie en kunnen op acceptatie van Nederlandse boeren rekenen. Ze vragen extra inzet rond machines en materieel, arbeid en scholing.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	Laag C/N	Hoog C/N
0. OS toename/ kwaliteit		+	+
1. Emissies			
CO ₂	Verbetering door hoger os gehalte	+	+
N ₂ O	Afhankelijk van C/N-ratio, zie toelichting hieronder	-	+
NO ₃	Idem	-	+
2. Bodemvruchtbaarheid			
Fysisch (structuur)	Verbetering door hoger os gehalte	+	++
Chemisch (N, P, K)	Idem	+	+
Biologisch (bodemleven)	Idem	+	++
3. Waterkwaliteit	Grotere kans op nitraatuitspoeling groenbemester	-	+
4. Biodiversiteit	Positief effect	+	+
5. Landschap kwaliteit	Geen effect	0	0
6. Klimaatadaptatie	Geen e	0	0
Opmerkingen	Voor het succes van een groenbemester of vanggewas is de timing cruciaal: hoe eerder het gewas gezaaid wordt in de nazomer of vroege herfst, hoe beter. Vanggewas heeft minder negatieve afwenteling dan groenbemester omdat het N opneemt		

Afwenteling op emissies

Het telen van vanggewassen leidt tot opbouw van organische stof in de bodem en verminderde uitspoeling van nutriënten, waaronder NO₃⁻, waardoor N₂O emissies en kunstmestgebruik verminderd kunnen worden (Guenet et al., 2020; Lesschen et al., 2012). Vanggewassen worden in toenemende mate gebruikt om de verliezen van N buiten het groeiseizoen te beperken. Echter kan dit ook leiden tot een verschuiving van N₂O emissies over tijd: in plaats van N₂O emissies als gevolg van NO₃⁻ uitspoeling tijdens de winter, vinden N₂O emissies plaats in het voorjaar door de afbraak van vanggewassen (Duan et al., 2018). Bij het onderploegen van de vanggewassen komt namelijk extra C en N beschikbaar, wat leidt tot N₂O emissies, waarbij de mate waarin N₂O wordt geproduceerd afhangt van het C/N-ratio van het vanggewas (Lesschen et al., 2012; Guenet et al., 2020). Echter levert een vanggewas ook weer N aan het volggewas, waardoor kunstmest-gerelateerde emissies voorkomen kunnen worden (Lesschen et al., 2012). Concluderend, de effecten van vanggewassen op N₂O emissies zijn moeilijk in te schatten door tegenstrijdige processen, welke beide zijn aangetoond in een veldexperiment. Bij een langdurig veldexperiment op zand in Denemarken werden zowel een verminderde NO₃⁻ uitspoeling en daarmee verminderde N₂O emissies gemeten (Pugesgaard et al., 2017), als hogere N₂O

emissies gemeten in rotaties met vanggewassen ten opzichte van rotaties met (kunst)mest als gevolg van de afbraak van de vanggewassen (Duan et al., 2018).

3.1.5 Akkerranden

Beschrijving maatregel

Bij deze maatregel wordt een deel van de akker (ca. 3%) permanent niet meer gebruikt voor gewasproductie. Op deze akkerranden vindt geen bemesting plaats en wordt niet geploegd. Het koolstofgehalte van de bodem kan hierdoor in de randen toenemen³. Omdat het areaal akkerranden beperkt is heeft deze maatregel t.o.v. de andere maatregelen een beperkte potentie.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Door een gebrek aan onderzoek is het lastig een uitspraak te doen over de effectiviteit van de maatregel. Afhankelijk van het type akkerrand is de koolstoftoevoer naar de bodem naar verwachting relatief laag.	0
Zekerheid van de effectiviteit	Akkerranden wordt met name voor andere doeleinden, zoals biodiversiteit, toegepast. Om deze reden is er amper onderzoek uitgevoerd naar koolstofvastlegging als gevolg van (meerjarige) akkerranden. Dit geldt zowel voor Nederland als het buitenland.	-
Toepasbaar areaal	Zoals de naam al zegt kunnen akkerranden alleen worden toegepast langs de randen van akkers. Dit gebeurt met name daar waar de akker aan een sloot en/of weg ligt. Doordat slechts een klein deel van een perceel met akkerranden kan worden ingevuld is het toepasbaar areaal relatief klein.	0

Op basis van expert judgement scoort deze maatregel ++ op toepasbaar areaal. Deze maatregel kan op een aanzienlijk aandeel van het akkerland worden toegepast, waarmee een score van ++ correct is. Echter is hierbij nog niet gecorrigeerd voor het areaal waarop de akkerranden daadwerkelijk aanwezig zijn. Dit is namelijk slechts een paar procent van het totale perceel. Om deze reden is de score teruggebracht naar 0, wat aangeeft dat de maatregel op een klein deel van het akkerland kan worden toegepast.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Gaat ten koste van gewasareaal	-
Machines, materieel, gebouwen	Met bestaande mechanisatie; geen nieuwe investeringen	0
Arbeid	Aanleg en onderhoud vragen extra arbeid	-
Scholing	Kennis over toepassing (duur), nut en aanleg akkerranden uitbreiden	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Geen grootste effecten akkerranden; liggen aan de rand	+/-
Conflict andere regulering	Nvt	0

³ Zie ook: Atlas natuurlijk kapitaal <https://atlasnatuurlijkkapitaal.nl/koolstofvastlegging-in-bodem-bij-akkerrandenbeheer>

Afzet producten	Effect individuele maatregel is lastig aan te geven; als keurmerk of label biodiversiteit	-
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting	0
Diversificatie	Draagt bij aan diversificatie	+
Gewassaldo (euro/ha)	Saldo lange termijn gunstiger dan de korte termijn, maar onzeker	-
Monitorbaarheid	Met drone	+
Acceptatie NL'se boeren*	Positief bij vergoeding voor akkerrand. Als deze wegvalt/uitblijft wordt acceptatie lastig	+

Toepassing van akkerranden gaat ten koste van het huidig gewasareaal en heeft daarom een negatief effect op het gewassaldo. Het heeft een positief effect op diversificatie.

Mee-koppel effecten

Criterion	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit	Beperkt effect, alleen toename in de akkerrand	0/+
1. Emissies		
CO ₂	Extra koolstofvastlegging in de akkerrand	+
N ₂ O	Verbetering in de akkerrand, overall beperkt effect	0/+
NO ₃	Idem	0/+
2. Bodemvruchtbaarheid	Alleen in de akkerrand, effect voor hele perceel gering	
Fysisch (structuur)	Akkerrand/ perceel	+ / 0
Chemisch (N, P, K)	Akkerrand/ perceel	0 / 0
Biologisch (bodemleven)	Akkerrand/ perceel	+ / 0
3. Waterkwaliteit	Zeker als de akkerrand een buffer is tussen perceel en sloot	+
4. Biodiversiteit	Ondanks alleen in de randen van het perceel toch groot overall effect	++
5. Landschap kwaliteit	Idem	++
6. Klimaatadaptatie	Geen impact	0
Opmerkingen	<p>De grond van de akkerrand kan niet worden ingezet voor landbouwkundige productie en leidt mogelijk tot indirecte landgebruiksverandering</p> <p>De maatregel heeft t.o.v. de andere maatregelen een beperkte potentie aangezien het toepasbaar is op max. 3% van een (akkerbouw) perceel.</p>	

Afwenteling op emissies

Het niet meer ploegen en bemesten van akkerranden heeft lokaal positieve effecten op organische stof en biodiversiteit. Ook komt de verminderde uitspoeling van nutriënten, waaronder NO_3^- , zowel de waterkwaliteit als N_2O uitstoot ten goede. Echter, omdat een gedeelte van het land uit de productie wordt genomen leidt dit mogelijk tot indirecte landgebruik veranderingen, zoals het in gebruik nemen van andere (wellicht minder geschikte) gronden voor landbouw en daarmee verschuiving van emissies naar andere gebieden. Op groter schaalniveau leidt beheer van akkerranden dus niet per se tot emissiereductie (Lesschen et al., 2012).

3.1.6 Vogelakkers

Beschrijving maatregel

De Werkgroep Grauwe Kiekendief is gekomen met de maatregel die ze hebben genoemd vogelakker. Een vogelakker is een volveldse, meerjarige maatregel. Een vogelakker bestaat uit een afwisseling van:

- stroken met een meerjarig groenvoedergewas, zoals rode klaver (zandgrond) of luzerne (kleigrond);
- stroken natuurbraak ingezaaid met een mengsel van grassen, granen en kruiden.

Het aandeel luzerne of klaver in de vogelakker bedraagt ongeveer 75% van de oppervlakte, het aandeel natuurbraak 25%. De stroken met rode klaver of luzerne worden maximaal 3 à 4 keer gemaaid en benut als groenvoer in de veehouderij. Bij het maaibeheer wordt rekening gehouden met de broedcyclus van de veldleeuwerik. Vogelakkers zijn bedoeld voor muizen etende roofvogels en uilen, broedende veldleeuweriken en overwinterende akkervogels.

Waarom een vogelakker?

Sommige soorten akkervogels, zoals de veldleeuwerik en de kwartel, zijn gebaat met volveldse maatregelen zoals een vogelakker. Deze soorten vermijden rand- en overgangssituaties en verblijven liefst in het midden van landbouwpercelen.

Voor de veldleeuwerik is een gebrek aan geschikte en veilige nestgelegenheid een groot knelpunt. Vogelakkers voorzien hierin. Het in vogelakkers gevolgde maaibeheer geeft de veldleeuwerik voldoende tijd om tussen twee maaibeurten succesvol jongen groot te brengen.

Klaver en luzerne hebben weinig last van plaaginsecten, waardoor insecticiden niet nodig zijn. In combinatie met de bloeiende kruiden in de natuurbraakstroken, zijn vogelakkers rijk aan insecten. Dat is gunstig voor vogels die hun jongen met insecten moeten grootbrengen.

In de stroken natuurbraak vestigen zich veldmuizen, belangrijk voedsel voor roofvogels en uilen. Door het maaien van de klaver of luzerne worden de veldmuizen 'vangbaar' gemaakt. De stroken met natuurbraak bieden 's winters in de vorm van zaden voedsel aan overwinterende akkervogels, zoals veldleeuwerik, vink, ringmus en geelgors. (zie ook: Vogelakkers https://www.louisbolk.org/extra/20181220_SAMENVATTING_web.pdf).

De stroken rode klaver of luzerne in vogelakkers hebben een positief effect op de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid. Deze gewassen wortelen namelijk diep, binden stikstof uit de lucht en produceren veel organisch materiaal. Van vogelakkers wordt een product geoogst in de vorm van ruwvoer. Dat maakt het agrarisch natuurbeheer aantrekkelijker.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	De verwachting is dat het effect van de maatregel vergelijkbaar is met het telen van wintergranen en/of groenbemesters.	+
Zekerheid van de effectiviteit	De maatregel wordt met name voor andere doeleinden toegepast. Hierdoor is onderzoek naar het effect van de maatregel op koolstofvastlegging zeer schaars, zowel in Nederland als het buitenland.	-
Toepasbaar areaal	Vogelakkers worden in principe meerjarig ingezaaid (Wiersma et al. 2019), waardoor het perceel voor langere tijd niet beschikbaar is voor oogstbare gewassen. Dit maakt de maatregel een stuk minder interessant voor agrariërs dan andere maatregelen.	+

De zekerheid van het effect van vogelakkers op koolstofvastlegging is vergelijkbaar met akkerranden. Op basis van expert judgement scoort de zekerheid echter een 0. Deze uitspraak is gebaseerd op de aanname dat het effect van de maatregel vergelijkbaar is met wintergranen en/of groenbemester. Echter ontbreekt het aan onderzoek waar het effect van de maatregel op koolstofvastlegging wordt onderzocht. Om deze reden is de score van de zekerheid bijgesteld naar -.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Gaat ten koste van gewasareaal	-
Machines, materieel, gebouwen	Met bestaande mechanisatie; geen nieuwe investeringen	0
Arbeid	Aanleg en onderhoud vragen extra arbeid	0
Scholing	Kennis over toepassing (duur), nut en aanleg vogelakkers uitbreiden	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Vogelakkers vallen buiten de percelen	0
Conflict andere regulering	Nvt	0
Afzet producten	Effect individuele maatregel is lastig aan te geven; mogelijk als onderdeel van bedrijfssysteem of keurmerk	--
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting	+
Diversificatie	Draagt bij aan diversificatie	++
Gewassaldo (euro/ha)	Saldo gunstiger dan de korte termijn, maar onzeker	-- +/-
Monitorbaarheid	Met drone	+

Acceptatie NL'se boeren*	Mede afhankelijk van verkavelingssituatie; op verloren hoeken, als vergoeding wegvalt/uitblijft wordt acceptatie lastig	-
--------------------------	---	---

Hoewel vogelakkers tot meer diversificatie en weerbaarheid tegen klimaatontwrichting leiden, scoren ze bij de overige criteria veelal neutraal tot negatief.

Mee-koppel effecten

Criterion	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit	Bijdrage vooral door luzerne en klaver	0/+
1. Emissies		
CO ₂		+
N ₂ O	Gering effect	0/+
NO ₃		0
2. Bodemvruchtbaarheid		
Fysisch (structuur)	De teelt van klaver en luzerne (op 75% van de oppervlakte) heeft een positief effect op de bodemstructuur omdat het diep wortelende gewassen zijn.	+
Chemisch (N, P, K)	Stikstof levering door klaver en luzerne	+
Biologisch (bodemleven)	Verbeterd als os gehalte toeneemt	+
3. Waterkwaliteit	Verbetering door extensiever grondgebruik	+
4. Biodiversiteit	Goed voor vogels en het daarmee samenhangende ecosysteem	++
5. Landschap kwaliteit	Positief door meer variatie	+
6. Klimaatadaptatie	Geringe impact	0
Opmerkingen	Bij een veldproef met vogelakkers in Flevoland en Texel is een afname in organische stofgehalte gemeten. De combinatie van afvoer van organische stof via geoogste luzerne, mineralisatie van organische stof, en weinig aanvoer van organische stof door beperkte bemesting verklaard waarschijnlijk deze achteruitgang (Wiersma et al., 2019).	

Afwenteling op emissies

Afwenteling op emissie is positief mits het os gehalte van de bodem toeneemt. De effecten van vogelakkers op N₂O emissies lijken gering.

3.1.7 Agroforestry

Beschrijving maatregel

Agroforestry is de combinatie van landbouw met bomen. Hierbij blijft de agrarische productiviteit van dit areaal (grotendeels) gehandhaafd of kan zelfs toenemen, en een aantal maatschappelijke doelen worden gediend.

Agroforestry - mits goed toegepast - geeft naast dit rendement per hectare, betere biodiversiteit, meer landschappelijke kwaliteit en draagt bij aan bodemvruchtbaarheid en een betere waterhuishouding.

De klimaatbijdrage zit in CO₂-vastlegging in boombiomassa en verhoogde CO₂-opslag in de bodem, door diepere doorworteling en verhoogd organische stofgehalte als gevolg van jaarlijkse toevoeging van strooisel. Aanplant van bomen in rijen met daartussen stroken bouwland of grasland. Boomsoorten zijn niet voorgeschreven. Aanbevolen wordt te kiezen voor soorten die hoog scoren op één of meer van de volgende factoren: geschikt voor de grondsoort en waterhuishouding, lichtdoorlatend, snelgroeiend, met rijk strooisel, met vruchten met hoge opbrengst, met hout met hoge opbrengst, geschikt als voedergras.

Populaire soorten zijn walnoot (lichtdoorlatend, en zowel vruchten als hout met hoge opbrengst) en populier (snelgroeiend en lichtdoorlatend). Optionele extra ingrepen: toevoegen mycorrhiza in het plantgat, toevoegen van meststoffen of compost, bescherming tegen wild en/of vee.

De CO₂-vastlegging wordt uitgedrukt in strekkende kilometers van de (doorgaans enkele, maar aaneengesloten) bomenrij en is de eerste 10 jaar na aanplant: 3,1 ton CO₂/kilometer/jaar, daarna: 6,3 ton CO₂/kilometer/jaar (sterke toename is waarschijnlijk het gevolg van de aanname dat het snelgroeiende bomen betreft) (bron: Klimaatmaatregelen met bomen, bos en natuur, Probos).

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Agroforestry, in de akkerbouw met name in de vorm van rijenteelt, kan in potentie veel koolstof vastleggen. Koolstof wordt zowel in de bodem als in de boombiomassa vastgelegd (Peichl et al. 2006; Keur & Selin Norén, 2019; Cardinael et al. 2017).	+++
Zekerheid van de effectiviteit	In Nederland zijn er nog geen resultaten uit langjarige experimenten naar het effect van agroforestry op koolstofvastlegging. Resultaten uit een enigszins vergelijkbaar klimaat zijn positief (Peichl et al. 2006; Cardinael et al. 2017).	0
Toepasbaar areaal	In principe kan agroforestry in de vorm van rijenteelt breed worden toegepast in de Nederlandse akkerbouw. Hiervoor is echter wel een systeemtransitie vereist. Het ligt niet in de lijn der verwachting dat deze maatregel op grote schaal toegepast gaat worden.	+

Op basis van expert judgement scoort deze maatregel een – op de zekerheid, wat impliceert dat er geen studies zijn naar het effect van de maatregel. Literatuuronderzoek heeft echter aangetoond dat er wel studies zijn naar het effect van agroforestry op koolstofvastlegging, met name in het buitenland. Om deze reden is de score 0 toegekend.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Is geheel ander bouwplan	--
Machines, materieel, gebouwen	Mechanisatie voor onderhoud forestry	--
Arbeid	Aanleg en onderhoud vragen extra arbeid	--
Scholing	Kennis over toepassing (duur), nut en aanleg agroforestry uitbreiden	--
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Minder lichtinval, schaduw, lagere opbrengst	-
Conflict andere regulering	Nvt	0
Afzet producten	Effect individuele maatregel is lastig aan te geven; mogelijk als onderdeel van bedrijfssysteem of keurmerk	+/-
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting	++
Diversificatie	Draagt bij aan diversificatie	++
Gewassaldo (euro/ha)	Kosten op korte termijn gaan voor de baten op lange termijn. Lange termijn: saldo gunstiger dan de korte termijn, maar onzeker	--
Monitorbaarheid	Met drone	+
Acceptatie NL'se boeren*	Nadelig effect op opbrengst/omzet; als vergoeding wegvalt/uitblijft wordt acceptatie lastig	--

Agroforestry scoort positief bij weerbaarheid, diversificatie en acceptatie door Nederlandse boeren. Het vraagt relatief veel rond inpassing met betrekking tot machines en materieel, arbeid en scholing.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit	Strooisel heeft hoge EOS	+
1. Emissies		
CO ₂	Extra CO ₂ vastlegging door bomen	+
N ₂ O	Door diepe wortels van de bomen minder emissie	+
NO ₃	Idem voor nitraat uitspoeling	+
2. Bodemvruchtbaarheid	Positief effect op alle aspecten door toename os/ strooisel	
Fysisch (structuur)		+

Chemisch (N, P, K)		+
Biologisch (bodemleven)		+
3. Waterkwaliteit	Positief t.o.v. intensief agrarisch gebruik	+
4. Biodiversiteit	Betere bodemvruchtbaarheid + extensief grondgebruik	+
5. Landschap kwaliteit	Positief door meer variatie	++
6. Klimaatadaptatie	Gering effect	0/+
Opmerkingen		

Afwenteling op emissies

Agroforestry leidt tot vastlegging van CO₂ door het aanplanten van bomen tussen gewassen. Daarnaast leiden de diepere wortels van bomen ook tot afname van N₂O emissies. Boomwortels nemen namelijk NO₃⁻ en water op en verminderen daarmee N₂O emissies gerelateerd aan denitrificatie. Echter leidt agroforestry wel tot minder ruimte voor gewasproductie op een perceel, wat kan leiden tot verschuiving van gewasproductie, en emissies, naar andere gebieden (Guenet et al., 2020).

3.1.8 Niet-kerende grondbewerking

Beschrijving maatregel

Bij niet-kerende grondbewerking wordt de bodem met schijven, tanden of woelers oppervlakkig gescheurd en verkruid, waardoor de bovengrond los en kruimelig wordt. Een groot deel van de gewasresten blijft aan de oppervlakte. Dit wordt ook wel gereduceerde grondbewerking, 'reduced tillage' of 'conservation tillage' genoemd. Ploegen bevordert de afbraak van organische stof door beluchting van de bodem, en zorgt voor fysieke afbraak van gewasresten en verstoring van het bodemleven. Niet-kerende grondbewerking vermindert de afbraak van organische stof, en heeft een positief effect op het bodemleven. Daarnaast verbetert de structuur en leidt niet-kerende grondbewerking tot minder verdichting. Verminderde grondbewerking brengt echter ook risico's met zich mee, doordat gewasresten op het land blijven liggen. Dat kan leiden tot een verhoogd risico op bovengrondse pathogenen. Bovendien is niet-kerende grondbewerking niet bij alle gewassen mogelijk. Voor knolgewassen en bieten is niet-kerende grondbewerking bijvoorbeeld minder geschikt (Van der Weide et al., 2008).

Daarnaast heeft NKG als risico dat de bodem verdicht of wel verslempd bij bepaalde grondsoorten, vooral lichte klei- en lössgronden zijn gevoelig voor slomp. De gevoeligheid voor verslemping wordt vooral veroorzaakt door een laag organisch stofgehalte. Bij voldoende organische stof in de bodem, komt verslemping minder snel voor. Ook het lutumgehalte is bepalend. Problemen doen zich vooral voor op gronden met lutumpercentages tussen de 11 en 20%. Gronden met meer dan 20% lutum verslempen nauwelijks. Ook gronden met weinig lutum verslempen bijna niet.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Zowel wetenschappelijke literatuurreviews (Haddaway et al. 2017) als resultaten uit de Nederlandse LTE's (Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020) tonen geen positief effect op koolstofvastlegging als gevolg van niet kerende grondbewerking in de akkerbouw.	0

Zekerheid van de effectiviteit	Verschillende studies bevestigen de resultaten uit bovengenoemde studies. Echter zijn er ook studies die wel een positief effect lijken te vinden. We begrijpen nog niet voldoende van wat er in de bodem gebeurt bij ploegen en niet kerende grondbewerking om definitief te zeggen dat de maatregel niet bijdraagt aan het klimaatdoel.	+
Toepasbaar areaal	De maatregel kan in combinatie met een groot deel van de akkerbouwgewassen worden toegepast.	+++

Op basis van expert judgement is een score van ++ toegekend aan toepasbaar areaal. Onderzoek naar het toepasbaar areaal in Koopmans et al. 2020 toont echter aan dat de maatregel op nagenoeg al het akkerland kan worden toegepast. Om deze reden is de score voor toepasbaar areaal aangepast naar +++.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	A	B
Inpassing huidig bouwplan	In principe inpasbaar, maar afhankelijk van bouwplan en bodem	+/-	+/-
Machines, materieel, gebouwen	Investeren in ecoploeg en dergelijke	-	-
Arbeid	Vervangen gewoon ploegen	-	-
Scholing	Kennis is aanwezig	-	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Slemp leidt tot teeltschade	+/-	0
Conflict andere regulering	Nvt	0	0
Afzet producten	Nvt	0	0
Weerbaarheid klimaat	Maatregel draagt bij aan weerbaarheid tegen klimaatontwrichting	+/-	+/-
Diversificatie	Maatregel levert geen diversificatie	0	0
Gewassaldo (euro/ha)	Nauwelijks nadelig effect op saldo	+/0	+/0
	Saldo op lange termijn gunstiger dan de korte termijn, maar onzeker	+/0	+/0
Monitorbaarheid	Niet direct zichtbaar; kortdurende handeling; administratie	-	-
Acceptatie NL'se boeren*	Acceptatie zal afhankelijk zijn van bouw/teeltplan; als NKG leidt tot meer slemp zal men deze bewerking vermijden	-	+/-

A: slempgevoelige grond; B: niet slempgevoelige grond.

Niet-kerende grondbewerking scoort voor geen enkel criterium eenduidig positief, wel voor een aantal negatief. Andere scores zijn neutraal of +/1.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	A	B
0. OS toename/ kwaliteit	Geen toename os wel minder afbraak	0/+	0/+
1. Emissies			
CO ₂	Wisselend effect, zie toelichting hieronder	-	+
N ₂ O	Risico bij slempegevoelige gronden	-	+
NO ₃	Idem	-	0/+
2. Bodemvruchtbaarheid			
Fysisch (structuur)	Kans op verslemping/dicht slaan grond	--	+
Chemisch (N, P, K)	Gering effect als os gehalte toeneemt	0	0/+
Biologisch (bodemleven)	Kan 2 kanten op	-	+
3. Waterkwaliteit	Risico bij slempegevoelige gronden	-	0/+
4. Biodiversiteit	Positief door minder bewerking	+	+
5. Landschap kwaliteit	Geen effect	0	0
6. Klimaatadaptatie	Positief t.o.v. ploegen als water bufferend vermogen toeneemt en de CO ₂ -uitstoot verminderd	-/0	0/+
Opmerkingen	Deze maatregel niet zondermeer toepassen maar in combinatie met aanvullend onderzoek van betreffende bodem i.r.t. slempegevoeligheid		

A: slempegevoelige grond; B: niet slempegevoelige grond.

Afwenteling op emissies

Minder ploegen en niet-kerende grondbewerking (NKG) vermindert de afbraak van organisch materiaal en komt het bodemleven en de bodemstructuur en watervasthoudend vermogen van de bodem ten goede (Lesschen et al., 2012). Lesschen et al. (2012) concludeert dat NKG geen effect heeft op emissies. Echter zijn de effecten van NKG op CO₂ en N₂O emissies sterk variabel tussen studies en gebieden (Sun et al., 2020). In droge gebieden kan de toename in vochtgehalte in de bodem positieve effecten hebben op organische stofgehalte en gewasopbrengsten, maar in nattere gebieden is dit effect gering en kan een verhoging van bodemvochtigheid zelfs leiden tot een verhoging van CO₂ en N₂O emissies (Desjardins et al., 2005; Hutchinson et al., 2007). Op slempegevoelige gronden⁴ is er bij NKG in vergelijking met ploegen door verslemping een grotere kans op toename van CO₂ en N₂O emissie.

⁴ slempegevoelige grond = bovengrond / bouwvoor die makkelijk verslempet. De slempegevoeligheid is het grootst bij lutumpercentages van 8 - 17%.

3.2 Maatregelen Veehouderij

3.2.1 Behoud grasland; het voorkomen van scheuren van grasland

Beschrijving maatregel

Grasland bouwt organische stof op: uit proeven in België bleek dat het organische stofgehalte na 36 jaar grasland in de bovenste 10 cm. 6,1% was, terwijl het onder permanent bouwland 2,1% was. Het organische stofgehalte bij een vruchtwisseling van 3 jaar maïs en 3 jaar gras zat daar tussenin (3,4%) (Van Eekeren et al. 2007). Wanneer grasland gescheurd wordt, komt er veel lucht in de bodem. Daardoor kan de organische stof snel afbreken. Bovendien is het verstoren van de zode ongunstig voor het bodemleven. Vooral regenwormpopulaties kunnen sterk teruglopen, terwijl het minstens vijf jaar duurt voor ze zich weer helemaal hebben hersteld. In blijvend grasland kunnen regenwormen zorgen voor een goede structuur en bijdragen aan waterinfiltratie. Wanneer het grasland voldoende produceert, is het daarom aan te bevelen het grasland intact te laten en niet te ploegen. Het scheuren van grasland is door wetgeving aan banden gelegd: op zand- en lössgrond mag grasland alleen gescheurd worden tussen 1 februari en 10 mei. Op klei- en veengrond mag dat tot 15 september. Op alle grondsoorten moet direct na het scheuren een stikstofbehoefte gewas ingezaaid worden (LNV-loket, 2012). De regels voor het scheuren van grasland zijn opgesteld met het oog op het beperken van uitspoeling van stikstof, maar zijn ook gunstig voor het beperken van N₂O emissies: wanneer in het voorjaar gescheurd wordt zijn deze lager dan wanneer in de herfst gescheurd wordt (Kasper et al. 2002).

‘De belangrijkste reden waarom in de laatste 10 jaar door velen meer nadruk wordt gelegd op het handhaven of verhogen van het aandeel blijvend grasland, is vooral het streven naar meer bodembiodiversiteit’, zegt Jelle Zijlstra, projectleider Bedrijfsmanagement Melkveehouderij bij Wageningen University & Research. ‘Met blijvend grasland bevordert je het ontstaan van een natuurlijk bodemecosysteem dat ondersteunend is voor de grasproductie. Er ontstaat - door weinig grondbewerking - ondergronds een stabiel milieu, waarin het bodemleven zich steeds verder kan ontwikkelen. Hierdoor neemt de bodembiodiversiteit en hiermee ook het organische stofgehalte en de bodemvruchtbaarheid toe. Het bodemleven werkt – net als de koeien - voor de boer. In dit geval aan een hoge gewasproductie en aan het vasthouden van nutriënten in het winterseizoen.’ Scheuren van grasland heeft een negatief effect op de bodemkwaliteit, direct door verstoring en indirect door de effecten die samenhangen met de daling van de bodemkoolstofvoorraad.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Het niet scheuren van grasland, oftewel het laten toenemen van de leeftijd van grasland, heeft in meerdere Nederlandse LTE's tot een significantie toename van bodemkoolstof geleid (Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020). De resultaten zijn met name significant op kleigronden. Op zandgronden tonen de resultaten een neutraal effect.	+++ ⁵
Zekerheid van de effectiviteit	De zekerheid van de effectiviteit is met name op de kleigronden vrij hoog. Dit is onderbouwd met meerdere Nederlandse LTE's. Op zandgronden is de zekerheid kleiner, deels doordat hier minder LTE's voor beschikbaar zijn en doordat het effect kleiner lijkt en dus niet altijd significant is.	++

⁵ Resultaten voor CO₂-vastlegging zijn significant positief op kleigronden. Voor zandbodems is tot nu toe een neutraal effect waargenomen.

Toepasbaar areaal	In principe kan de maatregel op al het Nederlandse grasland worden toegepast (tijdelijk en permanent). Echter wordt grasland vaak al zo min mogelijk gescheurd, waardoor de additionele toepassing lager kan uitvallen,	++
-------------------	---	----

Op basis van expert judgement scoort het toepasbaar areaal +++, wat impliceert dat de maatregel op nagenoeg al het grasland kan worden toegepast. Hierbij is echter geen rekeningen gehouden met het feit dat de maatregel in veel gevallen al wordt toegepast en boeren al zo min mogelijk scheuren. Dit betekent dat het areaal waarop de maatregel additioneel kan worden toegepast afneemt. Om deze reden is een score van ++ toegekend.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	A	B
Inpassing huidig bouwplan	Deze maatregel staat in principe los van het bouwplan	0	0
Machines, materieel, gebouwen	Minder scheuren geeft minder kosten voor machines/loonwerk	+	+
Arbeid	Minder scheuren geeft minder werk	+	+
Scholing	Mogelijk kennisvergaring nodig op gebied van graslandonderhoud zodat grasland in goede conditie blijft	-	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Geen effect verwacht (bij goed graslandbeheer)	0	0
Conflict andere regulering	Geen	-	-
Afzet producten	Meer blijvend grasland kan een plus op de melkprijs opleveren binnen duurzaamheidsconcepten (on the way to planet proof bijvoorbeeld)	+	+
Weerbaarheid klimaat	Minder emissie als gevolg van het minder scheuren van grasland	+ / 0	+
Diversificatie	Geen extra soorten gewassen	0	0
Gewassaldo (euro/ha)	Korte en langer termijn: minder voordeel van verbetering in veredeling, al kan dat ook wel via doorzaai en dus niet scheuren. Goed onderhouden oud grasland kan echter ook hoge productie geven.	0	0
Monitorbaarheid	Blijvend grasland is via perceel registratie wel in beeld, maar als grasland wordt gescheurd en opnieuw met gras wordt ingezaaid niet.	-	-
Acceptatie NL'se boeren*	Afhankelijk van de situatie. Voor boeren die grond uitruilen (voor bijv. aardappelen of bloembollen) is het een beperking.	-	+ / -

A: Leeftijd grasland >10 jaar en weinig productief; B: Leeftijd grasland < 10 jaar of hoogproductief

Grasland minder vaak scheuren is op zich vrij goed inpasbaar in het bouwplan, maar goed graslandmanagement is wel een vak apart. De afgelopen jaren is daar meer aandacht voor gekomen en dat kan helpen om de noodzaak tot graslandvernieuwing te verminderen. Tegelijk maakt deze maatregel wisselbouw met akkerbouwgewassen lastiger.

Bij veel boeren is er weinig acceptatie behoud grasland langer dan 5 jaar vanwege regelgeving; als landelijk aandeel blijvend grasland meer dan 5% daalt, kan dit consequenties hebben voor individuele bedrijven.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	A	B
0. OS toename/ kwaliteit	Geen toename, wel (veel) minder afbraak t.o.v. ploegen	+	+
1. Emissies			
CO ₂	Behoud t.o.v. ploegen	++	++
N ₂ O	Oud en minder productief grasland met hoog os heeft meer kans op emissie	-	+
NO ₃	Variabel, zie toelichting hieronder	-/+	-/+
2. Bodemvruchtbaarheid	t.o.v. ploegen		
Fysisch (structuur)		+	+
Chemisch (N, P, K)		+	+
Biologisch (bodemleven)		+	+
3. Waterkwaliteit	Variabel	-/+	-/+
4. Biodiversiteit	Minder verstoring	+	+
5. Landschap kwaliteit		+	+
6. Klimaatadaptatie	Gering positief effect	0/+	0/+
Opmerkingen	<p>Scheuren van grasland heeft veel negatieve effecten, grote winst in CO₂-vastlegging eerste tien jaar daarna afnemende meeropbrengst. Naarmate os hoger in ouder grasland meer kans op N₂O emissie. En naarmate grasland ouder (>10 jaar) en minder productief is, is er een grotere kans op uitspoeling NO₃</p> <p>Maatregel met potentieel grote impact omdat ca 1/3 van het NL-landbouwareaal uit blijvend grasland bestaat, en ca 1/4 is in gebruik voor tijdelijk grasland en snijmais</p>		

A: Leeftijd grasland >10 jaar en weinig productief; B: Leeftijd grasland < 10 jaar of hoogproductief

Afwenteling op emissies

Het scheuren van grasland leidt tot een verlies van organische stof (Lesschen et al., 2012) en N₂O emissies gelijk aan 1.8-5.5 ton CO₂-eq. per ha (Vellinga et al., 2004). Minder frequent scheuren en scheuren in het voorjaar vermindert N₂O emissies (Lesschen et al., 2012; Vellinga et al., 2004). Ploegen brengt enerzijds meer zuurstof in de bodem wat de afbraak van organisch materiaal en emissies verhoogt, anderzijds brengt ploegen organisch materiaal dieper in de bodem waar de afbraak langzamer gaat. Op de korte termijn kan het scheuren van grasland de afbraak van organisch materiaal en CO₂ en N₂O emissies verhogen. Op de langere termijn heeft het nieuw ingezaaide gras een hogere productiviteit waardoor de hoeveelheid bodem organische stof kan toenemen. Echter geldt: hoe zwaarder de verstoring van de bodem, hoe hoger de organische stof verliezen en emissies op de korte termijn zijn. Overzaaien kan daarom

verliezen beperken en op de lange termijn leiden tot hogere opbrengsten, net als scheuren in het voorjaar. Daarnaast zijn er een paar belangrijke verschillen. Op zand is de NO_3^- uitspoeling, en dus indirecte N_2O emissies, dominant, terwijl op klei directe N_2O emissies dominant zijn (Kayser et al., 2018). Het bewerken van graslanden op klei leidt tot 25% meer CO_2 -eq. emissies in vergelijking tot graslanden op zand, omdat met name de N verliezen hoger zijn voor klei (Vellinga et al., 2004). Verder doet ook de leeftijd van het grasland ertoe, aangezien graslanden over tijd meer organische stof opbouwen. Het scheuren van oudere graslanden leidt dan ook tot grotere C en N verliezen in vergelijking tot jongere graslanden (Vellinga et al., 2004). Voor zandgronden is het tegenwoordig verplicht om in het voorjaar te scheuren of niet te scheuren (Lesschen et al., 2012). Echter liet een experiment op een zandbodem in Duitsland zien dat de CO_2 emissies hoger zijn in het voorjaar, terwijl N_2O emissies en NO_3^- uitspoeling hoger zijn bij scheuren in het najaar (Reinsch et al., 2018).

3.2.2 Toedienen organische meststoffen

Beschrijving maatregel

Voor het op peil houden of verbeteren van de bodemvruchtbaarheid is een regelmatige aanvoer van organische stof in de vorm van compost of organische mest van groot belang. Voor grasland wordt doorgaans geen compost toegevoegd en wordt alleen gekeken naar vaste mest en drijfmest.

De organische stof die door organische meststoffen wordt aangevoerd wordt voor een belangrijk deel snel weer afgebroken, drijfmest wordt bijvoorbeeld veel sneller afgebroken dan vaste mest en vaste mest heeft in vergelijking met drijfmest een hoger EOS en hogere gehalte van P en K.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO_2 /ha/jaar)	In Koopmans et al. (2020) wordt een positief effect gevonden door het toedienen van organische meststoffen. De resultaten tonen echter wel dat verschillende meststoffen een verschillende potentie hebben.	++
Zekerheid van de effectiviteit	Verskillende studies tonen het positieve effect van de maatregel aan. Deze studies zijn met name gericht op de akkerbouw. In Nederland zijn momenteel geen langjarige studies in de veehouderij beschikbaar. Door de grote variatie in meststoffen neemt de onzekerheid toe. Ook moet er rekening worden gehouden met het feit dat wanneer bijvoorbeeld compost in de veehouderij wordt toegepast deze niet op een andere plek kan worden toegepast zoals dat nu wellicht het geval is.	+
Toepasbaar areaal	In principe kan de maatregel op zowel het areaal grasland als op de voedergewassen worden toegepast. In Nederland worden al veel organische meststoffen toegediend. Daarnaast is het aanbod van de organische meststoffen zoals compost en vaste mest beperkt.	+

De zekerheid van de maatregel scoort op basis van expert judgement ++, wat impliceert dat de zekerheid van het effect groot is en is aangetoond in Nederlandse studies. Deze uitspraak is gebaseerd op proeven in de akkerbouw. Op dit moment zijn er echter geen proeven naar de toepassing van organische meststoffen in de veehouderij voorhanden. Omdat niet kan worden uitgesloten dat het effect van de maatregel in de veehouderij gelijk is aan de akkerbouw is de score daarom aangepast naar +.

Op basis van expert judgement is het toepasbaar areaal van deze maatregel gescoord met +++. Rekening houdend met het areaal waarop deze maatregel reeds wordt toegepast en de beperkte beschikbaarheid van organische meststoffen is deze score lager ingeschat naar +.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	DM	VM
Inpassing huidig bouwplan	Deze maatregel staat in principe los van het bouwplan	0	0
Machines, materieel, gebouwen	Meer organische mest toedienen geeft meer kosten voor machines/loonwerk dan bij toedienen van (alleen) kunstmest. Bij vaste mest telt dit nog wat zwaarder dan bij drijfmest.	+/-	-
Arbeid	Meer organische mest toedienen geeft meer werk dan toedienen van (alleen) kunstmest. Bij vaste mest telt dit nog wat zwaarder dan bij drijfmest.	+/-	-
Scholing	Organische meststoffen worden al toegepast in de huidige situatie. Mogelijk dat vaste mest nog wat meer kennis vraagt.	0	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Geen effect verwacht	0	0
Conflict andere regulering	Gebruiksnorm dierlijke mest is limiterend. Daarboven mag alleen N-kunstmest bemest wordt tot de N-gebruiksnorm voor werkzame stikstof.	--	--
Afzet producten	Geen effect op afzet, mogelijk wel bij keurmerken die afzet van vaste mest of compost belonen	0	+/0
Weerbaarheid klimaat	Meer vastlegging organische stof, minder verbranding van fossiele energie voor kunstmestproductie.	+	++
Diversificatie	Geen extra soorten gewassen	0	0
Gewassaldo (euro/ha)	Korte en lange termijn: minder aankoop van kunstmest, besparing op mestafvoerkosten of juist extra mestaanvoeropbrengsten in geval van drijfmest; aankoop van vaste mest/compost kost geld.	+	0
Monitorbaarheid	In bemestingsplan, verplicht bij derogatie	+	+
Acceptatie NL'se boeren*	Vrijwel alle melkveehouders zullen er waarschijnlijk geen probleem mee hebben wanneer ze meer organische mest mogen toepassen in plaats van kunstmest. Dat vraagt wel aanpassingen binnen het huidige stelsel met gebruiksnormen.	++	+/0

DM: drijfmest; VM: vaste mest/ compost

Deze maatregel is op zich wel populair bij boeren, maar door wetgeving wordt de maximale dosering per ha beperkt. De toepassing van vaste mest is weer in opkomst, maar vraagt meer maatwerk en kennis. Aan de andere kant draagt deze vorm waarschijnlijk ook meer bij aan klimaatmitigatie en bodemkwaliteit.

Mee-koppel effecten

Criteriaum	Toelichting	DM	VM
0. OS toename/ kwaliteit	EOS: drijfmest lager dan van vaste mest/ compost	+	++
1. Emissies			
CO ₂	Vooraf bij drijfmest kans op emissie	-	0/+
N ₂ O	Vooraf bij drijfmest kans op emissie	-	+
NO ₃	Vooraf bij drijfmest kans op emissie	-	-/0
2. Bodemvruchtbaarheid			
Fysisch (structuur)	Compost en vaste mest heeft hoge Eos	0	++
Chemisch (N, P, K)	Afhankelijk van de hoeveelheid die wordt toegediend	+	+
Biologisch (bodemleven)	Afhankelijk van de wijze van toedienen	-/0	++
3. Waterkwaliteit	Vooraf bij drijfmest kans op uitspoeling	-	+
4. Biodiversiteit	Compost en vaste mest dragen meest bij	-	+
5. Landschap kwaliteit	Geen effect	0	0
6. Klimaatadaptatie	Geen tot gering positie effect, bij vaste mest/ compost beter water bufferend vermogen door betere bodemvruchtbaarheid	0	0/+
Opmerkingen	<p>Aanvoer van compost en/of vaste mest heeft door NPK een gunstig effect op de gewasgroei</p> <p>Vaste mest/ compost verbeterd de bodemkwaliteit en waterhuishouding, ook behoorlijke klimaatwinst als de kunstmest vervangt. Aanbod vaste mest/compost is echter beperkt.</p> <p>Toedienen van drijfmest heeft veel negatieve afwenteling, i.t.t. vaste mest/ bewerkte mest/ compost. Grotere winst naarmate de kunstmest wordt vervangen. Echter aanbod vaste mest/compost is beperkt.</p>		

DM: drijfmest; VM; vaste mest; CP: compost.

Afwenteling op emissies

Net als bij gewasresten, hangen N₂O emissies van compost en ruwe mest af van het C/N-ratio, waarbij een lager C/N-ratio leidt tot hogere N₂O emissies. Gecomposteerde mest leidt over het algemeen tot lagere CO₂ en N₂O emissies dan ruwe mest, omdat gecomposteerde mest een hoger gehalte aan stabiele C bevat. Ruwe mest is makkelijker afbreekbaar wat leidt tot hogere N₂O en CO₂-emissies, en daarmee potentieel een afname van organische stofgehalte. Jaarlijkse toevoeging van compost leidt tot een hoger organisch stofgehalte, met name in stabiele vorm (De Rosa et al., 2018). Desondanks wordt de toediening van compost en mest niet altijd gezien als een mitigatie strategie aangezien er geen atmosferische CO₂ wordt vastgelegd of emissies worden voorkomen. Al kan het gebruik van organische bemesting wel kunstmestgebruik doen verminderen en de daaraan gerelateerde N₂O en CO₂-emissies (Guenet et al., 2020).

3.2.3 Kruidenrijk grasland

Beschrijving maatregel

Kruidenrijk grasland (en specifieke bemesting) kan zorgen voor meer koolstofvastlegging omdat het diep wortelt, het zorgt voor betere droogte resistentie, meer biodiversiteit, gezondere rantsoenen en betere mest.

Beworteling is een belangrijke aanvoerpost van organische stof. De biomassa van beworteling van grasland kan variëren tussen 0,9 en 6,2 ton droge stof per ha op zandgrond (van Eekeren et al, ongepubliceerde data), en 4,1 en 13,9 ton droge stof per ha op kleigrond (van Eekeren et al., 2016c). Onderzoek naar blijvend grasland op kleigrond laat een duidelijk verband zien tussen organische stofgehalte en wortelmassa in de bodem: hoe hoger de wortelmassa, hoe hoger het organische stofgehalte (Iepema et al, 2016).

Grassoorten Engels raaigras, kropaar en rietzwenkgras hebben wat betreft totale biomassa dezelfde hoeveelheid wortels, maar rietzwenkgras heeft meer wortels op diepte (Deru et al., 2011). Aangezien er dieper in de bodem minder zuurstof is zou dit kunnen betekenen dat deze wortelresten langzamer afbreken en het organische stofgehalte stijgt. Daarnaast is de variatie in beworteling van rassen Engels raaigras interessant: er zijn rassen Engels raaigras die een factor twee in beworteling verschillen, met dezelfde bovengrondse productie (Deru et al., 2014).

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Het verwachtte effect van kruidenrijk grasland is relatief laag. De vraag is hoeveel meer koolstof het naar de bodem brengt t.o.v. conventioneel grasland.	0
Zekerheid van de effectiviteit	Er is tot op heden nog geen wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd naar het effect van kruidenrijk grasland op bodemkoolstof. In het LTE-project in Slim Landgebruik is in 2018 een nulmeting uitgevoerd. Pas na een paar jaar kan hieruit worden bepaald of het bodemkoolstofgehalte is toegenomen of niet.	-
Toepasbaar areaal	De maatregel kan zowel op permanent als tijdelijk grasland worden toegepast.	++

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Deze maatregel staat in principe los van het bouwplan	0
Machines, materieel, gebouwen	Bij inzaai/doorzaai van een kruidenrijk mengsel zijn er meer kosten voor machines/loonwerk in vergelijking met het grasland gewoon grasland laten. Bij kruidenrijk grasland door verschralling geldt dat niet en zou het een score 0 zijn.	-/0
Arbeid	Inzaai/doorzaai van een kruidenrijk mengsel kost meer arbeid in vergelijking met het grasland gewoon grasland laten. Bij verschralling is dat niet het geval.	-/0
Scholing	Praktijkkennis opdoen over hoe dit type grasland te bewerken en te onderhouden	-

Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Meer risico op 'probleemkruiden', zoals ridderzuring of Jacobskruidskruid.	-
Conflict andere regulering	Geen conflict	+
Afzet producten	Kruidenrijk grasland kan plus op melkprijs opleveren binnen duurzaamheidsconcepten (on the way to planet proof bijvoorbeeld)	+
Weerbaarheid klimaat	Meer en/of diepere beworteling. Minder droogteschade. Aan de andere kant ook minder gewasopbrengst doordat kruiden qua opbrengst niet kunnen concurreren met Engels raaigras. Daardoor ook meer voeraankoop nodig.	+
Diversificatie	Kruidenrijk grasland is extra gewas met veel verschillende soorten	+
Gewassaldo (euro/ha)	Korte termijn: gewasopbrengst kruidenrijk kan nog niet concurreren met grasopbrengst	0
	Lange termijn: Op termijn lagere graslandopbrengst (als ook minder bemest wordt op kruidenrijk grasland)	-
Monitorbaarheid	Gemakkelijk vast te leggen. Maar hoe te controleren? Wanneer is het kruidenrijk, stel je eisen aan aantal voorkomende soorten en de mate waarin?	-
Acceptatie NL'se boeren*	Wisselend. Waarschijnlijk zijn extensievere melkveehouders positiever over deze maatregel dan intensievere waar de druk op voerproductie groter is.	+/-

Dit is nog een nieuwe maatregel, dus veel boeren zullen nog de kat uit de boom kijken en er kennis over op moeten doen. Een betere weerbaarheid tegen droogteschade kan een belangrijke reden zijn om deze maatregel te overwegen.

Mee-koppel effecten

Criterion	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit	Diepe beworteling -> aanvoerpost os	+
1. Emissies		
CO ₂	Extra koolstofvastlegging	+
N ₂ O	Licht positief effect door betere/ diepere beworteling	0/+
NO ₃	Licht positief effect, zie toelichting hieronder	0/+
2. Bodemvruchtbaarheid		
Fysisch (structuur)	Verbetering door wortelgangen.	+
Chemisch (N, P, K)	Geen effect	0
Biologisch (bodemleven)	Positief effect	+
3. Waterkwaliteit	Gering positief effect	0/+
4. Biodiversiteit		+

5. Landschap kwaliteit		++
6. Klimaatadaptatie	Geen effect	0
Opmerkingen	Met name structuurverbetering van de bodem en verbetering van bodemleven	

Afwenteling op emissies

Kruidenrijk grasland kan door een combinatie van fijne en grove wortels, met verschillende wortelstructuren en -dieptes organische stof opbouwen in de bodem. Eén van de belangrijkste doelen van kruidenrijk grasland is het behouden en bevorderen van biodiversiteit, maar kruidenrijk grasland kan ook bijdragen aan verbetering van de bodemkwaliteit. De verschillende wortelstructuren en -dieptes kunnen ook de uitspoeling van NO_3^- , en daarmee N_2O emissies, verminderen. De mate waarin C wordt vastgelegd hangt af van hoe het kruidenrijk grasland wordt beheerd en de samenstelling ervan, wat ook effect heeft op de stikstof emissies (Van Ekeren & Visser, 2019).

3.2.4 Mais-gras wisselteelt

Beschrijving maatregel

Onder deze maatregel wordt verstaan dat 60% van het perceel zal bestaan uit permanent gras, 20% grasklaver en 20% uit mais (driejarige wisselteelt).

Rouleren van gras en mais draagt bij in behoud van organische stof, opbrengst gewas en optimale verdeling van mest. Het management vraagt dan wel aanpassing en een bouwplan is nodig. De voordelen van rouleren van mais met gras, in de meeste gevallen toegepast als drie jaar gras en drie jaar mais, zijn onmiskenbaar. Een maisteelt onttrekt in de regel organische stof aan de bodem, terwijl grasland juist organische stof opbouwt. Door afwisseling wordt op de percelen waar mais verbouwd wordt een soort van 'steady state' gecreëerd op dat vlak en wel op een hoger niveau dan bij continueelt.

Bij jarenlange maisteelt op hetzelfde perceel loopt de opbrengst terug met soms wel 20%, zo is te lezen in het onderzoeksrapport 'Gras en mais in vruchtwisseling'. Dat komt door een teruglopend gehalte aan organische stof in de bodem en uitspoeling van voedingsstoffen. Bovendien spelen kiemschimmels een rol (bron: www.groenkennisnet.nl).

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO_2 /ha/jaar)	Door uit te gaan van het 60-20-20 principe, waarbij mais (20%) en gras (20%) elkaar afwisselen, is de verwachting dat bodemkoolstof toeneemt doordat het aandeel grasland toeneemt t.o.v. conventioneel (40% mais).	+
Zekerheid van de effectiviteit	Het effect van de maatregel is nog niet voldoende onderbouwd en op bedrijfsniveau beoordeelt. In het LTE-project van Slim Landgebruik is in 2019 een nulmeting uitgevoerd.	+
Toepasbaar areaal	In principe kan de maatregel breed worden ingezet op Nederlandse (grondgebonden) veehouderijbedrijven.	+++

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Hier wel verschuiving van gewassen over percelen, in referentiesituatie blijft alles hetzelfde (gras blijft gras, maïs blijft maïs), maar niet moeilijk	+
Machines, materieel, gebouwen	Als de referentie 80% permanent grasland en 20% continueelt maïsland is (dat past ook binnen derogatie), dan verdubbelt bij wisselteelt het areaal bewerkte grond a)	-
Arbeid	Extra grondbewerking vraagt ook extra arbeid	-
Scholing	Vraagt geen nieuwe kennis	0
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Geen effect verwacht	0
Conflict andere regulering	Geen conflict	0
Afzet producten	Geen effect op afzet	0
Weerbaarheid klimaat	Meer opbouw of in ieder geval minder afbraak van organische stof. Hogere opbrengsten en daardoor minder voeraankoop nodig. b)	+
Diversificatie	Grasklaver is een nieuw gewas in het bouwplan.	0
Gewassaldo (euro/ha)	Korte termijn: Meer kosten (onder andere zaaizaad), maar mogelijk ook hogere opbrengsten.	0
	Lange termijn: Bij continueelt van maïs zou snijmaïsoopbrengst op lange termijn geleidelijk kunnen dalen, dat is nu niet het geval.	+
Monitorbaarheid	Via Perceelregistratie in Gecombineerde opgave inzichtelijk	++
Acceptatie NL'se boeren*	Afhankelijk van de situatie. Geeft wel extra beperkingen voor sommige boeren. Niet alle percelen zijn bijv. geschikt voor maïsteelt. Wanneer maïs dan in roulatie wordt geteeld, bestaat de kans dat een groter deel van de huiskavel voor maïsteelt nodig is, terwijl een melkveehouder die misschien liever in gras houdt ten behoeve van weidegang.	+/-

- a. a. Als de referentie 60% permanent gras en 40% maïs is, wordt jaarlijks 40% van de grond bewerkt, bij een wisselteelt van 60% permanent gras, 20% grasklaver en 20% maïs in 3-jarige roulatie gemiddeld is dat slechts 27% (de vergelijking gaat enigszins mank, in het ene geval is 40% van het areaal maïs en in het andere geval 20%). Stel een bedrijf heeft 100 hectare en we telen afwisselend maïs en gras-klaver elk in 3-jarige roulatie op 20 ha:
- Jaar 1: alleen de 20 ha maïsland hoeft bewerkt te worden (bij het inzaaien en na het oogsten);
 - Jaar 2: alleen de 20 ha maïsland hoeft bewerkt te worden (idem);
 - Jaar 3: de 20 ha maïsland wordt bewerkt en ingezaaid met grasklaver. Daarnaast wordt 20 ha grasklaver bewerkt er daar wordt maïs gezaaid. Grasklaver inzaai kan ook na de maïs in hetzelfde jaar uitgevoerd worden en dat geeft dan twee keer een bewerking van dezelfde oppervlakte in één jaar. Grasklaver inzaai direct na de maïs zal alleen slagen als de maïs tijdig van het land af is.
- In 3 jaar wordt dus 80 ha bewerkt van de 300 en dat is 27%.
- b. Maar als grasland steeds weer gescheurd wordt, wat betekent dat voor de organische stofbalans? Bij wisselteelt zullen de verschillen in o.s. tussen de percelen op een bedrijf minder groot worden. Bij continueelt

van mais treedt de grootste daling van het o.s.-gehalte op. Waarschijnlijk is een meer gelijkmatige ontwikkeling van o.s. tussen percelen gunstiger is voor bijvoorbeeld gemiddelde opbrengsten per ha op bedrijfsniveau dan wanneer de verschillen in o.s.-gehalte tussen percelen groter worden.

Deze maatregel is vooral interessant, omdat er mogelijk opbrengstverhoging mee gepaard gaat en er minder voer aangekocht hoeft te worden. Grasklaver legt veel koolstof en stikstof vast, maar bij scheuren raakt men deze weer gedeeltelijk kwijt. De vraag is dan hoe effectief deze maatregel over het totale bouwplan zal zijn. De percelen waar oorspronkelijk continueelt mais werd toegepast, gaan er in ieder geval qua organische stof balans op vooruit.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit	In vergelijking met continu teelt van mais extra vastlegging van organische stof	+
1. Emissies		
CO ₂	Vooraf effect grasklaver	+
N ₂ O	Afhankelijk van de grondsoort	+
NO ₃	Minder uitspoeling t.o.v. continu teelt	+
2. Bodemvruchtbaarheid		+
Fysisch (structuur)	Verbetering t.o.v. continueelt mais	+
Chemisch (N, P, K)	Grasklaver zorgt voor N-binding	+
Biologisch (bodemleven)		+
3. Waterkwaliteit	Minder uitspoeling t.o.v. continu teelt	+
4. Biodiversiteit		+
5. Landschap kwaliteit	Mais wordt minder gewaardeerd	0/+
6. Klimaatadaptatie	Licht positief effect door beter water bufferend vermogen	0/+
Opmerkingen		
Conclusie	Zie opmerkingen onder toepasbaarheid, sterke verbetering in vergelijking met continueelt van mais	

Afwenteling op emissies

In een veldexperiment in Noord-Italië leidde de rotatie van maïs met raaigras tot efficiënter gebruik van N aangevoerd in mest en verminderde uitspoeling van NO₃⁻ in vergelijking tot monocultuur maïs. Daarnaast leidde gras ook nog tot een opbouw van organische stof (Zavattaro et al., 2012). Het is daarom aannemelijk dat maïs-gras wisselteelt N₂O emissies doet afnemen.

3.2.5 Niet kerende grondbewerking in mais

Beschrijving maatregel

Bij niet-kerende grondbewerking wordt de bodem met schijven, tanden of woelers oppervlakkig gescheurd en verkruid, waardoor de bovengrond los en kruimelig wordt. Een groot deel van de gewasresten blijft aan de oppervlakte. Dit wordt ook wel gereduceerde grondbewerking, 'reduced tillage' of 'conservation tillage' genoemd. Ploegen bevordert de afbraak van organische stof door beluchting van de bodem, en zorgt voor fysieke afbraak van gewasresten en verstoring van het bodemleven. Niet-kerende grondbewerking vermindert de afbraak van organische stof, en heeft een positief effect op het bodemleven. Daarnaast verbetert de structuur en leidt niet-kerende grondbewerking tot minder verdichting. Verminderde grondbewerking brengt echter ook risico's met zich mee, doordat gewasresten op het land blijven liggen. Dat kan leiden tot een verhoogd risico op bovengrondse pathogenen. Bovendien is niet-kerende grondbewerking niet bij alle gewassen mogelijk. Voor knolgewassen en bieten is niet-kerende grondbewerking bijvoorbeeld minder geschikt (Van der Weide et al., 2008).

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Voor de akkerbouw wordt als gevolg van de maatregel niet kerende grondbewerking geen positief effect gevonden op bodemkoolstof. In de veehouderij is de maatregel in een systeemproof toegepast. Koopmans et al. (2019) vindt hier in 2019 een positief effect op klei, maar in 2020 tonen de resultaten geen significant effect (Koopmans et al. 2020).	0
Zekerheid van de effectiviteit	De zekerheid van deze maatregel is laag doordat er tegenstrijdige resultaten zijn gevonden (Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020). Bovendien lijkt de maatregel in de akkerbouw geen effect te hebben op het bodemkoolstofgehalte.	0
Toepasbaar areaal	De maatregel kan worden toegepast op het areaal voedergewassen.	++

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	A	B
Inpassing huidig bouwplan	Deze maatregel staat in principe los van het bouwplan	0	0
Machines, materieel, gebouwen	Minder (zware) bewerkingen, dus minder kosten voor machines, loonwerk (ook vanwege kunnen werken met grotere werkbreedtes)	+	+
Arbeid	Minder bewerkingen, dus minder arbeid nodig	+	+
Scholing	Kennis vergaren is nodig over welke grondbewerkingen dan wel uitvoeren en wanneer, ook in het kader van onkruidbestrijding.	-	-
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Meer kans op onkruiden	-	-
Conflict andere regulering	Geen conflict	0	0
Afzet producten	Geen effect op afzet	0	0

Weerbaarheid klimaat	Meer opbouw organische stof. Minder brandstofgebruik en dus CO ₂ -uitstoot.	+	+
Diversificatie	Geen extra soorten gewassen	0	0
Gewassaldo (euro/ha)	Korte termijn: Lagere opbrengst door meer problemen met onkruiden, etc.	-	-
	Lange termijn: De betere bodemgesteldheid (luchtiger, meer organische stof) compenseert het verlies door meer onkruiden e.d. waardoor effect neutraal is.	0	0
Monitorbaarheid	Wel te monitoren (ja/nee-vraag), maar lastiger om te borgen/controleren (is maar beperkt deel van het jaar controleerbaar)	-	-
Acceptatie NL'se boeren*	Melkveehouders zullen zich zorgen maken over onkruiddruk en daardoor lagere maïsopbrengsten.	-	-

A: slempegevoelige grond; B: niet-slempegevoelige grond

NKG kan een aantrekkelijke maatregel zijn vanuit het oogpunt van brandstofbesparing en dus minder CO₂-emissie. Boeren hebben er nog weinig ervaring mee, zullen dus de kat uit de boom kijken en kennis op willen doen alvorens de maatregel toe te gaan passen. Onder goede omstandigheden zou ook de bodemkwaliteit erdoor profiteren. Dat betekent onder andere dat de oogst onder droge omstandigheden plaats moet vinden om dit positieve effect te behouden. Verschil tussen wel en niet-slempegevoelige grond ligt niet voor de hand.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	A	B
0. OS toename/ kwaliteit	Geen toename os wel minder afbraak	0/+	0/+
1. Emissies			
CO ₂	Wisselend effect, zie toelichting hieronder	-	+
N ₂ O	Risico bij slempegevoelige gronden	-	+
NO ₃	Idem	-	0/+
2. Bodemvruchtbaarheid			
Fysisch (structuur)	Kans op verslemping/ dicht slaan grond	--	+
Chemisch (N, P, K)	Gering effect als os gehalte toeneemt	0	0/+
Biologisch (bodemleven)	Kan 2 kanten op	-	+
3. Waterkwaliteit	Risico bij slempegevoelige gronden	-	0/+
4. Biodiversiteit	Positief door minder bewerking	+	+
5. Landschap kwaliteit	Geen effect	0	0

6. Klimaatadaptatie	Positief t.o.v. ploegen als water bufferend vermogen toeneemt en de CO ₂ -uitstoot verminderd	-/0	0/+
Opmerkingen	Deze maatregel niet zondermeer toepassen maar in combinatie met aanvullend onderzoek van betreffende bodem i.r.t. slempegevoeligheid		

A: slempegevoelige grond; B: niet slempegevoelige grond.

Afwenteling op emissies

Minder ploegen en niet-kerende grondbewerking (NKG) vermindert de afbraak van organisch materiaal en komt het bodemleven en de bodemstructuur en watervasthoudend vermogen van de bodem ten goede (Lesschen et al., 2012). Lesschen et al. (2012) concludeert dat NKG geen effect heeft op emissies. Echter zijn de effecten van NKG op CO₂ en N₂O emissies sterk variabel tussen studies en gebieden (Sun et al., 2020). In droge gebieden kan de toename in vochtgehalte in de bodem positieve effecten hebben op organische stofgehalte en gewasopbrengsten, maar in nattere gebieden is dit effect gering en kan een verhoging van bodemvochtigheid zelfs leiden tot een verhoging van CO₂ en N₂O emissies (Desjardins et al., 2005; Hutchinson et al., 2007). Op slempegevoelige gronden is er bij NKG in vergelijking met ploegen een grotere kans op dichtslaan of verslempen van de grond. Als gevolg daarvan is er een grotere kans op toename van CO₂ en N₂O emissie.

3.2.6 Silvopastoraal

Beschrijving maatregel

Silvopastoraal (boomweides) is de praktijk van het op elkaar afstemmen van aanplant van bomen, productie van veevoer en het grazen van landbouwhuisdieren. Het maakt gebruik van de principes van beheerde begrazing en is een vorm van Agroforestry.

De klimaatbijdrage zit in CO₂-vastlegging in boombiomassa en verhoogde CO₂-opslag in de bodem, door diepere doorworteling en verhoogd organische stofgehalte als gevolg van jaarlijkse toevoeging van strooisel.

In boomweides worden bomen gecombineerd met vee. Bomen geven beschutting aan vee tegen zon, regen en wind. Daarnaast kunnen bomen in drogere periodes de beschikbaarheid van vocht voor het gras verbeteren, omdat ze water oppompen op uit diepere bodemlagen en de straling van de zon op het gras en daarmee de verdamping reduceren. Ook kunnen de bomen noten, vruchten en hout produceren die als aanvullende inkomstenbron kunnen dienen voor de agrariër. En uiteraard leggen bomen CO₂ vast in de boombiomassa.

Omdat de percelen veelal een agrarische bestemming hebben, zijn fruit- en notenbomen geschikt omdat deze uitgezonderd zijn van de herplantplicht voor houtopstanden in het kader van de Wet natuurbescherming. Andere geschikte boomsoorten zijn populieren, omdat voor deze soort vaak een ontheffing voor de herplantplicht kan worden verkregen. Er worden bij voorkeur meerdere soorten of rassen aangeplant om het risico op ziekten en plagen te spreiden.

CO₂-winst boomweides: richtlijn eerste 10 jaar na aanplant: 2,3 ton CO₂/hectare/jaar, daarna: 4,6 ton CO₂/hectare/jaar.

Effectiviteit

criterium	Toelichting	Score
Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Agroforestry, in de veehouderij met name in de vorm van silvopastoraal, kan in potentie koolstof vastleggen. Koolstof wordt zowel in de bodem als in de boombiomassa vastgelegd (Udawatta et al. 2012; Keur & Selin Norén, 2019; Cardinael et al. 2017). Het effect van agroforestry in de veehouderij is kleiner dan in de akkerbouw doordat bomen in grasland worden geplaatst. Dit grasland legt van zichzelf al veel koolstof vast. Hierdoor is het verschil, en dus het effect, kleiner.	+
Zekerheid van de effectiviteit	In Nederland zijn er nog geen resultaten uit langjarige experimenten naar het effect van agroforestry op koolstofvastlegging. Resultaten uit een enigszins vergelijkbaar klimaat zijn positief (Udawatta et al. 2012; Cardinael et al. 2017).	0
Toepasbaar areaal	In principe kan agroforestry in de vorm van silvopastoraal breed worden toegepast in de Nederlandse veehouderij. Hiervoor is echter wel een systeemtransitie vereist. Het ligt niet in de lijn der verwachting dat deze maatregel op grote schaal toegepast gaat worden.	+

Op basis van expert judgement scoort deze maatregel een – op de zekerheid, wat impliceert dat er geen studies zijn naar het effect van de maatregel. Literatuuronderzoek heeft echter aangetoond dat er wel studies zijn naar het effect van agroforestry op koolstofvastlegging, met name in het buitenland. Om deze reden is de score 0 toegekend.

Toepasbaarheid

criterium	Toelichting	Score
Inpassing huidig bouwplan	Bomen hebben een permanent karakter. Niet geschikt/passend/ gewenst op elk perceel. Perceel niet meer inzetbaar voor maïsteelt, dus moeilijker inpasbaar in huidig bouwplan.	-
Machines, materieel, gebouwen	Bewerkelijker, lagere capaciteit van machines/loonwerker	-
Arbeid	Bewerkelijker, dus meer arbeid nodig	-
Scholing	Geheel nieuw, kennis nodig over hoe te managen en ook over oogst en bijvoorbeeld bewaring van producten van bomen (zoals noten).	--
Teeltschade (onkruid/aaltjes)	Minder grasopbrengst, bijvoorbeeld door schaduwwerking. Daartegenover staan wel opbrengsten van de bomen.	-
Conflict andere regulering	Mogelijk problemen met 80% eis aandeel grasland bij derogatie. Is silvopastoraal ook grasland volgens de wet?	-
Afzet producten	Geen effect op afzet, wel denkbaar dat dit een plus op de melkprijs op kan leveren als onderdeel van duurzaamheidsprogramma's	0

Weerbaarheid klimaat	Meer vastlegging van koolstof. Maar hoelang (wat gebeurt er met de bomen op middellange termijn)?	+
Diversificatie	Bomen zijn een nieuw gewas	++
Gewassaldo (euro/ha)	Korte en lange termijn: Lagere grasopbrengst (bij schaduw minder groei) en slechtere kwaliteit gras. Kunnen de opbrengsten van producten van bomen dat compenseren? Gemiddeld genomen waarschijnlijk niet, tenzij de boer een heel goede niche-afzetmarkt opbouwt.	-
Monitorbaarheid	Duidelijk zichtbaar, meten via satellietfoto's?	++
Acceptatie NL'se boeren*	Bewerkelijk, minder uit de voeten kunnen met grote machines, minder grasproductie en hogere verliezen. Geen interesse en daardoor ook geen plezier in teelt van bomen en bijbehorende vruchten (zoals noten)	--

De introductie van bomen in grasland is geen aantrekkelijke maatregel voor melkveehouders. Per saldo zou de koolstofvastlegging door deze maatregel toe kunnen nemen, maar er zijn nogal wat praktische bezwaren, waaronder een lagere grasopbrengst.

Mee-koppel effecten

criterium	Toelichting	Score
0. OS toename/ kwaliteit	Strooisel heeft hoge EOS	+
1. Emissies		
CO ₂	Extra CO ₂ vastlegging door bomen	+
N ₂ O	Door diepe wortels van de bomen minder emissie	+
NO ₃	Idem voor nitraat uitspoeling	+
2. Bodemvruchtbaarheid	Positief effect op alle aspecten door toename os/ strooisel	
Fysisch (structuur)		+
Chemisch (N, P, K)		+
Biologisch (bodemleven)		+
3. Waterkwaliteit	Positief t.o.v. intensief agrarisch gebruik	+
4. Biodiversiteit	Betere bodemvruchtbaarheid + extensief grondgebruik	+
5. Landschap kwaliteit	Positief door meer variatie	++
6. Klimaatadaptatie	Gering effect	0/+
Opmerkingen		

Afwenteling op emissies

Door aanplant van bomen leidt Silvopastoraal tot extra vastlegging van CO₂. Daarnaast resulteren de diepere wortels van bomen tot een afname van N₂O emissies. Boomwortels nemen namelijk NO₃⁻ en water op en verminderen daarmee N₂O emissies gerelateerd aan denitrificatie. Echter leidt agroforestry wel tot minder ruimte voor gewasproductie op een perceel, wat kan leiden tot verschuiving van gewasproductie, en emissies, naar andere gebieden (Guenet et al., 2020).

4 Beoordeling

4.1 Effectiviteit

	Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Zekerheid v.d. effectiviteit	Areaal toepasbaarheid
Akkerbouw			
1. Verbeteren gewasrotatie (meer granen)	+++	+	++
2. Gewasresten achterlaten	++	0	+
3. Toedienen organische meststoffen	++	++	+
4. Vanggewassen en groenbemesters	+	+	+++
5. Akkerranden	0	-	0
6. Vogelakkers	+	-	+
7. Agroforestry	+++	0	+
8. Niet-kerende grondbewerking	0	+	+++
Veehouderij			
1. Leeftijd grasland (voorkomen scheuren)	+++ ⁶	++	++
2. Toedienen organische meststoffen	++	+	+
3. Kruidenrijkgrasland	0	-	++
4. Mais-gras wisselteelt	+	+	+++
5. NKG in Mais	0	0	++
6. Silvopastoraal	+	0	+

De effectiviteit van maatregelen is beoordeeld op basis van drie criteria. De beoordeling is uitgevoerd door middel van expert judgement en literatuuronderzoek. Bovenstaande tabel geeft overzichtelijk weer hoe de verschillende maatregelen op de drie criteria scoren. De maatregelen die het beste scoren op alle drie de criteria zijn Leeftijd grasland, Verbeteren gewasrotaties, Toedienen organische meststoffen en Vanggewassen en groenbemesters. De maatregelen die het minst goed scoren op de drie criteria zijn Akkerranden, Vogelakkers en Kruidenrijk grasland.

⁶ Resultaten voor CO₂-vastlegging zijn significant positief op kleigronden. Voor zandbodems is tot nu toe een neutraal effect waargenomen.

4.2 Toepasbaarheid

	Inpassing huidige bouwplan	Gewas-saldo (euro/ha)		Monitorbaarheid	Acceptatie boeren
		Korte termijn	Lange termijn		
Akkerbouw					
1. Verbeteren gewasrotatie (meer granen)	+	--	+	+	-
2a. Gewasresten achterlaten - laag C/N	++	0/+	0/+	+/-	+/-
2b. Gewasresten achterlaten - hoog C/N	++	0/+	+	+/-	+/-
3a. Organische mest - drijfmest	+	+	0/+	0/+	+
3b. Organische mest - vaste mest/ compost	-	-	+	+	-
4a. Vanggewassen, groenbemesters - laag C/N	+	+/-	0/+	0/+	+
4b. Vanggewassen, groenbemesters - hoog C/N	+	-	+	+	+
5. Akkerranden	-	-	-	+	+
6. Vogelakkers	-	--	+/-	+	-
7. Agroforestry	--	--	+/-	+	--
8a. NKG - slempgevoelige grond	+/-	+0	+0	-	-
8a. NKG - niet slempgevoelige grond	+/-	+0	+0	-	+/-
Veehouderij					
1a. Behoud grasland, weinig productief >10 jaar	0	0	0	-	-
1b. Behoud grasland, productief < 10 jaar a)	0	0	0	-	+/-
2a. Organische mest - drijfmest	0	+	+	+	++
2b. Organische mest - vaste mest/ compost	0	0	0	+	+0
3. Kruidenrijk grasland	0	0	-	-	+/-
4. Mais-gras wisselteelt	+	0	+	++	+/-
5a. NKG in Mais - slempgevoelige grond	0	-	0	-	-
5b. NKG in Mais- niet slempgevoelige grond	0	-	0	-	-
6. Silvopastoraal	-	-	-	++	--

a) acceptatie bij boeren negatief voor duur maatregelen langer dan 5 jaar i.v.m. regelgeving.

Het globale beeld is, dat er bij akkerbouwers vooral acceptatie zal zijn van de toepassing van organische (drijf)mest, vanggewassen en akkerranden en onder voorwaarden ook van niet-kerende grondbewerking. Bij melkveehouders zal dat eveneens het geval zijn bij toepassing van organische (drijf)mest en onder voorwaarden ook bij het niet-scheuren van productief grasland, de toepassing van vaste mest, kruidenrijk grasland en maïs-gras wisselteelt.

4.3 Mee-koppel effecten

	CO ₂ -emissie	N ₂ O emissie	Bodemvruchtbaarheid	Waterkwaliteit	Biodiversiteit	Landschap kwaliteit	Klimaat adaptatie
Akkerbouw							
1. Verbeteren gewasrotatie (meer granen)	0/+	+	++	+	+	0/+	0/+
2a. Gewasresten achterlaten - laag C/N	0/+	-	+	-	+	0	0/+
2b. Gewasresten achterlaten - hoog C/N	0/+	+	+	+	+	0	0/+
3a. Organische mest - drijfmest	-	-	+	-	+	0	0/+
3b. Organische mest - vaste mest/compost	0/+	+	++	+	+	0	0/+
4a. Vanggewassen, groenbemesters - laag C/N	+	-	++	-	+	0	0/+
4b. Vanggewassen, groenbemesters - hoog C/N	+	+	++	+	+	0	0/+
5. Akkerranden	+	0/+	0/+	+	++	++	0
6. Vogelakkers	+	0/+	-/+	+	++	++	0
7. Agroforestry	+	+	+	+	++	++	+
8a. NKG - slempgevoelige grond	-	-	-	-	+	0	-/0
8a. NKG - niet slempgevoelige grond	+	+	+	+	+	0	0/+
Veehouderij							
1a. Behoud grasland, weinig productief >10 jaar	++	-	+	+	++	+	0/+
1b. Behoud grasland, productief < 10 jaar	++	+	+	+	++		0/+
2a. Organische mest - drijfmest	-	-	+	-	+	0	0/+
2b. Organische mest - vaste mest/compost	+	+	++	+			
3. Kruidenrijk grasland	+	0/+	0/+	0/+	++	+	0
4. Mais-gras wisselteelt	+	-/+	+	+	+	0/+	0/+
5a. NKG in Mais - slempgevoelige grond	-	-	-	-	+	0	0/+
5b. NKG in Mais- niet slempgevoelige grond	+	+	+	+	+		
6. Silvopastoraal	+	+	+	+	+	++	0/+

Legenda: Effecten op klimaat en bodem (+ is altijd een positieve ontwikkeling voor bodem en klimaat, dus in het geval van emissies is dit een afname van emissies; - is altijd een negatieve ontwikkeling voor bodem en klimaat, dus in het geval van emissies is dit een toename van emissies); 0/+ : gering positief effect; -/0: gering negatief effect; -/+ : sterk wisselend effect.

Bij de effecten van de maatregelen is onderscheid te maken naar de effecten op zand- en op kleigronden. In dit stadium is daar nog niet naar gekeken en hangt ook samen met de uitgangssituatie van o.s. Aangenomen is dat de richting van het effect voor klei/ zand hetzelfde is maar dat de mate/ grote van het effect kan verschillen.

5 Conclusie en discussie

Dit project is gestart met als doel om aanbevelingen te doen aan het ministerie van LNV over welke maatregelen die worden onderzocht in het kader van het programma Slim Landgebruik, al kunnen worden aanbevolen aan boeren nog voordat het onderzoek volledig is afgerond. Samen met beleidsmedewerkers van het ministerie van LNV hebben we de definitie van no-regret bepaald: 'No regret maatregelen zijn bewezen effectieve maatregelen waarbij koolstof additioneel wordt vastgelegd of koolstof wordt vastgehouden in de minerale landbouwbodems, welke breed toepasbaar, met beperkte kosten en waarbij er geen of aanvaardbare negatieve afwentelingseffecten zijn'.

We zijn gestart met een brede lijst van maatregelen. Het initiële doel was om deze lijst kwalitatief te beoordelen op basis van indicatoren die zijn afgeleid van de definitie. Deze indicatoren zijn ondergebracht in 3 categorieën: effectiviteit, toepasbaarheid en mee-koppel effecten. Op basis van deze kwalitatieve beoordeling wilden we 'no-regret' maatregelen selecteren om die nader met eerdergenoemde indicatoren kwantitatief te beoordelen. In dit proces liepen we tegen een aantal zaken aan:

Inkorten van de brede lijst aan maatregelen

Om de brede lijst van maatregelen terug te brengen tot een korte lijst van maatregelen die de meeste potentie hebben om CO₂ van te leggen en die tevens voldoen aan de definitie van no-regret, moesten we de maatregelen ordenen op basis van de kwalitatieve beoordeling door de experts. Deze ordening bleek niet zonder meer mogelijk. In een workshop met vertegenwoordigers van het ministerie van LNV is toen voorgesteld om de indicatoren een wegingsfactor toe te kennen. Dit is door het projectteam verkend door experts vanuit onderzoek en beleid te vragen de indicatoren in zijn algemeenheid te scoren op hun belang, m.a.w. welke indicatoren wegen het zwaarst mee om een maatregel te beoordelen op basis van de definitie van no-regret.

Het bleek voor het projectteam onmogelijk om op basis van de feedback van het belang van de indicatoren daadwerkelijk een weging uit te voeren. Dit had deels te maken met het feit dat niet alle thema's (effectiviteit, toepasbaarheid en mee-koppel effecten) evenveel indicatoren kennen, waardoor een ongelijke verdeling ontstond. Daarnaast liepen we ertegen aan dat verschillende doelgroepen verschillende wegen toekennen aan een indicator. Selectie van maatregelen op basis van weging was binnen de tijdsduur van het project daarom niet mogelijk.

Tijdens deze fase van het onderzoek zijn we tot de volgende conclusie gekomen: op basis van kwalitatieve beoordelingen van maatregelen is het niet mogelijk om een maatregel als no-regret maatregel aan te wijzen. Iedere maatregel kent zijn voor- en nadelen op effectiviteit, toepasbaarheid en mee-koppel effecten. Er zijn dus geen maatregelen die alleen maar positief scoren en geen (negatieve) mee-koppel effecten vertonen.

Kwantificeren van de indicatoren ter beoordeling van de maatregelen

Het blijkt dat het slechts voor een aantal maatregelen mogelijk is om de effecten op de verschillende indicatoren kwantitatief te beoordelen. De kwantitatieve data zijn op dit moment vooral beschikbaar voor de effectiviteit van maatregelen, maar de onzekerheid hierover varieert behoorlijk per maatregel. Ook zijn er voor een aantal maatregelen gegevens bekend over lachgasemissies, maar deze zijn ook erg onzeker. Om hier meer over te zeggen moeten we wachten op de resultaten van het onderzoek naar afwenteling naar lachgasemissies dat wordt uitgevoerd binnen Slim Landgebruik. Verder zijn nog niet alle maatregelen doorgerekend wat betreft financiële kosten en baten.

We kunnen dus concluderen dat er op dit moment onvoldoende gegevens en studies beschikbaar zijn om de effecten van de maatregelen te kunnen kwantificeren. In het project CO₂Bodem (voorheen Tabel Lesschen) binnen het

programma Slim Landgebruik nemen we deze aanbeveling over en proberen zoveel mogelijk de tabel op een kwantitatieve wijze te vullen.

Beoordeling van de maatregelen

In onderstaande tabel is een samenvatting te vinden van de beoordeling op de belangrijkste (soms samengevoegde) indicatoren. Deze tabel laat zien dat er geen enkele maatregel enkel plusjes kent. Echter, deze tabel kan zeer bruikbaar zijn om het gesprek over maatregelen te beginnen tussen verschillende betrokkenen.

Om deze tabel goed te lezen is het van belang dat het doel helder is. Wanneer de focus ligt op het vastleggen van koolstof in de bodem, dan zullen de indicatoren in het thema Effectiviteit functioneren als "drempelwaarde". Dat betekent dat de maatregelen die donkergroen kleuren op Effectiviteit oplichten en nader kunnen worden beoordeeld op andere aspecten. Als de insteek is dat de maatregel moet bijdragen aan de klimaatopgave, dan is moet ook de afwenteling naar lachgasemissie worden meegenomen bij de eerste selectie. Het kan ook zijn dat eerste prioriteit voor de keuze van een maatregel is dat de maatregel kosteneffectief is. In dat geval is de eerste selectie op basis van de indicatoren korte en lange termijn gewassaldo.

Als het eerste selectie criterium is Effectiviteit dan komen de volgende maatregelen naar voren:

- verbeteren van gewasrotatie door meer granen te telen;
- het toedienen van organische mest (vooral in de akkerbouw);
- behoud van grasland.

Echter, zijn er vanuit het oogpunt van de No Regret definitie een aantal punten die maken dat deze maatregel niet direct kan worden toegepast. Al deze maatregelen scoren negatief op de acceptatie door de boeren, waardoor dit een punt van aandacht is voordat deze maatregel wordt aanbevolen aan boeren. Dit kan bijvoorbeeld door boeren via een stimuleringsysteem zoals Carbon Credits over de streep te trekken deze maatregel te implementeren. Daarbij is het zo dat het toedienen van organische mest ook niet per definitie positief uitpakt voor het behalen van de klimaatdoelstelling aangezien de emissie van lachgas hoog wordt ingeschat.

Conclusies

Er kan worden geconcludeerd dat behalve de maatregel Akkerranden op een heel aantal indicatoren positief scoren. Echter, niet alle maatregelen zullen direct toepasbaar zijn en er zijn nogal wat onzekerheden rond de effectiviteit van veel maatregelen. Belangrijk is om de onzekerheden rond alle aspecten die bepalen of een maatregel als no-regret kunnen gekenmerkt te verminderen. Hiervoor is meer onderzoek nodig, niet alleen voor de bepaling van de effectiviteit van de maatregelen maar ook voor de mee-koppel effecten (bijvoorbeeld lachgas emissie) en ook voor de toepasbaarheid.

Maatregel	Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)	Zekerheid v.d. effectiviteit	Areal toepasbaarheid	Inpassing huidige bouwplan	Gewassaldo (euro/ha)		Monitorbaarheid	Acceptatie N L'se boeren	N ₂ O emissie	Bodemvruchtbaarheid
					Korte termijn	Lange termijn				
Akkerbouw										
1. Verbeteren gewasrotatie (meer granen)	+++	+	++	+	--	+	+	-	+	++
2a. Gewasresten achterlaten - laag C/N	++	0	+	++	0/+	0/+	+/-	+/-	-	+
2b. Gewasresten achterlaten - hoog C/N				++	0/+	+	+/-	+/-	+	+
3a. Organische mest - drijfmest	++	++	+	+	+	0/+	0/+	+	-	+
3b. Organische mest - vaste mest/ compost				-	-	+	+	-	+	++
4a. Vanggewassen, groen bemesters - laag C/N	+	+	+++	+	+/-	0/+	0/+	+	-	++
4b. Vanggewassen, groen bemesters - hoog C/N				+	-	+	+	+	+	++
5. Akkerranden	0	-	0	-	-	-	+	+	0/+	0/+
6. Vogelakkers	+	-	+	-	--	+/-	+	-	0/+	-/+
7. Agroforestry	+++	0	+	--	--	+/-	+	--	+	+
8a. NKG - slemgevoelige grond	0	+	+++	+/-	+/0	+/0	-	-	-	-
8a. NKG - niet slemgevoelige grond				+/-	+/0	+/0	-	+/-	+	+
Veehouderij										
1a. Behoud grasland, weinig productief >10 jaar?	+++	++	++	0	0	0	-	-	-	+
1b. Behoud grasland, productief < 10 jaar				0	0	0	-	+/-	+	+□
2a. Organische mest - drijfmest	++	+	+	0	+	+	+	++	-	+□
2b. Organische mest - vaste mest/ compost				0	0	0	+	+/0	+	++
3. Kruidenrijk grasland	0	-	++	0	0	-	-	+/-	0/+	0/+
4. Mais-gras wisselteelt	+	+	+++	+	0	+	++	+/-	-/+	+
5a. NKG in Mais - slemgevoelige grond	0	0	++	0	-	0	-	-	-	-
5b. NKG in Mais - niet slemgevoelige grond				0	-	0	-	-	+	+
6. Silvopastoraal	+	0	+	-	-	-	++	--	+	+

6 Literatuurlijst

Behnke, G. D., Zuber, S. M., Pittelkow, C. M., Nafziger, E. D., & Villamil, M. B. (2018). Long-term crop rotation and tillage effects on soil greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 261, 62-70.

Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Beral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., ... & Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243-255.

De Rosa, D., Rowlings, D. W., Biala, J., Scheer, C., Basso, B., & Grace, P. R. (2018). N₂O and CO₂ emissions following repeated application of organic and mineral N fertiliser from a vegetable crop rotation. *Science of The Total Environment*, 637, 813-824.

Desjardins, R. L., Smith, W., Grant, B., Campbell, C., & Riznek, R. (2005). Management strategies to sequester carbon in agricultural soils and to mitigate greenhouse gas emissions. In *Increasing Climate Variability and Change* (pp. 283-297). Dordrecht: Springer.

Drury, C. F., Yang, X. M., Reynolds, W. D., & McLaughlin, N. B. (2008). Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from monoculture and rotational cropping of corn, soybean and winter wheat. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(2), 163-174.

Duan, Y. F., Hallin, S., Jones, C. M., Priemé, A., Labouriau, R., & Petersen, S. O. (2018). Catch crop residues stimulate N₂O emissions during spring, without affecting the genetic potential for nitrite and N₂O reduction. *Frontiers in microbiology*, 9, 2629.

Guenet, B., Gabrielle, B., Chenu, C., Arrouays, D., Balesdent, J., Bernoux, M., ... & Ciais, P. (2020). Can N₂O emissions offset the benefits from soil organic carbon storage?. *Global Change Biology*.

Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., ... & Isberg, P. E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6(1), 30.

Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and forest meteorology*, 142(2-4), 288-302.

Kayser, M., Müller, J., & Isselstein, J. (2018). Grassland renovation has important consequences for C and N cycling and losses. *Food and Energy Security*, 7(4).

Koopmans, C., Timmermans, B., Wagenaar, J. P., van't Hull, J., Hanegraaf, M. C., & de Haan, J. J. (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's). Louis Bolk Instituut.

Koopmans, C., Timmermans, B., de Haan, J.J., van Opheusden, M., Selin Norén, I., Slier, T., & Wagenaar, J. P. (2020). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: Voortgangsrapportage april 2020. Louis Bolk Instituut.

Lesschen, J. P., Heesmans, H. I. M., Mol-Dijkstra, J. P., van Doorn, A. M., Verkaik, E., van den Wyngaert, I. J. J., & Kuikman, P. J. (2012). Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur.

Lesschen, J. P., Velthof, G. L., de Vries, W., & Kros, J. (2011). Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environmental pollution*, 159(11), 3215-3222.

Malhi, S. S., Nyborg, M., Goddard, T., & Puurveen, D. (2011). Long-term tillage, straw management and N fertilization effects on quantity and quality of organic C and N in a Black Chernozem soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 90(2), 227-241.

- Norén, I. S., Keur, J., Vijn, M. P., Schoutsen, M. A., Cuperus, F., Slier, T., ... & Schrijver, R. A. M. (2019). Klimaatcompensatie met agroforestry, wat is mogelijk?: Handreiking voor agrarisch ondernemers die bomen willen planten op hun bedrijf.
- Peichl, M., Thevathasan, N. V., Gordon, A. M., Huss, J., & Abohassan, R. A. (2006). Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforestry systems*, 66(3), 243-257.
- Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.
- Pugesgaard, S., Petersen, S. O., Chirinda, N., & Olesen, J. E. (2017). Crop residues as driver for N₂O emissions from a sandy loam soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 45-54.
- Reinsch, T., Loges, R., Kluß, C., & Taube, F. (2018). Effect of grassland ploughing and reseeded on CO₂ emissions and soil carbon stocks. *Agriculture, ecosystems & environment*, 265, 374-383.
- Ruis, S. J., & Blanco-Canqui, H. (2017). Cover crops could offset crop residue removal effects on soil carbon and other properties: A review. *Agronomy Journal*, 109(5), 1785-1805.
- Signor, D., & Cerri, C. E. P. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(3), 322-338.
- Sun, W., Canadell, J. G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., ... & Huang, Y. (2020). Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Global Change Biology*, 26(6), 3325-3335.
- Udawatta, R. P., & Jose, S. (2012). Agroforestry strategies to sequester carbon in temperate North America. *Agroforestry Systems*, 86(2), 225-242.
- Van Dijk, et al. (2013). Ruimere vruchtwisseling: voor- en nadelen voor nutriëntenbenutting en bedrijfseconomie: effecten van verruiming van vruchtwisseling op mineralenbenutting, bodemkwaliteit en economie op akkerbouwbedrijven. Kennisakker.nl
- Van Eekeren, N., & Visser, T. (2019). Memo: Invulling Kruidenrijk grasland: Definitie, randvoorwaarden en borging (No. 2019-018). Louis Bolk Instituut.
- Vellinga, T. V., Van den Pol-van Dasselaar, A., & Kuikman, P. J. (2004). The impact of grassland ploughing on CO₂ and N₂O emissions in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70(1), 33-45.
- Weide, R. van der (2008) En de boer, hij ploegde niet meer? : literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. <https://edepot.wur.nl/3507>
- Wiersma, P., B. Luske, J. Bos, J. Hakkert, H.J. Ottens, M. Postma, R. Klaassen, B.G.H. Timmermans, M. Zanen. 2019. *Vogelakkers: het effect op de biodiversiteit en de landbouwkundige inpasbaarheid*. Grauwe Kiekendief – Kenniscentrum Akkervogels, Louis Bolk Instituut, Vogelbescherming. 132 p.
- Wit, J. de., (2013). Bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganische stofgehalte. Louis Bolk Instituut. Publicatienr. 2013-005 LbD.
- Zavattaro, L., Monaco, S., Sacco, D., & Grignani, C. (2012). Options to reduce N loss from maize in intensive cropping systems in Northern Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 147, 24-35.
- Zwart, K, A. Kikkert, A. Wolfs, A. Termorshuizen, & G.J. van der Burgt (2013). Tien vragen en antwoorden over organische stof. Productschap Akkerbouw. Zie ook: www.kennisakker.nl.
- www.beterbodembeheer.nl/positief-effect-compost-op-suikeropbrengst
- <http://bodemacademie.nl/wp-content/uploads/2016/11/Compost.pdf>

<https://www.goedbodembeheer.nl/mest-en-compost>

Bodemvruchtbaarheid in Nederland Goed bodembeheer per bodemtype https://irp-cdn.multiscreensite.com/1bce804b/files/uploaded/bodemvruchtbaarheid_per_bodemtype.pdf
<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organische-stofbeheer.htm>

Handleiding goed koolstofbeheer, Louis Bolk (<https://www.louisbolke.nl/downloads/3393.pdf>)

Quickscan naar de potentie van koolstof opslag in de Nederlandse melkveehouderij
file:///C:/Users/agric001/Downloads/quickscanpotentiekoolstofopslag_site%20(1).pdf

Organische stof: onbemind of onbekend? Annemieke Smit, Peter Kuikman Alterra-rapport 1126, Alterra, Wageningen, 2005 <https://edepot.wur.nl/43995>

Organische stofbalans zie: www.kennisakker.nl of <https://www.os-balans.nl/>

Voorwaarden van goed Bodemkoolstofbeheer in de landbouw.
<https://soilpedia.nl/Bikiviki%20documenten/SKB%20Projecten/2029%20Credits%20for%20carbon%20care/830-2013-Bodemkoolstofbeheer.pdf>

Atlas Natuurlijk Kapitaal
<https://atlasnatuurlijkkapitaal.nl/zoeken?search=Koolstofvastlegging+bodem/>

Velthof G. en P. Kuikman (2000). Beperking lachgas emissie uit gewasresten. <https://edepot.wur.nl/37472>

Thema 'agroforestry' Gereedschapskist Klimaatslim Bos- en Natuurbeheer:
<https://www.vbne.nl/klimaatslimbosennatuurbeheer/maatregelen/agroforestry>

Agroforestry in kippenuitlopen: <https://agroforestrykip.nl/>

Website van stichting Agroforestry Nederland: <http://agro-forestry.nl/>

Factsheet Agroforestry 'Bomen planten op landbouwgrond, wat mag ik?': <https://edepot.wur.nl/454070> (In deze serie zijn nog meer factsheets ontwikkeld, ook over de kosten en baten en over de koolstofvastlegging bomen in (uiloop)weides. Boven- en ondergrondse vastlegging.

Bijlage 1

Toelichting op Excelbestand wat betreft investeringen, kosten en baten

Akkerbouw

1. Verbeteren gewasrotatie (meer granen); uitbreiding van de graanteelt ten koste van meer intensieve gewassen betekent minder input, minder arbeidsinzet en minder investeren in dure machines en bewaarplaatsen. Als het graanareaal heel groot wordt kunnen een eigen maaidorser en graanopslag aantrekkelijk worden. Grosso modo is deze maatregel qua kosten en investeringen gemakkelijk inpasbaar. Aan de andere kant gaan de gewassaldi sterk naar beneden door deze stap, dus qua inkomen is deze stap niet gemakkelijk inpasbaar. Deze afname wordt voor een deel gecompenseerd door hogere opbrengsten als gevolg van een betere bodemkwaliteit.

2. Gewasresten achterlaten: betekent met name geen stro persen. Dat betekent dat niet geïnvesteerd hoeft te worden in een stropers en stro-opslag (heel gemakkelijk inpasbaar). Voor bedrijven die deze investeringen al gedaan hebben is dit echter een desinvestering, die de toepassing ervan remt. Ook scheelt dit arbeid (gemakkelijk inpasbaar), maar ook de teeltkosten nemen af (gemakkelijk toepasbaar), omdat het stro niet gehakseld hoeft te worden en er geen stikstofgift nodig is om de vertering van het stro te bevorderen. Op korte termijn daalt het gewassaldo (vrij moeilijk toepasbaar).

3. Compost of vaste mest toedienen betekent compost of vaste mest aankopen en aan te wenden (in plaats van gratis drijfmest ontvangen), waardoor de teeltkosten toenemen (moeilijk toepasbaar). Eventueel moet geïnvesteerd worden in compostopslag of in een compost- of vaste mestverspreider (moeilijk toepasbaar). Vermoedelijk neemt de kg-opbrengst toe. Op korte termijn neemt het gewassaldo af, op langere termijn mogelijk toe door een verbetering van de bodemkwaliteit over jaren. De arbeidsinzet blijft ongeveer gelijk, omdat zowel de mest- als de compostaanwending meestal uitbesteed wordt aan een loonwerker. Wanneer het toedienen van compost wordt gepromoot zal de vraag naar compost mogelijk toenemen. Dit kan effect hebben op de prijs die voor compost wordt betaald.

4. Vanggewassen en groenbemesters. De teelt van deze gewassen betekent een extra werkgang voor het maken van een zaaibed en de inzaai. Eventueel moet ook nog een startgift toegediend worden om het gewas op gang te brengen. Dat betekent hogere teeltkosten en meer arbeidsinzet. Daarnaast moet het gewas net vóór de winter (op klei) of vlak vóór het volgende gewas (op zand) vernietigd worden door een mechanische of chemische bestrijding. Alles bij elkaar stijgen de teeltkosten aanzienlijk, wat deze maatregel moeilijk inpasbaar maakt. Investerings zijn er niet voor nodig, tenzij gekozen wordt voor een nieuwe machine om het vanggewas/de groenbemester mechanisch te vernietigen. Op korte termijn daalt het gewassaldo, maar op langere termijn komt deze maatregel de gewasopbrengst en het saldo ten goede.

5. Akkerranden. Bij deze maatregel gelden ongeveer dezelfde effecten als bij vanggewassen/ groenbemesters. In dit geval betreft het slechts een deel van het perceel, waardoor de effecten navenant kleiner zijn. Het gewassaldo daalt doordat het netto teeltareaal daalt, er kosten gemaakt moeten worden en de opbrengst niet toeneemt. Eerder is er kans op veronkruiding van het perceel vanuit de akkerranden. Aan de andere kant bevorderen akkerranden de biodiversiteit zoals de aanwezigheid van natuurlijke vijanden op het perceel en daardoor de mogelijkheid minder bestrijdingsmiddelen te gebruiken en betere product- en waterkwaliteit te bereiken.

6. Vogelakkers houden praktisch in dat een graangewas blijft staan nadat alleen de aren zijn geoogst (een maaidorser met een arenplukker in plaats van een messenbalk). Dit vraagt een investering in een ander oogststelsel. Deze wijze van oogsten kost ook meer arbeid. Aan de andere kant kan het stro blijven staan en hoeft er geen grondbewerking

plaatsvinden tot na de winter of zelfs nog een jaar langer. Dat betekent in het jaar na de oogst geen gewasopbrengst en dus een negatief effect op het gewassaldo (afgezien van de vergoeding vanuit het ANBI). Op langere termijn zal de gewasopbrengst stijgen door grote inbreng van gewasresten en door een rustjaar.

7. Agroforestry. Deze maatregel betekent in eerste instantie hoge teeltkosten door de aanplant van bomen, struiken en gewassen. In de jaren daarna nemen deze teeltkosten sterk af, omdat een zichzelf onderhoudend gewassysteem ontstaat. In de eerste jaren zal de gewasopbrengst laag zijn, maar in latere jaren neemt die toe. De arbeidsinzet is de eerste jaren groot, maar neemt na verloop van tijd af. In de eerste jaren moet veel gedaan worden om balans te brengen tussen gewenste en ongewenste plantensoorten. Maar na verloop van tijd ontstaat er een dichte vegetatie, waarin ongewenste soorten (onkruiden) minder ruimte krijgen.

8. Niet-kerende grondbewerking betekent investeren in andere werktuigen. De arbeidsbehoefte zal licht dalen, omdat de werksnelheid en -breedte door een lichtere vorm van grondbewerking hoger is. De gewasopbrengst zal in eerste instantie dalen, maar na enkele jaren toenemen door een nieuw evenwicht in de bodem, een beter bodemleven. De gewassaldi stijgen dus na verloop van jaren.

Veehouderij

1. Leeftijd grasland (voorkomen scheuren). Bij goed graslandmanagement geeft dit geen problemen qua veronkruiding, structuurbederf en opbrengstdaling. Er ontstaat een rijk bodemleven onder de grasmat en die zorgt voor een constante, hoge gewasopbrengst. Er is dan vrijwel geen daling van gewassaldi, alhoewel herinzaai van grasland door betere rassen en door het effect van een nieuw, jong gewas wel een hogere opbrengst geeft in de eerste jaren na inzaai. Hieraan zijn wel de nodige kosten verbonden. Anders wordt de situatie als door deze activiteit het ruilen van land met akkerbouwers of bloembollentelers afneemt. Scheuren van grasland is slecht voor de grond en daarmee ook voor de opbrengst, maar op korte termijn is het gewassaldo wel hoger dankzij hoge pachtprizen voor losse pacht. Hiervan afzien kan als een investering in bodemkwaliteit en stabiele grasopbrengsten worden gezien.

2. Organische meststoffen toedienen. Dit is tot op zekere hoogte vergelijkbaar als maatregel 3 in de akkerbouw. Echter, aankoop en toepassing van compost vaste mest kan betekenen dat er minder ruimte is voor de afzet van eigen mest, die dan wellicht deels elders afgezet of verwerkt moet worden. De bodemkwaliteit zal door deze maatregel wel toenemen, waardoor op termijn de gewasopbrengsten toenemen.

3. Kruidenrijkgrasland vraagt om hogere zaaizaadkosten bij inzaai maar ook minder stikstofbemesting (als vlinderbloemigen mee worden geteeld als onderdeel van het kruidenmengsel). De teeltkosten zullen ongeveer even hoog blijven met mogelijk wat lagere gewasopbrengsten en een lager gewassaldo.

4. Mais-gras wisselteelt. Dit is een systeem met vrij hoge teeltkosten zoals continue inzaai van gras en mais. De opbrengsten van beide gewassen zullen hoger zijn dan zonder wisselbouw, maar de opbouw van organische stof in de bodem verloopt ook moeizamer dan bij blijvend grasland. Dat gaat weer ten koste van de opbrengst en stabiliteit van het gewas ten opzichte van grasland, maar ten opzichte van continue teelt maïs verbeteren de organische stofopbouw en de gewasopbrengsten.

5. NKG in Mais is vergelijkbaar met NKG in de akkerbouw.

6. Silvopastoraal. De combinatie van bomen en grasland vraagt om investering in bomen (uitgaande van grasland) en zal ook enige grasopbrengst schelen. Afhankelijk van het type boom, bijvoorbeeld fruit- of notenbomen, kan deze nog

een aanvullende opbrengst opleveren, zodat de totale gewasopbrengst en het totale gewassaldo ongeveer gelijk blijven. Er zal wel meer arbeid ingezet moeten worden, onder andere door de noodzaak bomen te snoeien en bij het maaien meer te manoeuvreren.