
Effectiviteit van koolstofmaatregelen op het akkerbouwbedrijf

Vanuit het oogpunt van de aardappelteelt van Farm Frites

Auteurs: Isabella Selin Norén¹, Lennart Fuchs¹

¹ Wageningen University & Research

Dit onderzoek is in opdracht van Farm Frites uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten, in het kader van het Climate KIC project omtrent Carbon Farming. Inkoopnummer provincie Zuid-Holland: DOS-2020-008314

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, Lelystad, juli 2021

Selin Noren, I., Fuchs, L., 2021. *Effectiviteit van koolstofmaatregelen op het akkerbouwbedrijf*. Wageningen Research, Notitie WPR-OT-922.

Notitie WPR-OT-922

Deze notitie is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/562136>

Samenvatting

In deze notitie is er een selectie van negen maatregelen opgesteld gericht op het vastleggen en besparen van koolstof op het akkerbouwbedrijf, met focus op een aardappelteelt. Dit is gedaan op basis van bestaande kennis en literatuur. De maatregelen zijn te verdelen in drie categorieën: 1) koolstofvastlegging in bodem en biomassa, 2) verlagen indirecte CO₂ uitstoot en 3) verlagen directe CO₂ uitstoot. De verschillende maatregelen worden in deze notitie toegelicht en de verwachte besparing die met deze maatregelen behaald kan worden wordt gegeven en onderbouwd.

Trefwoorden: *Aardappel, Bodem, Carbon Farming, CO₂, Klimaat, Klimaatpositief, Koolstof, Koolstofvastlegging, Maatregelen, Organische stof.*

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoud

Inhoud	3	
1	Inleiding	5
	1.1 Achtergrond	5
	1.2 Werkwijze	5
2	Maatregelen voor CO₂ vastlegging en besparing op het aardappelperceel	6
3	Toelichting en verwachte CO₂ vastlegging en besparing van de maatregelen	7
	3.1 Koolstofvastlegging in de bodem en biomassa	7
	1. Compost toedienen	7
	2. Vaste mest aanwenden	7
	3. Drijfmest aanwenden	7
	4. Groenbemesters (na hoofdgewas)	8
	5. Aanplant houtige elementen (bomen/struiken)	8
	3.2 Verlagen indirecte CO ₂ uitstoot	8
	6. Reductie kunstmestgebruik	8
	7. Reductie gebruik chemische bestrijdingsmiddelen	9
	3.3 Verlagen directe CO ₂ uitstoot (brandstof)	9
	8. Niet-kerende grondbewerking of ondiep ploegen	9
	9. Alternatieve brandstoffen	9
4	Onderbouwing van verwachte CO₂ vastlegging en besparing van de maatregelen	10
	4.1 Koolstofvastlegging in de bodem en biomassa	10
	1. Compost toedienen	10
	2. Vaste mest aanwenden	10
	3. Drijfmest aanwenden	11
	4. Groenbemesters (na hoofdgewas)	11
	5. Aanplant houtige elementen (bomen/struiken)	11
	4.2 Verlagen indirecte CO ₂ uitstoot	11
	8. Reductie kunstmestgebruik	11
	9. Reductie gebruik chemische bestrijdingsmiddelen	12
	4.3 Verlagen directe CO ₂ uitstoot (brandstof)	12
	8. Niet-kerende grondbewerking of ondiep ploegen	12
	9. Alternatieve brandstoffen	12
5	Literatuur	13

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Binnen het Europese project Climate KIC, gericht op kennis en innovatie uitwisseling, is een samenwerking ontstaan tussen Wageningen University & Research en Farm Frites. Farm Frites wil graag een frites product op de markt brengen dat klimaatneutraal of klimaatpositief is (planet positive fries). Dit houdt in dat alle CO₂ uitstoot uit het hele productieproces gecompenseerd moet worden in geval van klimaatneutraal, of er zelfs extra CO₂ gecompenseerd of vastgelegd moet worden in het geval van klimaatpositief. Farm Frites wil dit graag doen door in eerste instantie in te zetten op een verlaging van de CO₂ uitstoot in het productieproces. Om de overige uitstoot te compenseren, wordt ingezet op de verlaging van directe en indirecte CO₂ uitstoot en het vastleggen van koolstof in de bodem en biomassa (carbon farming) tijdens de aardappelteelt. Bodems bevatten een bepaalde hoeveelheid koolstof in de bodem organische stof. Wanneer de organische stof in de bodem toeneemt, zal dit leiden tot effectieve koolstof opslag in de bodem. Hierbij is het wel belangrijk, dat deze koolstof voor langere tijd wordt opgeslagen. Het vastleggen van koolstof is een langzaam proces, terwijl het afbreken ervan heel snel kan gaan.

1.2 Werkwijze

In deze notitie wordt een overzicht gegeven van verschillende maatregelen die bij kunnen dragen aan het verminderen van de CO₂ voetafdruk, door het verminderen van uitstoot of door het vastleggen van koolstof in de bodem. Hierbij is gefocust op maatregelen rondom de teelt van aardappels. Hierdoor zijn maatregelen zoals meer rustgewassen of grasland en het inwerken van stro buiten beschouwing gelaten.

Om tot deze set van maatregelen te komen is gebruik gemaakt van de huidige literatuur, en meest recente onderzoeken, waar mogelijk. Om zo dicht mogelijk bij de Nederlandse omstandigheden en praktijk te blijven, is er voor koolstofvastlegging in de bodem gebruik gemaakt van data uit het project Slim Landgebruik (www.slimlandgebruik.nl), indien deze beschikbaar waren. Het project Slim Landgebruik poogt de effectiviteit van verschillende maatregelen ten behoeve van koolstofvastlegging in de bodem te kwantificeren. Voor overige data is gebruik gemaakt van diverse wetenschappelijke literatuur.

In Hoofdstuk 1 wordt de selectie van maatregelen getoond die relevant zijn en bewezen effectief zijn. Vervolgens worden in Hoofdstuk 2 deze maatregelen verder toegelicht, inclusief de verwachte CO₂ besparing en baten voor een teler. In Hoofdstuk 3 volgt daarna de wetenschappelijke onderbouwing van de data en de genoemde getallen voor de verwachte CO₂ besparing, inclusief enkele gedane aannames.

NB: Voor alle genoemde maatregelen geldt dat er kans is dat ze al toegepast worden en dat uitbreiding van de implementatie niet meer goed mogelijk is. Zo kan bijvoorbeeld de beschikbaarheid van compost erg laag zijn of worden groenbemesters al maximaal toegepast. Dit betekent dat het handelingsperspectief en het effect van de maatregelen niet gelijk zullen zijn bij alle ondernemers.

Disclaimer: Dit onderzoek is gedaan op basis van de huidige literatuur en data. Hierin is er een grote variatie in de schattingen van koolstofvastlegging. Daarom zullen de data in deze notitie regelmatig geüpdatet moeten worden om actueel te blijven.

2 Maatregelen voor CO₂ vastlegging en besparing op het aardappelperceel

In dit hoofdstuk worden de maatregelen genoemd die geschikt zijn bevonden om CO₂ besparing te realiseren rondom de teelt van frites aardappelen op de akker zelf. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen maatregelen gericht op: a) koolstofvastlegging in de bodem en biomassa, b) verlagen indirecte CO₂ uitstoot en c) verlagen directe CO₂ uitstoot (brandstof). Deze staan in Tabel 1.

Tabel 1. Geselecteerde maatregelen voor koolstofvastlegging.

Nr.	Maatregel
Koolstofvastlegging in de bodem en biomassa	
1	Compost toedienen
2	Vaste mest aanwenden
3	Drijfmest aanwenden
4	Groenbemesters (na hoofdgewas)
5	Aanplant houtige elementen (bomen/struiken)
Verlagen indirecte CO₂ uitstoot	
6	Reductie kunstmestgebruik
7	Reductie gebruik chemische bestrijdingsmiddelen
Verlagen directe CO₂ uitstoot (brandstof)	
8	Niet-kerende grondbewerking of ondiep ploegen
9	Alternatieve brandstoffen

3 Toelichting en verwachte CO₂ vastlegging en besparing van de maatregelen

De benoemde maatregelen in Hoofdstuk 1, worden hier verder toegelicht, de kengetallen voor verwachte CO₂ besparing worden gegeven en de bijkomende baten voor de teler.

Voor koolstofvastlegging in de bodem en biomassa geldt dat effecten op lange termijn optreden en variabel zijn. Dit heeft onder andere te maken met de grote spreiding in OS-gehalte tussen agrarische bedrijven (Lesschen et al. 2020). Ook is de verwachting dat een maximum bereikt wordt voor de koolstofvastlegging waardoor niet meer koolstof vastgelegd kan worden. Het is mogelijk dat dit maximum verschilt voor verschillende bodems (Lesschen et al. 2020). De hier benoemde waarden voor de effectiviteit van de maatregelen kunnen dus hoger of lager uitvallen bij verschillende bedrijven. De effectiviteit van maatregelen gericht op de verlaging van indirecte en directe CO₂ uitstoot is over het algemeen eenvoudiger te kwantificeren.

3.1 Koolstofvastlegging in de bodem en biomassa

1. Compost toedienen

Met het toedienen van compost wordt er een organische meststof aangebracht op het perceel, welke voor een deel bestaat uit koolstof. Het toedienen van compost zal de organische stof in de bodem verhogen, wat kan leiden tot een betere bodemkwaliteit, zowel fysisch (structuur), chemisch (nutriënten) en biologisch (bodemleven).

De verwachte koolstofvastlegging en daarmee CO₂ besparing is **74 kg CO₂-eq./ton compost**. Hierbij wordt uitgegaan van een jaarlijkse toediening op het perceel, dus ook in de andere gewassen in de gewasrotatie. Indien er bijvoorbeeld éénmaal in de vier jaar compost wordt toegediend, zal de vastlegging gedeeld moeten worden door vier. De kwaliteit van compost zal invloed hebben op de effectieve vastlegging, maar dit is nog te beperkt onderzocht om een onderscheid te maken. Op zandgronden wordt een kleiner effect verwacht, maar ook dit is nog beperkt onderzocht.

2. Vaste mest aanwenden

Vaste mest is een koolstofrijke organische meststof. Bij vaste mest wordt er uitgegaan van de vaste mest van rundvee of varkens (bijv. ruige mest, potstalmest), vaak verrijkt met stro. Het aanwenden van vaste mest zal leiden tot een verhoogd organische stofgehalte in de bodem, wat kan leiden tot een betere bodemkwaliteit, zowel fysisch (structuur), chemisch (nutriënten) en biologisch (bodemleven).

De verwachte koolstofvastlegging en daarmee CO₂ besparing is **25 kg CO₂-eq./ton vaste mest**. Hierbij wordt uitgegaan van een jaarlijkse toediening, dus ook in de andere gewassen in de gewasrotatie. Indien er bijvoorbeeld éénmaal in de vier jaar vaste mest wordt toegediend, zal de vastlegging gedeeld moeten worden door vier. Er zijn vrij weinig gegevens beschikbaar over de koolstofvastlegging bij vaste mest. Ook hier geldt dat er een verschil in kwaliteit van vaste mest is, die effect zal hebben op de verwachte koolstofvastlegging.

3. Drijfmest aanwenden

Met het aanwenden van drijfmest wordt ook een deel organische stof aangevoerd. Ten opzichte van vaste mest of compost is dit aandeel echter een stuk lager. Drijfmest is meestal rundvee- of varkensdrijfmest.

De verwachte koolstofvastlegging en daarmee CO₂ besparing is **6 kg CO₂-eq./ton drijfmest**. Een ton drijfmest komt vaak ongeveer overeen met 1 kuub. Drijfmest zit bij veel telers al standaard in het bemestingsplan. Bij het verhogen van de drijfmestgiften moet rekening gehouden worden met hogere risico's op nutriëntenverliezen, voornamelijk in de vorm van stikstof (N).

4. Groenbemesters (na hoofdgewas)

Met het telen van groenbemesters na een hoofdgewas wordt er koolstof vastgelegd in de plant en zijn wortels. Deze koolstof wordt na het inwerken van de groenbemester onderdeel van de organische stof in de bodem. Er is tussen verschillende soorten groenbemesters wel enige variatie in koolstofvastlegging en ook de groeiomstandigheden kunnen hierop een effect hebben. Het gebruik van groenbemesters kan, naast koolstofvastlegging, resulteren in meer positieve effecten zoals: een verlaagde N-gift en betere gewasopbrengst in volgvruucht, een betere bodemstructuur, minder N uitspoeling, mogelijke aaltjesbeheersing en meer onder- en bovengrondse biodiversiteit.

Voor de verwachte koolstofvastlegging en daarmee CO₂ besparing van groenbemesters wordt er onderscheid gemaakt tussen groenbemesters gezaaid vóór 1 september en na 1 september. Indien gezaaid vóór 1 september is de verwachte koolstofvastlegging **1285 kg CO₂-eq./ha/jaar**. Gezaaid na 1 september betreft dit **643 kg CO₂-eq./ha/jaar**. Een voorwaarde hiervoor is een geslaagde groenbemesterteelt met goede opkomst. Er wordt hierbij vooralsnog geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten of mengsels van groenbemesters, of het inwerken in de winter of het voorjaar. Wel is dit cijfer gebaseerd op de teelt van een groenbemester in ieder jaar van de gewasrotatie, dus ook na de andere gewassen in de gewasrotatie.

5. Aanplant houtige elementen (bomen/struiken)

Met de aanplant van houtige elementen wordt het planten van bomen en struiken bedoeld rond of op percelen. Dit kan in de vorm van erfbeplanting, bomenrijen, windhagen of beplanting in resterende hoekjes. Er kan hierbij koolstof vastgelegd worden in de boven- en ondergrondse biomassa van de boom, maar ook in de bodem via bladval en afstervende wortels. Bijkomende baten voor een teler zijn een toenemende biodiversiteit, verfraaiing van het landschap en een verbeterd microklimaat, bijvoorbeeld via het breken van de wind. Daarnaast kan, afhankelijk van de te kiezen soorten, een 2^e teelt en dus oogst gerealiseerd worden in de vorm van noten, vruchten of hout.

Voor de verwachte koolstofvastlegging en daarmee CO₂ besparing van houtige elementen wordt onderscheid gemaakt tussen drie soorten houtige elementen. Voor langzaam groeiende bomen wordt gerekend met **4400 kg CO₂-eq./ha/jaar**, voor snelgroeiende bomen met **7000 kg CO₂-eq./ha/jaar** en voor struikachtigen en laagstam bomen met **1700 kg CO₂-eq./ha/jaar**. Hierbij wordt bij bomen uitgegaan van een beplanting van 100 bomen per hectare, en bij struiken een dichtgroeiende beplanting. Deze getallen zijn een gemiddelde van de groeiduur van een boom/struik. Deze getallen kunnen alleen gebruikt worden als deze enkel worden ingezet als koolstofbesparing voor de aardappelteelt, en mogen niet dubbel geteld worden.

3.2 Verlagen indirecte CO₂ uitstoot

6. Reductie kunstmestgebruik

Door het verminderen van het kunstmestgebruik wordt er indirect CO₂ bespaard. Bij de productie van kunstmest, met name bij stikstofkunstmest, worden grote hoeveelheden energie gebruikt, meestal afkomstig uit fossiele brandstoffen. Het verlagen van kunstmestgiften voorkomt dus indirect CO₂ uitstoot.

De verwachte CO₂ besparing bedraagt **2,6 kg CO₂-eq./kg N** voor stikstofkunstmest, **1,3 kg CO₂-eq./kg P₂O₅** voor fosfaatkunstmest en **0,3 kg CO₂-eq./kg K₂O** voor kalikunstmest. Dit geldt dus voor elke verminderde kg gebruikte N, P₂O₅ en K₂O.

7. Reductie gebruik chemische bestrijdingsmiddelen

Het verminderen van het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen zal indirect CO₂ besparen, omdat in de productie van chemische bestrijdingsmiddelen vaak fossiele energie gebruikt wordt. Een mogelijk bijkomend voordeel bij een verlaagd gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen is een hogere biodiversiteit, kostenbesparing en daarnaast kan het bijdragen aan de maatschappelijke acceptatie.

De verwachte besparing bedraagt **20,5 kg CO₂-eq./kg actieve stof**, dit is een gemiddelde en dit geldt voor alle middelen.

3.3 Verlagen directe CO₂ uitstoot (brandstof)

8. Niet-kerende grondbewerking of ondiep ploegen

Een verandering van conventioneel ploegen naar niet-kerende grondbewerking (NKG) of ondieper ploegen zal brandstof besparen, en daarmee directe CO₂ uitstoot. Bij NKG wordt de bodem niet meer gekeerd, maar wordt deze losgetrokken met bijvoorbeeld een schijveneg of een cultivator. Bij ondiep ploegen wordt de ploegdiepte kleiner, en kan er bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van een eco-ploeg. Naast een besparing van CO₂ uitstoot zal dit voor de teler ook een besparing geven op brandstof- en onderhoudskosten. NKG kan daarnaast leiden tot een betere bodemstructuur, terwijl ondiep ploegen in vergelijking tot NKG een betere onkruidonderdrukking geeft. NKG kan mogelijk ook leiden tot een licht verhoogde koolstofopslag in de bodem, maar dit is nog niet aangetoond in Nederland.

De verwachte verlaging en daarmee directe CO₂ besparing bedraagt **25% voor NKG en ondiep ploegen**. Voor ondiep ploegen wordt uitgegaan van een ploegdiepte van 15 cm. Dit bedraagt enkel een brandstofbesparing op de bewerking waarin anders geploegd zou worden, en geldt niet voor het totale brandstofverbruik. Hiervoor moet dus bekend zijn hoeveel brandstof gebruikt wordt bij het ploegen.

9. Alternatieve brandstoffen

Met het gebruik van alternatieve brandstoffen kan er direct CO₂ bespaard worden. Het gaat hierbij om het vervangen van 'gewone' diesel door brandstoffen als biodiesel, biogas en waterstof. Ook kunnen er blends met gewone diesel en biodiesel gebruikt worden. Voor biodiesel en biogas geldt dat er ook CO₂ uitgestoten wordt tijdens de verbranding, alleen hoeft deze door de oorsprong van de diesel niet meegerekend te worden. Voor sommige alternatieve brandstoffen zullen er wel investeringen gedaan moeten worden in het machinepark.

De verwachte CO₂ besparing is uitgedrukt in kg CO₂-eq. per L 'gewone' dieserverbruik. Het moet dus bekend zijn hoeveel alternatieve brandstof er gebruikt wordt. De besparing bedraagt voor de volgende alternatieve brandstoffen (Tabel 2):

Tabel 2: CO₂ besparing met alternatieve brandstoffen

<i>Alternatieve brandstof</i>	<i>Toelichting</i>	<i>Besparing per L gewone diesel</i>
Diesel (B7)	Blend met 7% biodiesel en 93% fossiele diesel	0,2 kg CO₂-eq./L
Bio-diesel	FAME biodiesel	3,0 kg CO₂-eq./L
Bio-LNG	Biogas	2,3 kg CO₂-eq./L
Bio-CNG	Groen gas	2,6 kg CO₂-eq./L
Waterstof	Groene waterstof	3,1 kg CO₂-eq./L

4 Onderbouwing van verwachte CO₂ vastlegging en besparing van de maatregelen

4.1 Koolstofvastlegging in de bodem en biomassa

1. Compost toedienen

Er wordt uitgegaan van één kengetal voor alle typen compost en grondsoorten: **74 kg CO₂-eq./ton compost**. Dit getal is berekend aan de hand van data uit Slim Landgebruik (Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020). De positieve waarden uit de experimenten zijn daarvoor gebruikt, gegeven in vastlegging per ton organische stof (OS) (Tabel 3).

Tabel 3: Koolstofvastlegging door compost

Grondsoort en locatie	Compost type	Bron	Vastlegging (ton CO ₂ -eq./ha/jaar/ton OS)
Centrale klei Lelystad	-	Koopmans et al. 2020	0,51
Centrale klei Lelystad	Natuurcompost	Koopmans et al. 2020	0,34
Centrale klei Lelystad	GFT-compost	Koopmans et al. 2020	0,43
Zuidelijk zand	-	Koopmans et al. 2019	0,13
		<i>gemiddeld</i>	0,35

Het gemiddelde OS-gehalte van compost (champost, GFT-compost, groencompost) uit het Handboek Bodem & Bemesting (2021) is 211 kg OS/ton verse compost. Dit betekent dat met een gemiddelde vastlegging van 0,35 ton CO₂-eq./ha/jaar/ton OS en een OS-gehalte van 211 kg OS/ton verse compost, een vastlegging van 74 kg CO₂-eq./ton compost (= 0,35 * 211).

Hier gaat het echter om een gemiddelde van bovengenoemde data, en aan deze data is te zien dat daar ook best wat variatie in zit. Deze variatie is dus ook verwacht in de werkelijke koolstofvastlegging door het toedienen van compost.

2. Vaste mest aanwenden

Er wordt uitgegaan van één kengetal voor vaste mest op verschillende grondsoorten: **25 kg CO₂-eq./ton vaste mest**. Dit getal is berekend aan de hand van data uit Slim Landgebruik (Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020). Er waren maar twee datapunten voor vaste mest, allebei op kleigrond (Tabel 4).

Tabel 4: Koolstofvastlegging door vaste mest

Grondsoort en locatie	Vast mest type	Bron	Vastlegging (ton CO ₂ -eq./ha/jaar/ton OS)
Centrale klei Lelystad	Potstalmest	Koopmans et al. 2020	0,29
Centrale klei	-	Koopmans et al. 2020	0,03
		<i>gemiddeld</i>	0,16

Het gemiddelde OS-gehalte van vaste mest (rundvee grupstal) uit het Handboek Bodem & Bemesting (2021) is 155 kg OS/ton verse compost. Voor potstalmest zal dit mogelijk wat hoger uitvallen, maar deze staat niet gegeven in het Handboek bodem & Bemesting. Dit betekent dat met een gemiddelde vastlegging van 0,16 ton CO₂-eq./ha/jaar/ton OS en een OS-gehalte van 155 kg OS/ton vaste mest, een vastlegging van 25 kg CO₂-eq./ton compost (= 0,16 * 155).

3. Drijfmest aanwenden

Er wordt uitgegaan van één kengetal voor drijfmest op verschillende grondsoorten: **6 kg CO₂-eq./ton drijfmest**. Vanuit de data uit Slim Landgebruik wordt niet direct een duidelijke koolstofvastlegging aangetoond bij het gebruik van drijfmest (Koopmans et al. 2019; Koopmans et al. 2020). De Cool Farm Tool (coolfarmtool.org) rekent echter wel met een redelijke koolstofvastlegging bij het gebruik van drijfmest (65 kg CO₂-eq./ton drijfmest gedurende de eerste 20 jaar van toediening). Omdat er in Nederland een lange historie is van drijfmestgebruik en er nog geen duidelijke effecten zijn gemeten op koolstofvastlegging, wordt een voorzichtig getal gebruikt voor de koolstofvastlegging bij drijfmest, wat berekend is op 25% van de koolstofvastlegging van vaste mest.

4. Groenbemesters (na hoofdgewas)

Voor groenbemester zijn er twee kengetallen genomen: **1285 kg CO₂-eq./ha/jaar** wanneer de groenbemester is gezaaid vóór 1 september en **643 kg CO₂-eq./ha/jaar**, wanneer gezaaid ná 1 september. Hierbij wordt (nog) geen onderscheid gemaakt tussen verschillende plantsoorten of grondsoorten. Deze kengetallen gelden echter niet voor een monocultuur facelia of wikke, aangezien deze gewassen een lage droge stof productie hebben vergeleken met groenbemesters zoals bladrammenas en Japanse haver.

In Nederland is koolstofvastlegging door groenbemesters nog niet aangetoond (Koopmans et al. *niet gepubliceerd*). Daarom wordt er een internationale review door Bolinder et al. (2020) gebruikt voor de indicatie van koolstofvastlegging. Uit deze review komt een koolstofvastlegging van 990-1580 kg CO₂-eq./ha/jaar. Het gemiddelde hiervan is 1285 kg CO₂-eq./ha/jaar en wordt als kengetal genomen voor groenbemesters gezaaid vóór 1 september. Uit een rapport van Selin Norén et al. (2021) blijkt dat onder de Nederlandse omstandigheden, groenbemesters gezaaid na 1 september ongeveer de helft van de droge stof productie hebben dan vroeg gezaaide groenbemesters. Daarom wordt voor groenbemesters ná 1 september het kengetal gehalveerd tot 643 kg CO₂ eq./ha/jaar. Dit is natuurlijk een grove indicatie.

5. Aanplant houtige elementen (bomen/struiken)

De drie opgenomen kengetallen voor de aanplant van houtige elementen zijn: **4400 kg CO₂-eq./ha/jaar** voor langzaam groeiende bomen, **7000 kg CO₂-eq./ha/jaar** voor snel groeiende bomen en **1700 kg CO₂-eq./ha/jaar** voor struikachtigen en laagstambomen. Deze kengetallen zijn afkomstig uit de factsheet agroforestry van Selin Norén et al. (2019).

De kengetallen betreffen de gemiddelde koolstofvastlegging gedurende de groeifase van de boom. In de praktijk legt een boom minder vast in begin dan bij de helft van de groeiduur. Het getal is exclusief koolstofvastlegging van de begroeiing onder de bomen (vaak gras) maar inclusief de koolstofvastlegging in de bodem door worteling en bladval van de boom zelf. Voor een meer blijvende koolstofvastlegging moeten de bomen voor langere tijd blijven staan of kan het hout verwerkt worden waarbij de koolstof vastgelegd blijft. Voor het berekenen van de koolstofvastlegging van een bomenrij of een strook van bijvoorbeeld 6 m breed, wordt een berekening gemaakt op basis van een schatting van het oppervlak wat onder de boomkroon staat of komt te staan.

4.2 Verlagen indirecte CO₂ uitstoot

8. Reductie kunstmestgebruik

De drie kengetallen bij de reductie in kunstmestgebruik zijn **2,6 kg CO₂-eq./kg N**, **1,3 kg CO₂-eq./kg P₂O₅** en **0,3 kg CO₂-eq./kg K₂O** voor stikstof-, fosfaat- en kalikunstmest respectievelijk. Deze waarden zijn gefocust op de Nederlandse markt en komen alle drie uit een rapport van het NMI (de Haas & van Dijk. 2010). Hierbij wordt er verondersteld dat er fossiele energie gebruikt wordt voor de productie van kunstmest. Voor een exacte kwantificering zouden ook waarden van producenten gebruikt kunnen worden, deze zijn echter moeilijk te achterhalen.

9. Reductie gebruik chemische bestrijdingsmiddelen

Het kengetal voor de verlaging van chemische middelengebruik is **20,5 kg CO₂-eq./kg actieve stof**. Dit getal is afkomstig uit de modelomschrijving van Cool Farm Tool (Haverkort & Hillier, 2011) en geldt voor alle chemische bestrijdingsmiddelen. In werkelijkheid zal er verschil zijn tussen verschillende middelen, en zullen deze wat hoger of lager uit kunnen pakken. Waarden per middel zijn echter moeilijk te achterhalen en daarom wordt dit kengetal aangehouden.

Indien er door een verminderd verbruik ook minder toedieningen plaatsvinden kan dit ook brandstof, en daarmee CO₂ uitstoot besparen. Mogelijk wordt dit echter opgeheven door een verhoogde mechanische onkruidbeheersing. Daarom is dit hierin niet meegenomen.

4.3 Verlagen directe CO₂ uitstoot (brandstof)

8. Niet-kerende grondbewerking of ondiep ploegen

Het kengetal voor de brandstofbesparing is **25% voor NKG en ondiep ploegen**. Dit betreft de besparing voor de bewerking ploegen. Er wordt hierbij geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende machines die gebruikt worden voor NKG. Voor ondiep ploegen wordt 15 cm aangehouden.

In onderzoek van Vermeulen et al. (2013) op zandgrond in Nederland wordt met NKG een brandstofbesparing van 25% gerealiseerd in gangbare teelt. Een vergelijkbare range van brandstofbesparing wordt gegeven in een rapport van De Wolf et al. (2019). Hiermee lijkt de 25% een redelijke indicatie van de brandstofbesparing voor NKG.

In een onderzoek van Kouwenhoven & Boer (2000) is aangetoond dat er met ondiep ploegen een brandstofbesparing van 1L per cm ploegdiepte plaatsvindt. Een ecoploeg op 15 cm zal daarbij in vergelijking tot een ploegdiepte van 20-25 cm een brandstofbesparing van 25-40% geven. Om ook nog wat rekening te houden met overige brandstofkosten en het transport naar de percelen toe, wordt hiervoor 25% als indicatie genomen.

NB: Er zijn ook aanwijzingen dat met NKG er meer koolstof vastgelegd wordt in de bodem. Dit is in Nederland echter nog niet overtuigend aangetoond (Koopmans et al. 2020), en wordt daarom niet meegenomen in deze lijst.

9. Alternatieve brandstoffen

De kengetallen voor de besparing van CO₂ uitstoot bij het overschakelen naar alternatieve brandstoffen zijn gegeven in Tabel 2. Deze kengetallen zijn berekend aan de hand van de CO₂ emissie per brandstof en de energie content van deze brandstoffen, zie Tabel 5. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat bij een gelijke energie content een vergelijkbare hoeveelheid 'arbeid' verzet wordt.

Tabel 5: Berekening van CO₂ besparing voor alternatieve brandstoffen

Brandstof	CO ₂ -emissie* (kg CO ₂ / eenheid)	Eenheid	Energie content ** (MJ/eenheid)	Relatieve energie content t.o.v. diesel	Besparing per liter diesel verbruik
Diesel	3,473	L	36	1,00	0,00
Diesel (B7)	3,262	L	36	1,00	0,21
Bio-diesel (FAME)	0,449	L	33	0,92	2,98
Bio-LNG	1,431	kg	44	1,23	2,31
Bio-CNG	1,049	kg	44	1,23	2,62
Waterstof groen	1,092	kg	120	3,33	3,15

* bron: <https://www.co2emissiefactoren.nl/>

** bron: Kolb & Siegemund (2017)

5 Literatuur

- Bolinder, M. A., Crotty, F., Elsen, A., Frac, M., Kismányoky, T., Lipiec, J., ... & Kätterer, T. (2020). The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(6), 929-952.
- De Haas, M. J. G., & Van Dijk, T. A. (2010). Inventarisatie klimaatvriendelijke kunstmest. Nutriënten Management Instituut NMI
- De Wolf, P., Dawson, A., & Klompe, K. (2019). Kosten en baten van bodemaatregelen: Grondbewerking, organische stofaanvoer en *Tagetes patula* als aaltjesvanggewas (No. WPR-819). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- Handboek Bodem en Bemesting. 2021. www.handboekbodemenbemesting.nl
- Haverkort, A. J., & Hillier, J. G. (2011). Cool farm tool–potato: model description and performance of four production systems. *Potato Research*, 54(4), 355-369.
- Kolb, O., & Siegemund, S. (2017). Study on the Implementation of Article 7 (3) of the “Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure”-Fuel Price Comparison Study on the Implementation of Article 7 (3). Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastr, 7(3).
- 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., van Opheusden, M., Noren, I. S., Slier, T., & Wagenaar, J. P. (2020). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: Voortgangsrapportage 2020. Louis Bolk Instituut.
- Koopmans et al. *niet gepubliceerd*.
- Kouwenhoven, J. K., & Boer, J. (2000). Ondiep ploegen met ecoploeg aantrekkelijk. *Landbouwmechanisatie*, 51(9), 12-13.
- Lesschen, J.P., H. Heesmans, J. Mol-Dijkstra, A. van Doorn, E. Verkaik, I. van den Wyngaert en P. Kuikman (2012). Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur. Alterra rapport 2396 ISSN 1566-7197. 64 p.
- Selin Norén, I., Keur, J., Vijn, M. P., Schoutsen, M. A., Cuperus, F., Slier, T., de Vries, W., van Goor, W., & Schrijver, R. A. M. (2019). Klimaatcompensatie met agroforestry, wat is mogelijk? Handreiking voor agrarisch ondernemers die bomen willen planten op hun bedrijf. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/501459>
- Selin Norén, I., van Geel, W., & de Haan, J. (2021). Cover crop reference values: Effective organic matter and nitrogen uptake.
- Vermeulen, G. D., Nieuwenhuizen, A. T., & Verwijs, B. R. (2013). *Brandstofverbruik in teeltsystemen met kerende en niet-kerende grondbewerking: verslag van metingen op zandgrond op proefboerderij Unifarm* (No. 537). Plant Research International, Business Unit Agrosysteemkunde.

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Notitie WPR-OT-922

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

