



Toepassingen en potentieel van biochar



CE Delft

Committed to the Environment

Toepassingen en potentieel van biochar

Dit rapport is geschreven door:
Maarten de Vries, Heleen Groenewegen, Kris Manna en Pelle Sinke

Delft, CE Delft, juni 2025

Publicatienummer: 25.240484.120

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Maarten de Vries (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	5
	1.1 Aanleiding	5
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	5
	1.3 Methode en afbakening	6
	1.4 Leeswijzer	6
2	Biochar en koolstofcertificaten	8
	2.1 Inleiding	8
	2.2 Koolstofmarkten en koolstofcertificaten	9
	2.3 Waarde van koolstofcertificaten voor biochar	10
	2.4 EU Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) Regulation	12
	2.5 Biochar in bestaande certificeringsschema's	14
3	Techniek en toepassingen	20
	3.1 Inleiding	20
	3.2 Grondstoffen	20
	3.3 Productiemethoden	22
	3.4 Eigenschappen van biochar	25
	3.5 Permanentie van koolstofvastlegging	26
	3.6 Milieu- en klimaatprofiel biochar	28
	3.7 Toepassingen	33
4	Potentieel in Nederland	40
	4.1 Inleiding	40
	4.2 Aanbodpotentieel in Nederland	40
	4.3 Vraagpotentieel	41
	4.4 Economische effecten en businesscases	49
5	Conclusies en discussie	56
	5.1 Belangrijkste bevindingen	56
	5.2 Discussie en vooruitblik	58
	Literatuurlijst	61
A	Bijlage	68



Samenvatting

Aanleiding en doel

Biochar is een koolstofrijk product dat onder zuurstofarme condities wordt geproduceerd uit biomassa. Hierdoor kan CO₂ uit de atmosfeer in potentie langdurig in biochar worden vastgelegd. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) ziet een groeiende belangstelling voor biochar binnen subsidieregelingen als de Demonstratie Energie- en Klimaat-innovatie (DEI+) en TSE Industrie Studies. Deze toename roept vragen op over de werkelijke mogelijkheden van biochar. Om aanvragen beter te kunnen beoordelen, heeft CE Delft in opdracht van RVO onderzoek gedaan naar de toepassingen, milieueffecten en het theoretisch en realistisch potentieel van biochar in Nederland. De nadruk ligt hierbij op gecombineerde toepassingen, die zowel koolstofverwijdering als een ander nut dienen.

Koolstofmarkten en certificering

Allereerst hebben we de werking van de vrijwillige koolstofmarkt en de bestaande certificeringsschema's voor koolstofverwijdering op basis van biochar onderzocht. Het Europese raamwerk voor koolstofverwijderingscertificering (Carbon Removal and Carbon Farming regulation, CRCF) blijkt hierbij van groot belang. Naar verwachting wordt dit de standaard in Europa en mogelijk daarbuiten, en zal het een centrale rol spelen in toekomstig EU-beleid voor koolstofverwijdering. De methode voor certificering van biochar binnen het CRCF is nog in ontwikkeling, maar wordt vóór eind 2025 verwacht.

Uit onze vergelijking van bestaande certificeringsschema's voor de vrijwillige markt blijkt dat de duurzaamheidseisen in bestaande schema's niet uniform zijn. Eén van de aandachtspunten is de duurzaamheid van de toegestane grondstoffen.

In 2026 komt de Europese Commissie met een voorstel om koolstofverwijdering op te nemen in het Europese emissiehandelssysteem (ETS). Dit kan de vraag naar certificaten aanjagen. Of dit ook voor biochar geldt, is nog onzeker. Hoewel biochar binnen het CRCF wordt aangeduid als methode voor permanente koolstofverwijdering, is het nog niet duidelijk of biochar deel zal uitmaken van de koppeling aan het ETS.

Technologie en milieueffecten

Vervolgens hebben we de verschillende productiemethoden voor biochar beschreven. Biochar kan worden geproduceerd uit verschillende typen grondstoffen, en het type grondstof en de productiemethode bepalen samen de eigenschappen van het eindproduct en de co-producten die ontstaan, zoals pyrolyse-olie en synthesesgas.

Het aandeel stabiele koolstof¹ in de biochar hangt af van de gebruikte grondstoffen en de productiewijze, met name de temperatuur. Tot nu toe suggereert onderzoek dat, afhankelijk van de toepassing van de biochar, een groot deel van de koolstof tientallen tot duizenden jaren vastgelegd blijft.

¹ Dit betreft koolstof in specifieke cyclische structuren in de biochar, die vrijwel niet afbreekt. Dit type stabiele koolstof wordt ook aangeduid met de term inertiniet. De mate waarin koolstof in biochar permanent is opgeslagen hangt af van het aandeel inertiniet in de biochar.

Niet alle toepassingen van biochar leiden tot koolstofverwijdering, maar naast koolstofverwijdering kan biochar ook andere positieve effecten hebben op klimaat en milieu. Voorbeelden zijn de reductie van broeikasgasemissies en het bevorderen van biodiversiteit door bodemverbetering. Tegelijk kunnen negatieve effecten optreden, zoals vervuiling door zware metalen of door het ontstaan van poly-aromatische koolwaterstoffen (PAKs) tijdens het productieproces. Ook het gebruik van niet-duurzame biomassa kan tot tal van negatieve milieu- en klimaateffecten leiden, zoals effecten op landgebruik, biodiversiteit en klimaat.

Potentieel en toepassingen in Nederland

Er is een groot verschil tussen het technisch (theoretisch) potentieel en het realistische potentieel voor het gebruik van biochar in Nederland. Het technisch potentieel schatten wij op 4,4 tot 9,4 Mton per jaar. In de praktijk is de toepassing van biochar echter nog zeer beperkt. Voor de meeste toepassingen bestaan op korte termijn serieuze belemmeringen voor praktische uitvoering. Het grootste technisch potentieel voor biochar ligt in de akkerbouw, als bodemverbeteraar. Andere toepassingen zijn veenvervanging in de glastuinbouw, toevoeging aan veevoer of mest, gebruik in bouwmaterialen, toepassing in biovergisters en inzet in de staalproductie. De mate waarin er sprake is van koolstofverwijdering wisselt sterk per toepassing.

Op dit moment is de vraag naar biochar echter laag. Toepassing op akkers wordt voor akkerbouwers pas interessant als zij kunnen meedelen in de opbrengsten uit koolstofverwijderingscertificaten. Voor alle vormen geldt dat de businesscase pas aantrekkelijk wordt als de vraag naar koolstofverwijderingscertificaten toeneemt én de opbrengsten goed over de keten worden verdeeld. Ook de opbrengsten van co-producten spelen een belangrijke rol.

Het vaststellen van de businesscase wordt bemoeilijkt doordat literatuurwaarden voor de prijzen van biochar en certificaten sterk uiteen lopen. Ook hebben we aanwijzingen dat in de literatuur de prijs van biochar als product en de prijs van een koolstofverwijderingscertificaat regelmatig door elkaar worden gebruikt. Dit zijn echter twee duidelijk verschillende zaken. Dit leidt tot grote onzekerheden bij het uitwerken van specifieke businesscases.

Overwegingen

We formuleren in deze studie geen concrete aanbevelingen voor RVO, maar geven wel enkele belangrijke overwegingen mee:

- Biochar is één van de vele toepassingen van duurzame biomassa binnen het klimaatbeleid en de energietransitie. Het is belangrijk dat biochar expliciet wordt meegenomen in de afweging hoe deze schaarse grondstof wordt verdeeld.
- Koolstofverwijdering staat als beleidsveld én als markt nog in de kinderschoenen. Zonder aanvullende regulering zal de vraag naar koolstofverwijderingscertificaten, inclusief die voor biochar, beperkt blijven. Dit belemmert een haalbare businesscase voor biochar. De mate waarin biochar kan bijdragen aan koolstofvastlegging in Nederland hangt sterk af van toekomstige financiële en beleidsmatige prikkels binnen het koolstofverwijderingsbeleid.
- Biochar kan ook relevant zijn voor breder klimaat- en landbouwbeleid. Bepaalde toepassingen kunnen leiden tot emissiereductie, vermeden emissies of een hogere productie van groengas.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Biochar is een koolstofrijk product dat ontstaat door ontleding van biomassa onder zuurstof-arme condities. Hierdoor kan CO₂ uit de atmosfeer potentieel langdurig in biochar opgeslagen worden. De aanleiding voor deze studie is de door RVO vastgestelde toename in projectideeën gericht op biochar sinds de nieuwe openstelling van de regeling Demonstratie Energie en Klimaatinnovatie (DEI+) en TSE Industrie Studies. Biochar wordt daarbij in verband gebracht met koolstofverwijdering, maar ook met een mogelijk bodemverbeterend effect en een duurzaam vervangingspotentieel ten opzichte van andere (fossiele) koolstofhoudende producten, zoals bij staal- en asfaltproductie of in veevoer.

Tegelijkertijd bestaan er nog een aantal vragen over de techniek en de potentiële effecten van biochar. Deze vragen gaan bijvoorbeeld over mogelijke negatieve milieubelasting van biochar, de mate van permanentie van de koolstofverwijdering en de mogelijke toepassingen in Nederland.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden heeft RVO CE Delft verzocht een verdiepend onderzoek naar de toepassingen, effecten en het theoretisch en realistisch potentieel van biochar uit te voeren.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van deze studie is in de eerste plaats het versterken van de kennisbasis van RVO om daarmee de advisering rond aanvragen over biochar te versterken. In de tweede plaats is het doel om de kennis over biochar binnen de Rijksoverheid in den brede (met name KGG en LVVN) te verspreiden.

In dit onderzoek worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Wat wordt er momenteel in de certificeringsmethodes voor biochar meegenomen wat betreft:
 - a Vastlegging van koolstof (permanentie, welk percentage is vastgelegd).
 - b Hoe de vastlegging of permanentie van koolstof wordt gemonitord en/of gemeten.
 - c Worden (negatieve) neveneffecten op het milieu meegenomen in de certificering, en zo ja, hoe?
2. Wat is de stand van de techniek van biocharproductie en van de verschillende toepassingen van biochar?
3. Hoe permanent is de vastlegging van koolstof in biochar en hoe hangt dit samen met relevante interne en externe factoren?
4. Wat zijn de mogelijke milieubelastende effecten van biochar en hoe kunnen deze gemitigeerd worden?
5. Welke toepassingen van biochar zijn in Nederland te verwachten en met welk potentieel? Wat kan er gezegd worden over mogelijke businesscases en economische effecten?

1.3 Methode en afbakening

Deze studie is relatief beknopt in omvang maar omvat tegelijkertijd veel aspecten van biochar, van marktregulering tot concrete businesscases, en is bedoeld als kennisdocument. Er was daarom sprake van een afweging tussen diepgang en breedte in de te bespreken onderwerpen. We hebben deze balans proberen te vinden door aan de ene kant zoveel mogelijk uit te gaan van bestaande literatuur, maar aan de andere kant via een beperkt aantal gerichte interviews voldoende diepgang te creëren. We hebben hiertoe de volgende interviews uitgevoerd:

- Rian Visser (TNO), biochar-expert;
- Rene Rietra (WUR), expert bodemverbetering;
- Simon de Jonge (Natuur & Milieu), expert energie & grondstoffen;
- Sebastian Manhart, internationaal expert koolstofverwijdering en biochar.

Koolstofverwijdering is een zich snel ontwikkelend beleidsveld, en biochar een zich snel ontwikkelende methode² voor koolstofverwijdering. In algemene zin staat de toepassing van biochar nog in de kinderschoenen en zijn de onzekerheden over het potentieel groot. We hebben daarom bij ons literatuuronderzoek op gelet om zo veel mogelijk gebruik te maken van (zeer) recente bronnen.

Wat betreft afbakening richt deze studie zich in principe op toepassingen van biochar waarbij (ook) sprake is van koolstofverwijdering, naast eventuele andere nuttige opbrengsten of effecten. In de praktijk zijn we hier ruim mee omgegaan, omdat tijdens de studie bleek dat sommige toepassingen niet (significant) tot koolstofverwijdering leiden, maar wel tot reductie van broeikasgasemissies. Aangezien dat laatste ook heel relevant kan zijn in het kader van klimaatmitigatie hebben we deze toepassingen ook in de analyse meegenomen.

Het eerste deel van de studie richt zich op biochar in den brede: mondiale en Europese certificering en regulering en toepassingen van biochar in algemene zin. In het tweede deel van de studie kijken we specifiek naar de Nederlandse context. We bespreken het potentieel van biochar-toepassingen die in Nederland aan de orde zijn en schetsen voor een beperkt aantal toepassingen een mogelijke businesscase. Dat laatste betreft nadrukkelijk een ‘back-of-the-envelope’-berekening: niet alleen vanwege de beknopte aard van deze studie, maar ook vanwege de grote onzekerheden die er nog zijn rondom de toepassing van biochar in Nederland.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 schetst de huidige beleidscontext van koolstofmarkten en koolstofcertificaten. We gaan in op de Europese regelgeving voor certificering van koolstofverwijdering en behandelen de rol van biochar in bestaande certificeringsschema's. In dit hoofdstuk wordt Onderzoeksvraag 1 beantwoord.

In Hoofdstuk 3 komt de technologie voor de productie van biochar uitgebreid aan bod, alsmede de eigenschappen en milieueffecten van biochar. Daarnaast beschrijven we de verschillende toepassingen die biochar kan hebben. In dit hoofdstuk worden Onderzoeksvragen 2 t/m 4 beantwoord.

² Biochar is zelf uiteraard een product, maar als het gaat om de mogelijkheid om via de productie en toepassing van biochar koolstof uit de atmosfeer te verwijderen en op te slaan spreken we kortheidshalve van biochar als methode voor koolstofverwijdering, in lijn met de internationale literatuur.



Vervolgens zoomen we in Hoofdstuk 4 in op Nederland. We bespreken het aanbod- en vraagpotentieel van de belangrijkste biochar-toepassingen in Nederland. Ook gaan we in op de potentiële economische effecten van deze toepassingen en werken we een aantal mogelijke businesscases op hoofdlijnen uit. Hiermee wordt Onderzoeksvraag 5 beantwoord.

Tot slot vatten we de belangrijkste resultaten uit het onderzoek samen in Hoofdstuk 5 en bespreken we de conclusies die we hieruit kunnen trekken voor RVO.

2 Biochar en koolstofcertificaten

Tekstkader 1 - Samenvatting Hoofdstuk 2

- Via biochar kan koolstof verwijderd worden uit de atmosfeer en langdurig (en relatief stabiel) opgeslagen worden.
- Koolstofverwijdering kan worden ingezet als verdienmodel, doordat koolstofcertificaten verhandeld kunnen worden op de vrijwillige koolstofmarkt. De Europese Commissie komt in 2026 met een voorstel om koolstofverwijdering aan het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS), een verplichte koolstofmarkt, te koppelen.
- De prijs van koolstofcertificaten voor biochar is relatief hoog vergeleken met de bulk van de certificaten op de vrijwillige koolstofmarkt (veelal emissiereductie en bebossing), maar juist laag vergeleken met andere vormen van innovatieve koolstofverwijdering (zoals DACCS). De prijs varieert wel vrij sterk per project en door de tijd heen.
- Er zijn vier vrijwillige schema's actief in de certificering van Europese projecten: European Biochar Certificate C-sink, Puro.earth, en Riverse. Een belangrijke overkoepelende conclusie is dat het hebben van een koolstofcertificaat an sich niet garandeert dat aan de strengste duurzaamheidseisen wordt voldaan. Belangrijke verschillen tussen de methodieken zijn welke toepassingen voor biochar zijn toegestaan, hoe de netto (negatieve) emissies van een project worden berekend, en welke eisen aan co-benefits worden gesteld.
- Op Europees niveau wordt een methode ontwikkeld voor biochar koolstofcertificaten, binnen de EU Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) regulation. De wetgeving is van kracht, maar de methodologie voor biochar is nog niet gereed. Een conceptversie circuleert al wel. Een definitieve versie wordt eind 2025 verwacht en zal dan invloedrijk zijn voor de Europese markt.

2.1 Inleiding

Zolang biochar niet wordt verbrand blijft de daarin aanwezige koolstof voor lange tijd opgeslagen. Omdat de koolstof een biogene oorsprong heeft, wordt hierdoor netto CO₂ verwijderd uit de atmosfeer en langdurig vastgelegd, mits de emissies van productie niet hoger zijn dan die verwijderd worden. Dit netto negatieve klimaateffect kan groter zijn wanneer biochar duurzaam wordt geproduceerd.³ Er is hier sprake van indirecte koolstofopslag (Kowalska et al., 2020).⁴ Dit potentieel is opgemerkt als verdienmodel en daarom zijn verschillende methodologieën ontwikkeld om koolstofcertificaten voor de biocharketen uit te geven.

In dit hoofdstuk schetsen we de beleidscontext voor biochar-koolstofcertificaten en behandelen we enkele invloedrijke methodologieën inhoudelijk. Omdat dit hoofdstuk is gericht op koolstofverwijdering gaan we hier niet in op certificaten die alleen gericht zijn op de kwaliteit van de biochar zelf.⁵ Eigenschappen en kwaliteit van biochar komt terug in Hoofdstuk 3.

³ Dit komt doordat de emissies van productie van biochar worden verrekend met de verwijderde koolstof om tot een netto negatief klimaateffect over de hele keten te komen.

⁴ Bij indirecte koolstofopslag wordt gebruik gemaakt van natuurlijke processen, in dit geval fotosynthese, om CO₂ uit de lucht op te nemen en in een andere vorm op te slaan. Bij directe koolstofopslag wordt CO₂ bij de bron afgevangen en in diezelfde vorm opgeslagen, zoals bij CCS het geval is.

⁵ Bijvoorbeeld die garanderen dat bepaalde schadelijke stoffen beperkt voorkomen in biochar zodat toepassing in de landbouw mogelijk is.

2.2 Koolstofmarkten en koolstofcertificaten

Het Klimaatakkoord van Parijs uit 2015 vormt momenteel het belangrijkste kader voor mondiaal klimaatbeleid. De centrale doelstelling in dit akkoord is dat de wereldwijde gemiddelde temperatuur maximaal 2 graden mag stijgen ten opzichte van het pre-industriële tijdperk, en landen zich inzetten om de temperatuurstijging tot 1,5 graad te beperken (UN, 2015). Deze doelstelling is sindsdien vaak gekoppeld aan de noodzaak om in 2050 klimaatneutraliteit te bereiken. Het IPCC heeft aangegeven dat hiervoor in alle scenario's naast sterke emissiereductie van broeikasgassen ook koolstofverwijdering uit de atmosfeer noodzakelijk is (IPCC, 2023).

Een instrument dat zowel aan emissiereductie als aan koolstofverwijdering kan bijdragen is het beprijzen van de uitstoot van CO₂ en handel in emissierechten en koolstofcertificaten (waarmee emissies gecompenseerd of geneutraliseerd kunnen worden). Deze handel vindt plaats op zogenoemde koolstofmarkten.⁶ Er zijn verplichte en vrijwillige koolstofmarkten.

Handel in koolstofcertificaten, waar het in het kader van biochar over gaat, kan momenteel alleen plaats vinden op de ongereguleerde vrijwillige koolstofmarkt (er is geen centrale autoriteit). Een partij kan uitgestoten emissies compenseren door een koolstofcertificaat van een andere partij (of een georganiseerde keten) te kopen. Deze certificaten zijn gekoppeld aan projecten die broeikasgassen reduceren of verwijderen, en worden uitgegeven voor 1 ton netto negatief klimaateffect.⁷ De partij die hiermee haar emissies compenseert heeft vaak als doel om de claim 'CO₂-neutraal' te maken, of om aan bepaalde (interne) klimaatdoelstellingen te voldoen. Omdat er hierdoor vraag ontstaat naar koolstofcertificaten krijgen deze een bepaalde waarde. Deze waarde is hoger voor certificaten die uitgegeven zijn voor koolstofverwijdering, waar biochar onder valt, dan voor certificaten die zijn uitgegeven voor emissiereductie of vermeden emissies (zie Paragraaf 2.3). Biochar is een van de methoden voor koolstofverwijdering die door het IPCC als zodanig is erkend (International Biochar Initiative, 2025). Er zijn verschillende certificeringsschema's actief, die hun eigen kwaliteitsstandaarden hanteren. Dit is een bron van onzekerheid voor de milieu-integriteit. Wel zijn er overkoepelende kwaliteitsstandaarden waar schema's zich bij kunnen aansluiten, zoals het Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM) en de International Carbon Reduction and Offset Alliance (ICROA).

Tekstkader 2 - Accountingregels voor koolstofverwijdering

Een complex maar belangrijk onderwerp voor koolstofverwijdering is accounting, oftewel de boekhoudregels. Deze bepalen hoeveel koolstofverwijdering er kan worden geclaimd en aan wie deze kunnen worden toegekend. In de praktijk vindt accounting voor koolstofverwijdering nu plaats op projectbasis en volgens regels die op vrijwillige basis zijn vastgelegd. Onder het mondiale Klimaatverdrag (UNFCCC) moeten alle landen jaarlijks hun emissies registreren volgens VN-regels. Deze registratie is op territoriale basis, wat soms botst met een projectbenadering omdat een project zich over verschillende landen kan uitstrekken. Ook worden nog niet alle vormen van koolstofverwijdering als zodanig erkend door de VN-regels: koolstofopslag in de bodem en in houtbouw bijvoorbeeld wel, maar koolstofopslag via vezelgewassen niet. Dit maakt het ingewikkeld voor landen om koolstofverwijderingsprojecten mee te laten tellen voor hun klimaatinspanningen onder het verdrag van Parijs.

⁶ Zo genoemd omdat de beprijzing meestal betrekking heeft op de uitstoot van koolstofdioxide, CO₂. Andere broeikasgassen kunnen echter ook beprijsd worden, zoals ook gebeurt in bijvoorbeeld het Europese ETS. Er wordt dan gesproken over CO₂-equivalent (CO₂eq), waarbij de uitstoot van andere broeikasgassen wordt omgerekend in die van CO₂ via de Global Warming Potential (GWP) van het betreffende broeikasgas.

⁷ Voor het gemak spreken we in het kader van koolstofcertificaten verder over 'een ton CO₂'. Prijzen zijn bijvoorbeeld in €/ton CO₂ weergegeven.



Wel is op de meest recente VN-klimaatop (COP29 in Baku in 2024) een raamwerk vastgesteld voor internationale handel in koolstofcertificaten onder het Verdrag van Parijs (Art. 6). Dit zal naar verwachting leiden tot minder fragmentatie in de vrijwillige koolstofmarkt en meer koolstofverwijderingscertificaten van hoge kwaliteit (OPNA, 2024).

Er zijn verschillende certificatieschema's binnen de vrijwillige koolstofmarkt. De certificeringsschema's hebben allen eigen methodologieën om te bepalen wanneer een project 1 ton netto negatief klimaateffect genereert (tot op welke hoogte ketenemissies worden verrekend met de verwijderde CO₂), en aan welke aanvullende voorwaarden een project moet voldoen (bijvoorbeeld qua co-benefits). Hierdoor bestaan ook verschillende kwaliteitsniveaus tussen de schema's. Omdat de vrijwillige markt per definitie niet gereguleerd is kunnen certificatieschema's niet worden gedwongen bepaalde standaarden of kwaliteitsniveaus aan te houden. Voor een goed werkende markt zijn echter eenduidige spelregels nodig die de kwaliteit van de certificaten waarborgen. De Europese Commissie heeft dit belang erkend en overkoepelende richtlijnen gepubliceerd in de Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) Regulation (EU, 2024). Het idee is dat de CRCF zich tot een standaard ontwikkelt en een rol gaat spelen in toekomstige EU-wetgeving rondom koolstofverwijdering, waar wel een verplichtend element aan zit.

In Paragraaf 2.4 gaan we dieper in op de CRCF Regulation inzake biochar en in Paragraaf 2.5 beschrijven we de positie van biochar in enkele invloedrijke certificeringsschema's.

Er is ook een verplichte koolstofmarkt voor de energie-intensieve industrie, lucht- en zeevaart binnen de EU, het ETS. Het EU ETS heeft een limiet (cap) op het totaal aantal emissies dat binnen het systeem kan worden uitgestoten. Deze cap gaat elk jaar omlaag. Elk bedrijf dat onder het ETS valt moet emissierechten inleveren voor elke ton uitstoot van broeikasgassen. Emissierechten kunnen onderling worden verhandeld. Het is niet mogelijk voor deze bedrijven om met behulp van koolstofcertificaten aan een CO₂-reductieopgave te voldoen, omdat het EU-ETS een gesloten systeem is (Ministerie van EZK (DG Klimaat en Energie Directie Klimaat), 2019). Er wordt in Europa wel gesproken over de koppeling van verhandelbare koolstofcertificaten aan het ETS, zodat koolstofverwijdering een rol gaat spelen binnen het ETS. Dit wordt als optie besproken tijdens de review ervan (te publiceren in 2026) en zou per 2028 van kracht worden (EC DG for Climate Action, 2024a). Daarbij is het de vraag of biochar in aanmerking komt voor koppeling aan de verplichte markt. Het valt, net zoals methoden die gebruik maken van CCS, onder permanente opslag, maar is met meer onzekerheden omgeven.⁸

2.3 Waarde van koolstofcertificaten voor biochar

Koolstofcertificaten hebben een waarde op de (vrijwillige) markt, uitgedrukt in € per ton CO₂. Deze ton CO₂ kan zijn:

- 1 ton netto negatief klimaateffect op basis van uit de atmosfeer verwijderde CO₂.
 - Voorbeeld: Biochar of bosaanplant.

⁸ Biochar is stabiel en breekt gemiddeld genomen zeer langzaam af, maar er zullen tijdens toepassing meestal wel CO₂-emissies vrijkomen. De garantie voor koolstofverwijdering is daarom moeilijker te geven dan bij CCS, waar CO₂ in geologisch gesteente wordt geplaatst. De koppeling met het ETS is mede daardoor ingewikkeld, omdat het ETS is ingericht om de garantie te geven dat emissies afnemen. Zie CATF & CONCITO CATF, & CONCITO. (2024). *The Balancing Act: Risks and Benefits of Integrating Permanent Carbon Removals into the EU ETS*. <https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2024/11/26174743/carbon-removals-eu-ets.pdf> voor een analyse over dit onderwerp.



- 1 ton netto negatief klimaateffect op basis van 1 ton vermeden uitstoot van CO₂.
 - Voorbeeld: pv-panelen die elektriciteit van een kolencentrale vervangen.
- 1 ton netto negatief klimaateffect op basis van 1 ton gereduceerde CO₂-emissie.
 - Voorbeeld: Efficiënte kookstellen of verminderde methaanlekage van stortplaatsen.

De vrijwillige markt wordt mondiaal gedomineerd door certificaten voor emissiereductie (80%), en niet koolstofverwijdering (11%) (Smith et al., 2024). Van het totaal aantal verkochte certificaten voor koolstofverwijdering in 2023, is ongeveer 2% voor biochar (0,3 Mton CO₂-eq.).⁹ Wanneer gekeken wordt naar de *novel* koolstofverwijdering technieken (zoals DACCS), heeft biochar wel al het grootste volume. Ongeveer de helft van de certificaten voor biochar zijn daadwerkelijk al gerealiseerd, en daarvoor is de CO₂ dus uit de atmosfeer verwijderd (Smith et al., 2024). De andere helft betreft verkoop van certificaten voor toekomstige koolstofverwijdering (voorfinanciering van projecten).

Prijzen van koolstofcertificaten voor biochar op de mondiale markt varieerden in 2023 van \$42-\$250, met een gemiddelde van \$131 (CDR.fyi, 2024; Smith et al., 2024). Een jaar eerder, in 2022, was de gewogen gemiddelde prijs \$212 (Smith et al., 2024). De gewogen gemiddelde prijs voor certificaten voor bebossing was \$16 in 2023, en die van certificaten voor vermeden of gereduceerde uitstoot zijn gemiddeld genomen nog een stuk lager. Dat toont aan dat de prijs van de certificaten voor biochar relatief hoog is, al varieert die ook sterk.

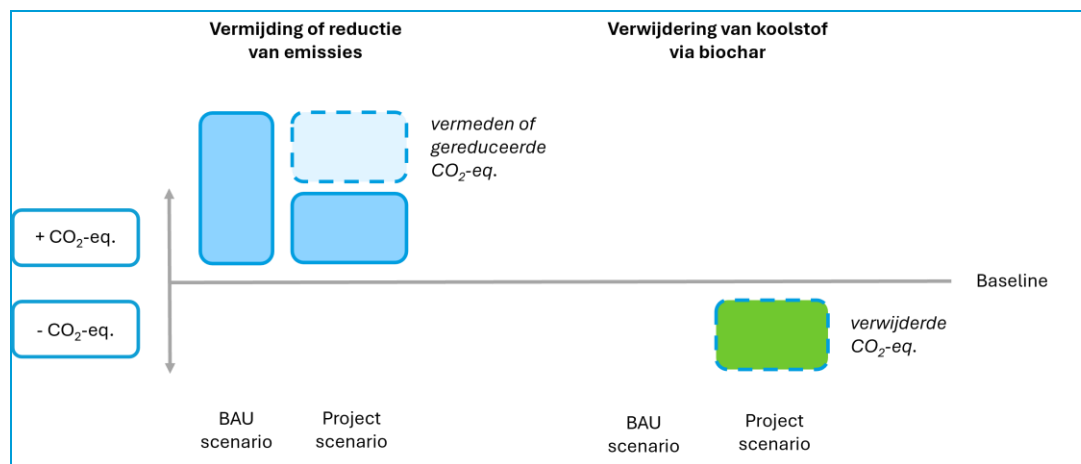
Tekstkader 3 - Wat zijn daadwerkelijk negatieve emissies?

De relatief hoge prijs van koolstofcertificaten voor biochar komt mede doordat zij daadwerkelijk negatieve emissies (koolstofverwijdering) vertegenwoordigen, in tegenstelling tot vermeden of gereduceerde emissies. Koolstofverwijdering zorgt ervoor dat CO₂ die al in de atmosfeer zit (en daar bijdraagt aan klimaatverandering) eruit wordt gehaald. Daarmee heeft het dus een netto negatief effect op de CO₂-concentratie in de atmosfeer.

Vermeden of gereduceerde emissies zorgen ervoor dat de hoeveelheid CO₂ die in de toekomst in de atmosfeer zou zijn gekomen, lager is. Beiden zijn noodzakelijk om klimaatverandering tegen te gaan, maar atmosferische koolstofverwijdering is de enige manier waarop echt negatieve emissies worden gerealiseerd (Tanzer & Ramirez, 2019). Bij compensatie, waar koolstofcertificaten vaak voor aangeschaft worden, is het de bedoeling om op netto 0 toegevoegde broeikasgassen aan de atmosfeer uit te komen, door positieve en negatieve emissies met elkaar te verrekenen. Een ton CO₂ die in de atmosfeer komt wordt dan gecompenseerd met een ton CO₂ die eruit wordt gehaald.

⁹ Deze toonaangevende bron definieert ook bebossing en andere natuur-gebaseerde koolstofverwijdering als 'duurzame koolstofopslag'. Verschillende bronnen online noemen hogere percentages bij de bijdrage van biochar, maar die hanteren dan een andere definitie van 'duurzame koolstofopslag', of kijken bijvoorbeeld alleen naar het aandeel biochar in de noveltechnieken.

Figuur 1 - Verschil vermijding of reductie van emissies en verwijdering van koolstof



Bron: (vrij naar Smith et al. 2024 Figuur 4.1)

BAU = Business As Usual

Project scenario = Project dat koolstofcertificaten genereert

2.4 EU Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) Regulation

De EU CRCF Regulation (EU, 2024) is ontwikkeld om te garanderen dat kwalitatief hoogwaardige koolstofcertificaten verhandeld kunnen worden in de EU. Het idee erachter is dat een goed functionerende markt essentieel is om de klimaatdoelen voor 2050 te halen. Onvermijdelijke restemissies na die tijd kunnen dan gecompenseerd (geneutraliseerd) worden met behulp van koolstofverwijdering. Een van de belangrijkste aspecten van dit kader is de set spelregels om de milieu-integriteit van de koolstofcertificaten te waarborgen. Schema's die opereren op de Europese vrijwillige koolstofmarkt kunnen (vrijwillig) aan deze spelregels getoetst worden. De kans is groot dat deze spelregels zeer invloedrijk gaan worden voor certificaten verhandeld in de EU.

Voorstanders van de EU CRCF juichen toe dat er een standaardisatie komt voor certificaten op de vrijwillige koolstofmarkt en wijzen op de solide basis die er nu ligt. Critici wijzen er onder andere op dat de milieu-integriteit van de certificaten onvoldoende is en greenwashing onvoldoende wordt tegengegaan (Carbon Market Watch, 2024; ECOS, 2025; Günther et al., 2024; IATP, 2024). Zij geven aan dat er een verschil in status moet zijn tussen de verschillende klassen die momenteel gedefinieerd zijn in CRCF (zie Figuur 2):

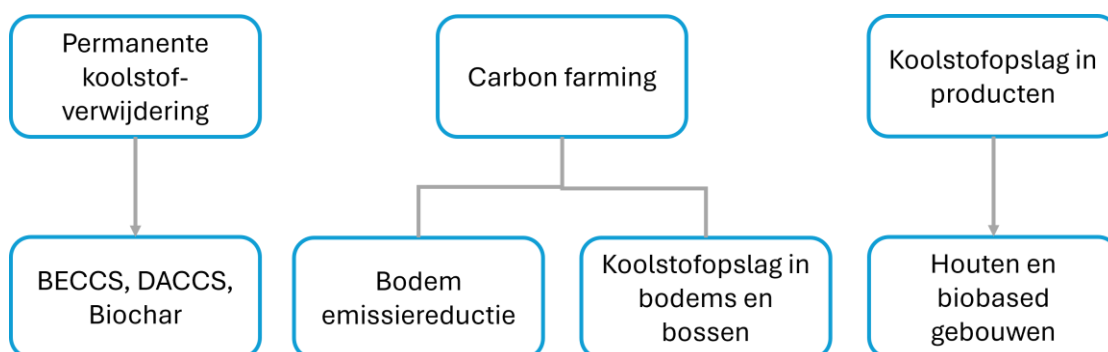
- permanente koolstofverwijdering;
- kortdurende koolstofopslag in producten;
- carbon farming¹⁰: Koolstofopslag in landbouwbodems (onzeker en daarom veelal beschouwd als kortdurend), opslag in bossen, en emissiereducerende maatregelen.

Er worden voor deze categorieën wel verschillende credits uitgegeven, maar de commissie legt vooralsnog geen duidelijke beperkingen op aan het gebruik hiervan (Günther et al., 2024). Neutraliseren van restemissies zou volgens al deze critici gekoppeld moeten zijn aan daadwerkelijk negatieve emissies via permanente koolstofverwijdering (zie Tekstkader 3).

¹⁰ De afkorting CRCF stond eerder voor 'Carbon Removals Certification Framework'. Dit is veranderd naar 'Carbon Removals and Carbon Farming', en met die verandering hebben ook de (volgens critici problematische) tijdelijke opslag en emissiereducerende maatregelen in de landbouwsector een prominente plaats gekregen in de wetgeving.

Certificaten voor kortdurende koolstofopslag zouden bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor compensatie van emissies van korte cyclus biogeen CO₂ of biogeen methaan. Dit wordt bevestigd door de Wetenschappelijke Klimaatraad (WKR, 2024).¹¹ Biochar valt momenteel binnen die categorie omdat de koolstof zeer stabiel is, al breekt een deel ervan wel af (zie voor nadere uitleg Paragraaf 3.5). Kortdurende opslag in producten of via carbon farming zou aanvullend mogen zijn, maar niet mogen meetellen in koolstofboekhouding of bij het behalen van klimaatdoelen. Het toestaan van certificering van emissiereducerende maatregelen in de landbouw (efficiëntieverbetering en vermeden emissies) is volgens hen in zijn geheel problematisch.

Figuur 2 - Classificatie voor koolstofcertificaten binnen het CRCF



Het is op dit moment nog niet duidelijk hoe de CRCF zich verhoudt tot andere overkoepelende kwaliteitsstandaarden voor de vrijwillige koolstofmarkt, zoals het Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM).¹²

2.4.1 Status EU CRCF en biocharmethodologie

De CRCF Regulation is op 26 december 2024 van kracht geworden.¹³ De eerste methodologieën voor specifieke technologieën worden in 2025 verwacht. Hieronder valt ook de biocharmethodologie, naast methodologieën voor verschillende typen carbon capture and storage (CCS) en maatregelen in de landbouw (carbon farming)¹⁴.

De Europese Commissie heeft een consortium van onderzoeks- en adviesorganisaties opdracht gegeven een methodologie voor permanente koolstofverwijdering door biochar te ontwikkelen. De voorbereidende fase heeft geresulteerd in een review paper (ICF et al., 2024) en een workshop (EC DG for Climate Action, 2024b). Een draft voor de certificeringsmethodiek is geschreven, maar de methodiek is nog niet definitief (ICF et al., 2025). De bevindingen daaruit zijn in Paragraaf 2.5 opgenomen.

¹¹ Specifiek schrijven zij (p27 van adviesrapport): ‘Om uitstoot gelijkwaardig te compenseren met CO₂-verwijdering, moet het klimaateffect en de stabiliteit en duur van de vastlegging gelijk zijn aan die van de uitstoot. Compensatie van fossiele CO₂-uitstoot met koolstofvastlegging in bossen, bodems of producten verplaatst koolstof van de lange naar de korte koolstofkringloop en geeft dus geen gelijkwaardige uitkomsten voor het klimaat. Permanente CO₂-verwijdering brengt de koolstof in de lange koolstofkringloop. Biogene CO₂-uitstoot kan onder strenge voorwaarden gecompenseerd worden met vastlegging in bossen en bodems, omdat deze CO₂ al onderdeel is van de korte koolstofkringloop en daar ook weer in opgenomen wordt.’

¹² Zie [ICVCM Leading the way to a high integrity Voluntary Carbon Market](#)

¹³ Zie [Carriages preview | Legislative Train Schedule](#) voor een overzicht van de ontwikkelingen in deze wetgeving.

¹⁴ In 2026 wordt de rol van carbon farming in het kader geëvalueerd.

Tekstkader 4 - Additionaliteit en overige kwaliteitscriteria voor certificering onder EU CRCF

Binnen het EU CRCF gelden randvoorwaarden die de milieu-integriteit moeten waarborgen. Milieu-integriteit wil zeggen dat projecten daadwerkelijk tot het beloofde aanvullende (additionele) netto negatief klimaat-effect leiden en daarnaast geen grote schadelijke bijeffecten hebben. Voor het additionaliteitsprincipe staat centraal dat zonder financiering via koolstofcertificaten geen biocharproductie en -toepassing met als doel koolstofverwijdering plaatsvindt. Het EU CRCF hanteert daarnaast twee concrete criteria voor additionaliteit:

1. Het project is additioneel aan vigerend beleid.
2. Het project is geen common practice.

Een recente conceptversie van de biochar-methodologie voor het EU CRCF geeft aan dat alle biocharprojecten momenteel additioneel zijn vanwege ontbrekend beleid en zeer beperkte verwachte groei als het alleen aan de markt wordt overgelaten (ICF et al., 2025). Dit oordeel zal elke 5 jaar heroverwogen worden.

Additionaliteit is één van de kwaliteitscriteria die het EU CRCF hanteert. De anderen zijn 'Kwantificering', 'Opslag, monitoring en aansprakelijkheid', en 'Duurzaamheid'. Voor meer informatie hierover, zie (EU, 2024).

2.5 Biochar in bestaande certificeringsschema's

Er zijn momenteel vijf certificeringsschema's die koolstofcertificaten voor biochar uitgeven (ICF et al., 2024): European Biochar Certificate C-sink, Puro.earth, Verra/VCS, Riverse en C-Capsule.

Twee noemenswaardige afwezigen in deze lijst van schema's zijn de Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK) en de Gold Standard. SNK ontwikkelt methodologieën specifiek voor Nederlandse projecten. Zij hebben geen biochar methodologie gepubliceerd en ook niet in ontwikkeling.¹⁵ Gold Standard is naast Verra/VCS het bekendste schema wereldwijd, en is momenteel een methodologie aan het ontwikkelen (ID: NMC 110).¹⁶ Het is de moeite waard in de gaten te houden wat deze twee organisaties over biochar publiceren.

We hebben voor vier van de vijf schema's gekeken naar hoe zij omgaan met specifieke aspecten van de methodologie. Het European Biochar Certificate C-sink, Puro.earth, en Riverse zijn actief in de certificering van Europese projecten. Verra/VCS is vooral actief in de certificering van projecten in Newly Industrialised Countries, maar is als dominante speler in de mondiale vrijwillige koolstofmarkt toch interessant om mee te nemen. C-Capsule laten we buiten beschouwing, omdat die zich specifiek richten op zeer kleinschalige (zogenoemde artisanal¹⁷) biocharproductie.

De aspecten die we bekeken hebben zijn:

- Hoe wordt vastlegging van koolstof en permanentie bepaald?
- Hoe wordt vastlegging of permanentie van koolstof gemonitord en/of gemeten?
- Hoe worden andere effecten op het klimaat meegenomen?
- Worden (negatieve) neveneffecten op het milieu meegenomen in de certificering, en zo ja, hoe?
- Voor welke feedstocks gelden deze schema's?
- Voor welke toepassingen gelden deze schema's?
- Welke partij ontvangt de vergoeding voor het koolstofcertificaat?

¹⁵ Persoonlijke communicatie met SNK, 12 februari 2024.

¹⁶ Zie [Sustainable Biochar - Gold Standard for the Global Goals](#)

¹⁷ Deze term wordt veel gebruikt en betekent zoiets als kleinschalig, met traditionele of low-tech methoden die ook in armere en afgelegen gemeenschappen voorhanden zijn en onderhouden kunnen worden.



- Hoe wordt additionaliteit beoordeeld (zie Tekstkader 4)?
- Is dit naar verwachting in lijn met huidige voorstellen binnen de CRCF?

Een belangrijke overkoepelende conclusie is dat het hebben van een koolstofcertificaat *an sich* niet garandeert dat aan de strengste duurzaamheidseisen wordt voldaan. De methodieken van EBC en Verra zijn het strengst op het vlak van monitoring tot aan toepassing. Verra is het strengst qua toegestane feedstocks. De methodiek van Riverse lijkt het strengst op co-benefits en duurzaamheid van de productie (al is die ook vrij beknopt geformuleerd en laat daarmee ruimte voor interpretatie). Belangrijke verschillen tussen de methodieken zijn welke toepassingen voor biochar zijn toegestaan, hoe de netto (negatieve) emissies van een project worden berekend, en welke eisen aan co-benefits worden gesteld. Alle methoden lijken beperkt in hun eisen aan monitoring tot aan en na toepassing (risico voor garantie voor permanentie, al is zoals eerder uitgelegd monitoring na toepassing misschien niet haalbaar), en in hun duurzaamheidseisen en klimaatregelen voor feedstocks (risico voor niet-duurzame feedstocks en ‘vergeten’ emissies).¹⁸

De EU CRCF is grotendeels vergelijkbaar, op een aantal punten strenger, en in enkele gevallen minder streng dan de huidige methodieken.

Afhankelijk van welke duurzaamheidsaspecten RVO het meest belangrijk vindt, kunnen bepaalde certificeringen de voorkeur hebben, of kan aanvullende projectinformatie uitgevraagd worden.

De belangrijkste conclusies zijn dat:

- Alle standaarden staan toepassing in de landbouw toe en rekenregels voor permanentie van koolstofvastlegging komen redelijk overeen. (Woolf et al., 2021) is de meest aangehaalde bron voor berekening van permanentie. In een recente draft van de EU CRCF biocharmethode is overigens ook de methode van Sanei et al. (2024) toegestaan (zie Paragraaf 3.5 voor nadere toelichting) (ICF et al., 2025).
- De meeste standaarden staan andere toepassingen naast de landbouw toe en hebben uiteenlopende omgang met permanentie in dat geval.
- Monitoring tot aan toepassing, en de mogelijkheid om daarna te controleren, is goed geregeld bij EBC C-Sink en Verra/VCS. De anderen hebben dit onvoldoende uitgewerkt. Monitoring na toepassing is zeer moeilijk, maar juist daarom zou monitoring tot aan een gegarandeerd permanente toepassing goed georganiseerd moeten zijn.
- De eisen aan additionaliteit verschillen. Twee standaarden gaan ervan uit dat biochar-projecten altijd additioneel zijn. Dit is in lijn met de huidige voorstellen binnen het EU CRCF (zie Tekstkader 4).
- De scope van mee te nemen levenscyclusemissies verschilt. In alle schema’s worden emissies van transport van biomassa en productie van biochar verrekend. Emissies van productie van biomassa wordt in de helft van de gevallen meegenomen.¹⁸ De EU CRCF-draft hanteert cradle-to-grave-scope en daar voldoet alleen Riverse aan. Nul-emissies worden toegekend aan biomassa reststromen, maar er zijn geen strenge criteria voor wat als reststroom kwalificeert. Beiden brengen een risico voor ‘vergeten’ emissies met zich mee.¹⁹

¹⁸ Vanuit onze eigen opinie heeft cradle-to-gate of cradle-to-grave de voorkeur. Dit zijn termen uit de levenscyclusanalyse (LCA). Cradle-to-gate betekent dat alle emissies zijn meegenomen tot aan dat het product de productiefaciliteit verlaat, inclusief emissies van productie van biomassa. Cradle-to-grave houdt in dat daarnaast ook naar einde levensduur is gekeken. Dat in tegenstelling tot gate-to-gate, waarbij de productie en transport van biomassa buiten beschouwing wordt gelaten.

¹⁹ Vergeten emissies wil zeggen dat de emissies er wel zijn, maar nergens op de boekhouding komen. Dat kan bijvoorbeeld wanneer een producent van een landbouwgewas zijn biomassa reststroom als co-product ziet (omdat die daar financiële compensatie voor ontvangt) en een deel van de emissies aan die reststroom toerekent, terwijl de afnemer van de biomassa reststroom in dit geval met een nul-emissie rekent.

- De toegestane feedstocks variëren maar zijn over het algemeen zeer breed en met beperkte duurzaamheidseisen gedefinieerd. De EU CRCF refereert daarin naar REDIII maar is ook niet per definitie strenger daarin.
- De eisen aan co-benefits lopen sterk uiteen en het is niet altijd duidelijk hoe het behalen van co-benefits onderbouwd moet worden. De EU CRCF-draft is strenger wat dat betreft.
- Er zijn geen garanties dat financiële opbrengst van de certificaten terugvloeien in de keten, terwijl de fysieke vastlegging vanuit de atmosfeer wel hogerop in de keten (bij boeren of in de natuur) plaatsvindt.

Deze boekhoudkundig issue is in zekere zin vergelijkbaar met dubbeltelling, in welk geval meerdere partijen in dezelfde keten negatieve emissies naar zich toerekenen, tevens vanwege ontbrekende of conflicterende boekhoudregels, of verschillen in definitie.



Tabel 1 - Overzicht van de meest relevante standaarden voor koolstofcertificaten voor biochar (EBC, 2021; ICF et al., 2024; Puro.earth, 2024; Riverse, 2024; Verra, 2023)

Vraag	European Biochar Certificate C-sink (EBC C-Sink)	Puro.earth	Verra/VCS	Riverse
Hoe wordt vastlegging van koolstof en permanentie bepaald?	Het percentage koolstof dat 100 jaar na toepassing nog vastgelegd is, minus de emissies van productie (cradle-to-gate ¹³), wordt gerekend als opgeslagen koolstof. Voor toediening in de bodem zijn formules om afbraak te berekenen, o.a. gebaseerd op IPCC. Voor biochar met een H/Corg verhouding <0,4 komt dit uit op 74% koolstofopslag na 100 jaar. Voor bouwmaterialen mag 100% permanente opslag worden gerekend. Voor overige materialen moet de levensduur worden onderbouwd.	Het percentage koolstof dat 100 jaar na toepassing nog vastgelegd is, minus de emissies van productie (cradle-to-gate ¹³), wordt gerekend als opgeslagen koolstof. Voor toediening in de bodem zijn formules om afbraak te berekenen, gebaseerd op Woolf et al. (2021). Voor toepassing buiten de bodem mogen waarden voor afbraak in de bodem worden gehanteerd als specifieke gegevens over permanentie ontbreken.	Het percentage koolstof dat 100 jaar na toepassing nog vastgelegd is, minus de emissies van productie (farm gate-to-gate ¹³), wordt gerekend als opgeslagen koolstof. Voor toediening in de bodem zijn formules om afbraak te berekenen o.b.v. IPCC en Woolf et al. (2021), maar ook default waarden beschikbaar die samenhangen met de temperatuur van biocharproductie: van 65% voor biochar geproduceerd rond 400 °C , en 89% voor biochar geproduceerd >600 °C.	Het percentage koolstof dat 100 jaar na toepassing nog vastgelegd is, minus de emissies van productie (farm gate-to-gate ¹³), wordt gerekend als opgeslagen koolstof. Berekend volgens Woolf et al. (2021), laboratoriumanalyse van samples nodig ter onderbouwing van waarden gebruikt in de berekening.
Hoe wordt vastlegging of permanentie van koolstof gemonitord en/of gemeten?	Langetermijnmonitoring is niet verplicht. Biochar moet opgeslagen zijn in bodem of bouwmaterialen, of in producten waarbij verbranding onwaarschijnlijk wordt geacht (zoals in meststoffen). Een centrale registratie om de toepassing te monitoren wordt op termijn verwacht en GPS-coördinaten zijn daarbij gewenst, maar niet verplicht.	Monitoring tot aan het punt van verkoop aan een niet-brandstof toepassing. Daarna geen monitoring of garanties nodig dat de biomassa niet alsnog als brandstof wordt toegepast.	De locatie van toepassing moet worden gerapporteerd, zodat controles mogelijk zijn. Alleen landbouwtoepassingen worden gecontroleerd. Informatie over de hele keten tot aan toepassing moet beschikbaar zijn. Mogelijke situaties waarbij biochar als CO ₂ in de lucht komt worden benoemd (bijv. bosbranden), maar over het algemeen een verwaarloosbaar risico bevonden (en in ieder geval wordt de koolstofopslagwaarde er niet voor gecorrigeerd).	Niet. De potentiële vastlegging wordt nauwkeurig berekend m.b.v. meetresultaten. Onduidelijk of wordt gegarandeerd dat biochar in de bodem wordt toegepast, monitoringsprotocol niet aanwezig.

Vraag	European Biochar Certificate C-sink (EBC C-Sink)	Puro.earth	Verra/VCS	Riverse
Hoe worden andere effecten op het klimaat meegenomen?	De gedeeltelijke levenscyclusemissies (cradle-to-gate) moeten in kaart worden gebracht en verrekend. Geen externe review. Specifieke regels met standaardwaarden zijn opgesteld voor verschillende levenscyclusfasen. Onzekerheden zijn rondom feedstockemissies (die met lage standaardwaarden mogen worden ingeschat) en vluchtige procesemissies van methaan tijdens pyrolyse die niet hoeven worden gemonitord (maar op metingen van vergelijkbare installaties mogen berusten). Land use change (LUC) blijft buiten beschouwing. Mogelijke klimaatvoordelen tijdens toepassing naast koolstofopslag buiten beschouwing.	De gedeeltelijke levenscyclusemissies (cradle-to-gate) moeten in lijn met de ISO-standaarden in kaart worden gebracht en verrekend. Geen externe review. Land use change (LUC) moet worden meegenomen. Mogelijke klimaatvoordelen tijdens toepassing naast koolstofopslag buiten beschouwing.	De gedeeltelijke levenscyclus-emissies (farm gate-to-gate) moeten in kaart worden gebracht en verrekend. Geen externe review. Emissies van productie van biomassa zijn niet meegenomen, wellicht met het uitgangspunt dat reststromen een 0-emissie hebben. Transport van biomassa is wel meegenomen. Mogelijke klimaatvoordelen tijdens toepassing naast koolstofopslag buiten beschouwing.	De totale levenscyclusemissies (cradle-to-grave) moeten in kaart worden gebracht. Geen voorschrift voor te volgen methode (aannemelijke default methode is daarom ISO). Externe review vereist. Het project moet minimaal 40% CO ₂ -emissiereductie realiseren t.o.v. de baseline. Management moet worden beschreven om indirect land use change (iLUC) of overmatig weghalen van C-stocks van landbouwgronden te voorkomen, al is niet duidelijk hoe de uitkomst hiervan gegarandeerd dient te worden. Mogelijke rebound effects worden nog in kaart gebracht door Riverse.
Worden (negatieve) neveneffecten op het milieu meegenomen in de certificering, en zo ja, hoe?	Neveneffecten met betrekking tot koolstofvoorraden in de gebieden waar de feedstocks vandaan komen (onder- en bovengrondse voorraden). Hoe dit precies te meten en garanderen wordt veelal open gelaten.	Milieukundige en sociale duurzaamheid van de productiefaciliteit moeten worden aangetoond via impact assessments, vergunningen, of audits. Aanvullende claims moeten worden onderbouwd met rapportages. Duurzame biomassa is een voorwaarde maar alleen voor feedstocks uit bosbouw worden relevante certificaten genoemd. Pluspunten kunnen worden behaald als wordt bijgedragen aan Sustainable Development Goals (SDG's).	Een aantal concrete eisen aan de duurzaamheid van verschillende feedstocks, inclusief een definitie van toegestane duurzaamheids-certificaten. Biochar toegepast in de bodem moet aan internationale kwaliteitsstandaarden voldoen (IBI of EBC)	Minimaal twee co-benefits moeten bijdragen aan SDG's. Kwaliteit van de biochar moet aan EBC-standaard voldoen en dit moet worden onderbouwd met testresultaten.

Vraag	European Biochar Certificate C-sink (EBC C-Sink)	Puro.earth	Verra/VCS	Riverse
Voor welke feedstocks gelden deze schema's?	Vrijwel alles: Landbouwgewassen en -residuen, reststromen van de voedsel-industrie, groenbeheer en bosbouw, en 'andere biogene residuen'.	Vrijwel alles, zolang het duurzame biomassa is (al worden criteria daarvoor niet gedefinieerd).	Biomassa reststromen zijn toegestaan, met dit doel geteelde biomassa niet.	De lijst van EBC, met voorwaarde dat voor een aantal specifieke feedstocks duurzaamheidsmanagement moet worden beschreven.
Voor welke toepassingen gelden deze schema's?	Voornamelijk toepassing in de bodem, diervoeder, en toepassing in consumen- en bouwmaterialen.	Zeer uiteenlopend, van toepassing in de bodem, tot bouwmaterialen, tot procesingredienten voor waterzuivering en stortplaatsen.	Alle toepassingen waar langdurige opslag kan worden gegarandeerd. Biochar voor niet-landbouwtoepassingen moet worden geproduceerd in moderne en schone faciliteiten.	Toepassing in landbouwbodems.
Hoe wordt additionaliteit beoordeeld?	Niet.	Additionaliteit t.o.v. financiering en beleid moet worden aangetoond.	Uitgangspunt is dat projecten voor biochar van biomassa reststromen altijd additioneel zijn.	Additionaliteit t.o.v. financiering, beleid en marktpenetratie moet worden aangetoond.
Is dit naar verwachting in lijn met huidige voorstellen binnen de CRCF (ICF et al., 2025)?	Permanentie: Naast de afbraakfunctie is ook het gehalte inertinite toegestaan als methode voor koolstofopslag binnen CRCF. Monitoring: vergelijkbaar voor EBC C-Sink en Verra/VCS, de anderen onvoldoende. Scope van levenscyclusemissies: Vergelijkbaar voor Riverse (cradle-to-gate), de andere schema's onvoldoende. Feedstocks: Verra/VCS is strenger dan CRCF, de andere schema's zijn vergelijkbaar, al hanteert CRCF verschillende normen per techniek. ²⁰ Co-benefits: EU CRCF heeft strengere eisen dan alle schema's. Toepassingen: CRCF staat toepassing in de bodem (direct of via materialen zoals mest en digestaat), diervoer, en bouwmaterialen (cement, asfalt, beton) toe. Die selectie is smaller dan de meeste schema's, maar breder dan Riverse. Additionaliteit: Hoeft binnen CRCF niet per project te worden aangetoond, dat zal periodiek gebeuren op EU-schaal.			

²⁰ Wanneer biochar een relatief klein energie-aandeel heeft in de co-producten van een proces (zoals bij hogetemperatuur-technieken), mag alle biomassa genoemd binnen REDIII gebruikt worden. Wanneer biochar het grootste aandeel heeft, moet het van reststromen of afval gemaakt worden.

3 Techniek en toepassingen

Tekstkader 5 - Samenvatting Hoofdstuk 3

- Sommige toepassingen van biochar leiden niet of nauwelijks tot koolstofverwijdering, maar wel tot emissie-reductie of vermeden emissies. We beschrijven verschillende (pyrolyse)-technieken om biochar mee te produceren en ook de verschillende toepassingen. De kracht van biochar zit daarmee vooral in koppelingen met andere sectoren en toepassingen.
- Toepassingen zoals gebruik als biobased materiaal in de bouw, co-product uit biogasinstallaties of als koolstofbron in de staalproductie kennen nog een relatief brede TRL en de stand van de techniek is vaak al relatief volwassen. Echter vergt de toepassing van biochar in dergelijke technieken vaak nog verder onderzoek.
- De mate van die permanente opslag hangt af van de samenstelling van de biochar, waaronder het aandeel stabiele koolstof (zoals inertiniet) en indicatoren zoals de H/C-verhouding, en wordt momenteel verder onderzocht en gevalideerd in praktijkstudies.
- Hoewel toepassingen van biochar positieve effecten voor klimaat en milieu kan hebben, zijn er ook belangrijke risico's, zoals de ophoping van zware metalen, PAK's of PCB's bij gebruik van vervuilde grondstoffen of onjuiste productieomstandigheden. Daarnaast kunnen het hoge energieverbruik, de inzet van vervuilde biomassa en druk op landgebruik negatieve effecten hebben op milieu, biodiversiteit en klimaat.
- De negatieve effecten van biocharproductie kunnen verminderd worden door schone reststromen te gebruiken, de pyrolysetemperatuur te optimaliseren, energie efficiënter te benutten en strikte certificeringseisen toe te passen voor de grondstoffen en het productieproces.

3.1 Inleiding

Biochar is door het IPCC aangewezen als erkende methode voor koolstofverwijdering uit de atmosfeer die kan bijdragen aan het verminderen van broeikasgasemissies, vooral wanneer het duurzaam wordt geproduceerd en toegepast (IPCC, 2017). Het wordt inmiddels al geproduceerd als bijproduct van bijvoorbeeld pyrolyse en vergassing en wordt daarnaast experimenteel ingezet in verschillende sectoren, zoals landbouw, bouw en de staalproductie.

Dit hoofdstuk richt zich ten eerste op de productiemethoden van biochar. Daarbij bekijken we welke grondstoffen hiervoor gebruikt worden, de verschillende productiemethoden en de eigenschappen van het eindproduct, inclusief de mate waarin koolstof permanent wordt vastgelegd. We onderzoeken ook de milieu- en klimaateffecten van biochar. Vervolgens bespreken we de verschillende toepassingen van biochar en de mate waarin daarbij koolstofverwijdering plaatsvindt.

3.2 Grondstoffen

Biochar is een koolstofrijk product dat wordt gemaakt door organisch materiaal zoals houtresten en landbouwafval bij verhoogde temperatuur te ontleden onder zuurstofarme condities. Afhankelijk van de gebruikte grondstoffen (c.q. organisch materiaal) en de gebruikte productiemethode kunnen verschillende soorten biochar worden vervaardigd die elk weer variërende eigenschappen kunnen hebben.

De belangrijkste eigenschappen van biochar zijn daarbij de porositeit, pH-waarde, waterhoudend vermogen, elementverhoudingen (H/C en O/C) en asgehalte, die samen de stabiliteit, adsorptiecapaciteit en effectiviteit in bodemverbetering en koolstofopslag bepalen. Zie ook Paragraaf 3.4 voor meer detail over de eigenschappen van biochar.

Het organisch materiaal dat gebruikt kan worden voor de productie van biochar is weergegeven in Tabel 2. De productiemethoden die in deze tabel worden genoemd bespreken we in de volgende paragraaf.

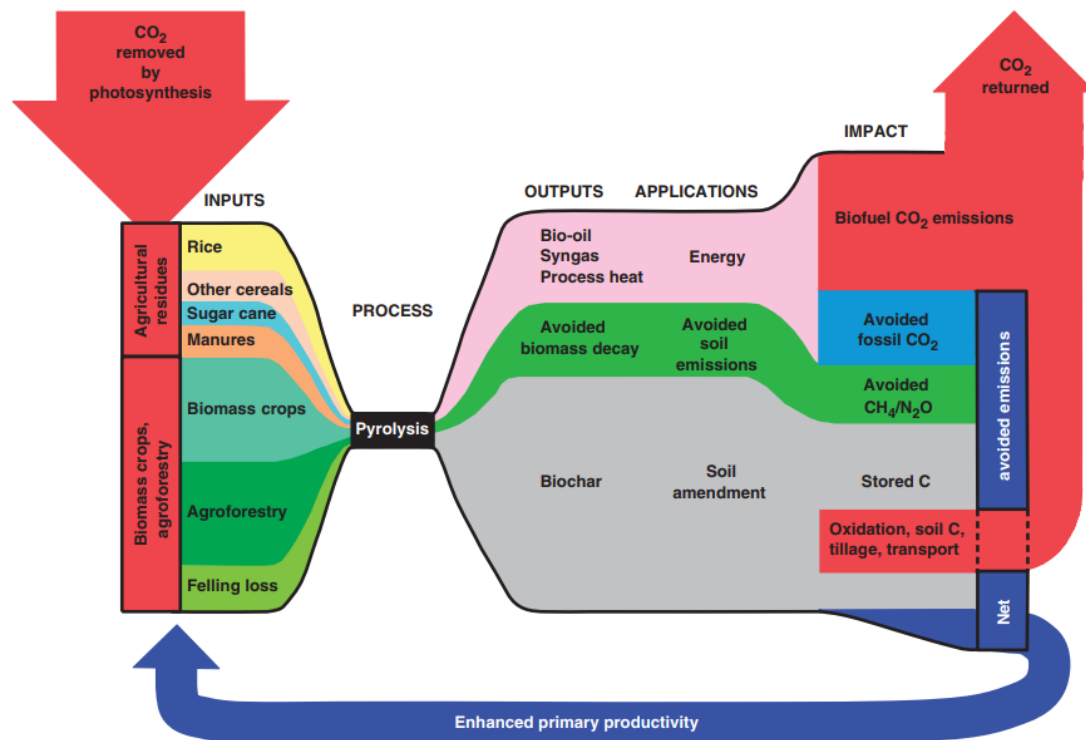
De verschillende biomassastromen staan verder uiteengezet in Figuur 3. Daarin wordt getoond hoe landbouwresiduen en biomassa via pyrolyse kunnen worden omgezet in biochar, bio-olie, syngas en warmte, en hoe deze producten toegepast kunnen worden, bijvoorbeeld als bodemverbeteraar of bio-energieproductie, om zo te kunnen bijdragen aan positieve milieueffecten zoals koolstofopslag en het vermijden van broeikasgasemissies.

Tabel 2 - Biomassa grondstoffen(groepen) die worden gebruikt voor het produceren van biochar

Grondstofgroep	Grondstoffen	Geschikte productiemethoden
Houtige biomassa	Houtsnippers, zaagsel, schaafsel, bosresten, etc.	Torrefactie, fast pyrolysis
Kruidachtige biomassa	Stro, stengels, gewasresten, gras, bamboe, etc.	Torrefactie, slow pyrolysis
Dierlijk- en huishoudelijk afval	Mest, GFT-afval, papier, plastic, etc.	Fast pyrolysis, vergassing
Slib	Riolslib, vergistingsslib, etc.	Vergassing

Bron: (Xie et al., 2022)

Figuur 3 - Overzicht biomassastromen die als grondstof voor biochar kunnen dienen^a



^a Enkel de opgeslagen koolstof mag worden meegenomen in certificeringsschema's voor koolstofverwijdering. Vermeden emissies van fossiele CO₂ en methaan en lachgas die onder een 'business as usual'-scenario vrij zou zijn gekomen mogen niet of beperkt worden meegenomen. Totale projectemissies kunnen wel over alle waardevolle (co-)producten worden verdeeld via allocatie o.b.v. energie-inhoud.

Bron: (Woelf et al., 2010)

3.3 Productiemethoden

Er zijn verschillende productiemethoden voor biochar. De grondstof bepaalt deels de beste productiemethode voor biochar. Houtachtig materiaal is geschikt voor vergassing omdat het droog is en vrij constant van samenstelling is. Factoren zoals vochtgehalte en koolstof-samenstelling beïnvloeden de temperatuur en verblijftijd, wat de uiteindelijke eigenschappen van de biochar bepaalt.

In Tabel 3 staan de vier belangrijkste productiemethoden en eigenschappen weergegeven. Ook daarin is te zien dat de uiteindelijke eigenschappen van biochar (zoals verder besproken in Paragraaf 3.4) worden beïnvloed door de gekozen productiemethode en temperatuur waarop productie plaatsvindt. Zie Bijlage A voor een overzicht van de biochar-opbrengst bij specifieke grondstof(groepen) en productiemethoden. Hierna bespreken we de vier productiemethoden achtereenvolgens in meer detail.

Tabel 3 - Productiemethoden en eigenschappen van biochar.

Productiemethode	Temperatuur	Verwarmings-snelheid	Retentietijd	Typische biochar opbrengst (gew.%)	Inertniet-gehalte (%)
Torrefactie	200-350 °C	1-20 °C/min	Max. 1 uur	75-90%	85%*
Slow pyrolysis	350-700 °C	0,5-20 °C/min	Minuten tot dagen	25-35%	85%*
Fast pyrolysis	350-700 °C	10-200 °C/s	Max. 10 sec.	12-15%	100%*
Vergassing	700-900 °C	5-30 °C/min	Seconden tot minuten	5-10%	100%*

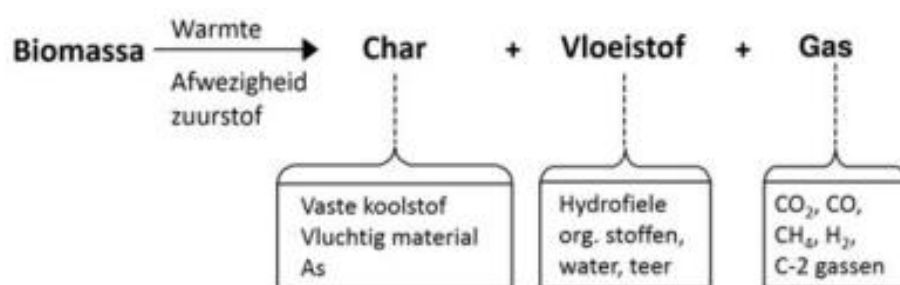
* Inertnietgehalte bepaald op basis van metingen uit lichtmicroscopie van biochar gemaakt uit bamboe op een pyrolysetemperatuur van 500 °C, 700 °C en 900 °C. De verwarmingsnelheid ligt daarbij op 10 °C/min (Sanei et al., 2024).

Bronnen: (Sanei et al., 2024; Xie et al., 2022; Yadav et al., 2023)

3.3.1 Pyrolyse

Tijdens pyrolyse van biomassa wordt door middel van thermochemische omzetting biochar, vloeibare pyrolyseolie en syngas geproduceerd, zie Figuur 4.

Figuur 4 - Schematische weergave van biocharproductie



Bron: (PBL, 2018)

Met pyrolyse wordt naar verschillende technieken gerefereerd om biomassa in de afwezigheid van zuurstof te ontleden. We onderscheiden langzame en snelle pyrolyse. Torrefactie is een vorm van lagetemperatuur pyrolyse, die wordt hierna apart beschreven (Xie et al., 2022):

- **Slow pyrolysis (of langzame pyrolyse):** Bij langzame pyrolyse wordt organisch materiaal voor langere tijd (minuten tot dagen) verhit in afwezigheid van zuurstof. De temperatuur ligt hierbij tussen de 350-700 °C. Bovendien refereert de term 'langzaam' ook aan de verhittingssnelheid. In dit proces gebeurt dat relatief langzaam waardoor biomassa langer is blootgesteld aan hitte en daarmee de vorming van biochar bevordert. Langzame pyrolyse heeft verder als voordeel dat de kosten lager zijn en er minder fijn materiaal hoeft te gebruiken, maar daar staan ook nadelen tegenover zoals een lagere kwaliteit olie. Bij hogere temperaturen verschuift het aandeel biochar ten behoeve van andere producten zoals pyrolyse-olie en synthesesgas.
- **Fast pyrolysis (of snelle pyrolyse):** Bij snelle pyrolyse wordt organische materiaal voor zeer korte tijd (enkele seconden) verhit in afwezigheid van zuurstof. De temperatuur ligt hierbij tussen de 350-700 °C. Vergelijkbaar met langzame pyrolyse refereert de term 'snel' ook aan verhittingssnelheid.

In dit proces gebeurt dat zeer snel waardoor biomassa maar kort wordt blootgesteld aan hitte en daarmee maar kort de vorming van biochar faciliteert. De biocharopbrengst is dan ook relatief laag ten opzichte van langzame pyrolyse. Enkele voordelen van snelle pyrolyse zijn de relatief kleine reactiekamer, de korte verblijftijd en de hoge kwaliteit van de pyrolyseolie.

Pyrolyse en coproductie van biochar en warmte wordt al geruime tijd op verschillende plekken toegepast en heeft daardoor een TRL van 9 (CE Delft, 2023a; Möllersten & Naqvi, 2022). De grootste industriële pyrolyse-installatie ter wereld is momenteel gevestigd in Port-Cartier, Canada, met een geplande jaarlijkse productiecapaciteit van 10.000 ton biochar per jaar en voornemens om verder op te schalen naar 30.000 ton biochar tegen 2027 (Biochar Today, 2025).

3.3.2 Torrefactie

Torrefactie of roosteren is een milde vorm van pyrolyse waarbij (voornamelijk houtige) biomassa zonder zuurstof worden verhit op relatief lage temperatuur (200-350 °C) gedurende circa 60 minuten. Door het verwarmen wordt het organisch materiaal droger, beter verwerkbaar en wordt de energiedichtheid verhoogd. Tijdens het droogproces worden immers water en vluchtige organische verbindingen verwijderd. De typische biocharproductie ligt met torrefactie tussen de 75-90% van het oorspronkelijke gewicht van de biomassa (Kenniswijzerbiomassa, n.d.) (Xie et al., 2022).

Torrefactie van biomassastromen wordt wereldwijd al ruime tijd op commerciële schaal toegepast waarbij de geproduceerde biochar voornamelijk wordt ingezet als biobrandstof ter vervanging van steenkool. Wereldwijd wordt de torrefactietechniek al door veel leveranciers aangeboden en toegepast. Daarmee bevindt de torrefactietechniek zich op een geschatte TRL 8-9 (TechnologyCatalogue.com, 2024).

3.3.3 Vergassing

Vergassing is een chemisch proces waarbij een koolstofbron zoals biomassa wordt omgezet in synthesegas, een gasmengsel dat voornamelijk bestaat uit koolstofmonoxide en waterstof. Vergassing is technisch mogelijk op elke schaal. Het proces vindt plaats bij relatief hoge temperaturen (700-900 °C).²¹ In tegenstelling tot pyrolyse wordt in vergassingsinstallaties gebruik gemaakt van zuurstof, lucht en/of stoom om het organisch materiaal gedeeltelijk te oxideren. Vergassing van biomassa heeft vaak als doel syngas te produceren op relatief hoge temperaturen, het aandeel biochar is dan ook relatief laag: circa 5-10% (Yadav et al., 2023). Omdat syngas veel wordt gebruikt voor energie en chemische processen, ontstaat er bij elke vergassingscyclus dus een reststroom biochar die effectief zou kunnen worden benut voor bijvoorbeeld toepassingen als bodemverbeteraar, maar is er ook sprake van teervorming door de onvolledige verbranding van biomassa.

Vergassing wordt commercieel toegepast voor steenkool. Vergassing van afval of biomassa wordt nog maar beperkt op commerciële schaal toegepast. Het GoBiGas project in Gothenburg, Zweden was de eerste van zijn soort waarmee biogasproductie op industriële schaal werd gedemonstreerd. Daarnaast werkt het Gas Technology Institute uit Chicago al lange tijd aan biomassavergassing en beschikt over grote testfaciliteiten. In samenwerking met Andritz is de technologie toegepast in de Skive-installatie in Denemarken, die met houtpellets jaarlijks 6 MW stroom en 11 MW warmte opwekt via een wervelbedvergasser. Daarmee wordt de technologie ingeschat op een TRL 8 (BTG, 2021).

²¹ Bij gebruik van zuivere zuurstof kunnen de temperaturen oplopen tot >1000°C. Dat heet ook wel *entrained flow gasification*. Echter wordt er bij dergelijke temperaturen nauwelijks biochar geproduceerd.



In Nederland zijn er enkele pilot plants opgezet om het concept van biomassavergassing op grote schaal te toetsen. Zo is het TNO 'EnerChar'-reactorconcept een installatie voor de productie van biochar en biogas op grotere volumes die gebruik maakt van een vergasser. De biochar kan worden gebruikt in de glastuinbouw als veenvervanger, in de industrie of voor koolstofopslag, terwijl restgassen worden ingezet voor energieopwekking of worden gerecupereerd om het proces te bedienen. De technologie is getest op pilotschaal en klaar voor opschaling. Met dergelijke initiatieven wordt de technologie in Nederland geschat op TRL 6-8.

3.3.4 Samenhang grondstoffen, methoden en toepassingen

De grondstoffen, productiemethoden en toepassingen van biochar zijn nauw met elkaar verbonden. Wanneer de vraag naar syngas toeneemt, kan er een overschot aan biochar als bijproduct ontstaan, wat de markt kan overspoelen. Dit kan leiden tot een overaanbod van relatief goedkope biochar, terwijl de vraag mogelijk niet evenredig toeneemt. De kwaliteit van biochar hangt sterk af van de gebruikte feedstock (zie ook Paragraaf 3.4), waarbij hoogwaardige biochar schonere en vooral homogene grondstoffen vereist dan voor syngas. Hierdoor kan er een mismatch ontstaan tussen het aanbod van biochar en de specifieke toepassingen die de gewenste kwaliteit vereisen. Bovendien zijn ook de procescondities belangrijk omdat die bepalend zijn voor vorming van teerachtige verbindingen die schadelijk zijn voor biologische processen.

Wanneer de focus ligt op de productie van biochar dan zijn torrefactie en pyrolyse doorgaans de beste methoden. Dergelijke processen leveren de meeste biochar op samen met olie en (bio)gas als co-producten. Wanneer echter de financiële opbrengst de focus heeft dan is vergassing een betere keuze. Vergassing produceert namelijk syngas als hoofdproduct wat kan worden gebruikt als energiedrager of als grondstof in bijvoorbeeld de chemische industrie. Vergassing biedt daardoor meer waarde uit co-producten wat het financieel aantrekkelijker maakt ten opzichte van torrefactie en pyrolyse. De eerder beschreven EnerChar-methode maakt gebruik van een vergasser die syngas benut en biochar produceert voor toepassing in glastuinbouw, industrie en koolstofopslag.

3.4 Eigenschappen van biochar

De kwaliteit van biochar hangt af van verschillende fysieke en chemische eigenschappen die de effectiviteit bepalen voor toepassingen zoals bodemverbetering, koolstofopslag en energieproductie. Dergelijke eigenschappen staan vermeld in het kader voor kwaliteitseisen onder het European Biochar Certificate C-Sink (EBC, 2021). De belangrijkste eigenschappen zijn (Xie et al., 2022) (Yadav et al., 2023) (Oni et al., 2019):

- **Porositeit of poreusheid:** De hoeveelheid en type poriën in biochar hebben invloed op het totaal aanwezig oppervlak en daarmee het vermogen van biochar om water, voedingsstoffen, bodemnutriënten en andere zware metalen en stoffen vast te houden. Ten behoeve van bodemkwaliteit zorgt meer porositeit voor een betere water- en nutriëntenbuffer. Echter kunnen te nauwe poriën weer een averechts effect hebben doordat bepaalde schadelijke zware metalen (bijvoorbeeld cadmium, lood, etc.) niet makkelijk kunnen worden vastgehouden. Hoe goed het adsorptievermogen werkt, hangt af van de polariteit van het oppervlak. Deze polariteit ontstaat door zuurstof- en stikstofgroepen, vaak zure groepen, die het oppervlak geschikt maken om dergelijke stoffen aan te trekken.
- **pH-waarde:** Biochar heeft een hoge pH-waarde (tot 10) en is daarmee relatief alkalisch. Hoog-alkalisch biochar dat in de bodem wordt gebruikt kan een gunstig effect hebben op de groei van planten. De temperatuur (van pyrolyse) is de belangrijkste factor die de pH-waarde van biochar bepaalt (Xie et al., 2022; Yadav et al., 2023).

- **Verhouding elementen:** Eigenschap van biochar die de koolstofinhoud (c.q. mate van carbonisatie) kwantificeert. Dit gaat dan voornamelijk om de verhouding van waterstof-tot-koolstof (H/C) en de verhouding zuurstof-tot-koolstof (O/C). Typisch staat een lagere H/C-verhouding voor een stabielere biochar met een hoge koolstofinhoud en is daarmee geschikter voor koolstofopslag voor langere tijd. Biochar bevat dan namelijk moeilijk afbreekbare koolstofstructuren waardoor de koolstof veel langer in de bodem opgeslagen kan blijven. Daarentegen staat een hoog zuurstofgehalte voor een reactie-vere biochar, wat weer gunstig is als adsorptie belangrijk is als toepassing. Zie ook Paragraaf 3.7.5. De methodiek voor het bepalen van dergelijke verhoudingen wordt volgens de European Biochar Certificate richtlijnen gedaan met behulp van elementaire analyse (European Biochar Certificate, 2024).
- **Permanentie/Inertiniet:** Inertiniet is een koolstofrijk materiaal dat chemisch zeer stabiel is en weinig tot geen reactie aan gaat met andere stoffen. Daardoor is het inertinietgehalte een maatstaf voor langdurige opslag c.q. permanentie van koolstof, zie ook Paragraaf 3.5.
- **Asgehalte:** Het asgehalte van biochar is wat overblijft nadat alle organische stoffen zijn verbrand. Dit bestaat uit voedingsstoffen uit de oorspronkelijk gebruikte biomassa. Een hoog asgehalte zou de bodem dan ook mogelijk kunnen verrijken met inorganische stoffen zoals kalium en calcium, maar kan ook de porositeit van biochar verminderen, waardoor het minder goed stoffen kan vasthouden. Bovendien kan een verhoogde/te hoge concentratie van inorganische stoffen ook weer resulteren in een verzilting van de bodem. Dergelijke stoffen kunnen zich namelijk ophopen en daarmee de bodemstructuur en plantengroei negatief beïnvloeden. Hoeveel as biochar bevat, hangt af van de gebruikte grondstoffen en de manier waarop het wordt geproduceerd.

3.5 Permanentie van koolstofvastlegging

Biocharproductie biedt een manier om koolstof uit plantaardig materiaal vast te leggen, waardoor CO₂ uit de koolstofcyclus wordt gehaald en langdurig kan worden opgeslagen. In het kader van koolstofverwijdering wordt over het algemeen over permanente vastlegging gesproken wanneer koolstof voor meer dan 100 jaar vastgelegd is. Koolstof in biochar is zeer stabiel en een relatief groot deel ervan blijft voor honderden jaren vastgelegd. De mate van permanentie van koolstofvastlegging is afhankelijk van het koolstofgehalte in biochar, de hoeveelheid stabiele koolstof in de biochar en de stabiliteit van biochar onder verschillende omstandigheden/toepassingen en over verschillende tijdsperiodes (Lehmann et al., 2021).

Of biochar nu als tijdelijk of permanente koolstofverwijderingsmethode wordt gezien hangt af van de toepassing/gebruik. Het WKR hanteert voor tijdelijke vastlegging een periode van minstens enkele decennia, en voor permanente vastlegging een periode van minstens enkele eeuwen. Biochar wordt daarin als tijdelijk geclassificeerd vanwege onzekerheid over de stabiliteit op de lange termijn (WKR, 2024). Het CRCF gaat voor permanente koolstofverwijdering uit van een periode van meerdere eeuwen en minstens 35 jaar voor koolstofopslag in producten en koolstoflandbeheer (EC, 2022).

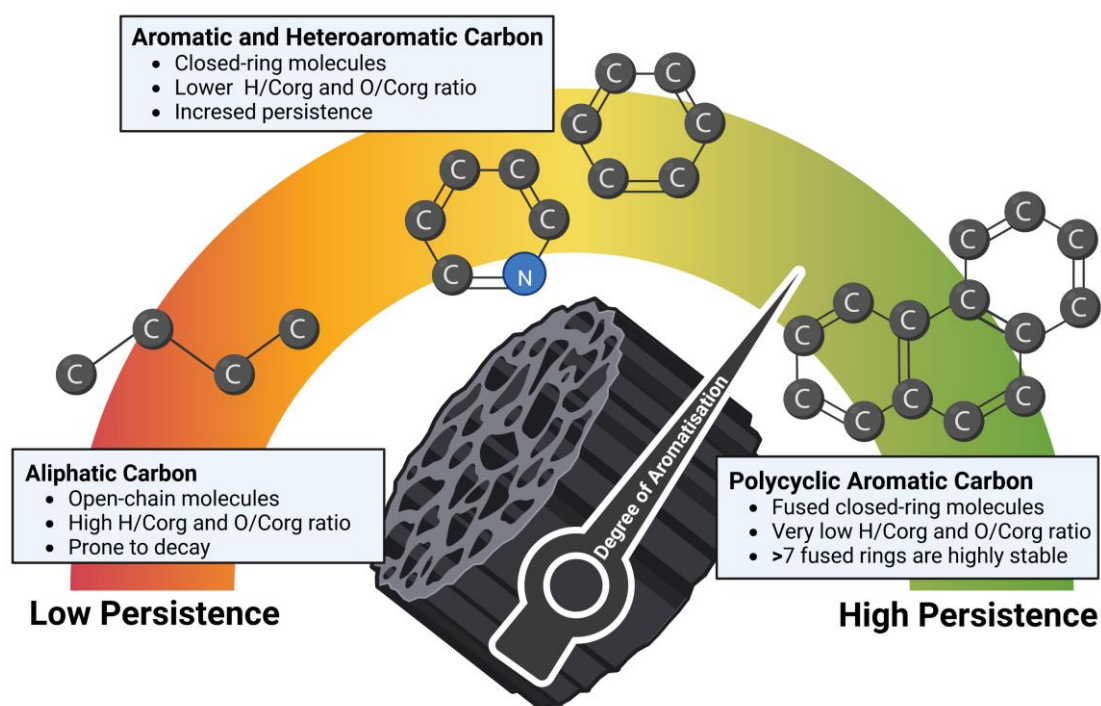
Tekstkader 6 - Wat is stabiele koolstof?

De meeste biochar bevat een kleine hoeveelheid koolstof die snel afbreekbaar is, maar er is meestal een veel groter stabiel gedeelte, vaak ook *inertiniet* genoemd. Inertiniet is een koolstofrijk materiaal dat chemisch zeer stabiel is en weinig tot geen reactie aan gaat met andere stoffen. Het is daarmee een soort maatstaf voor de permanentie van biochar. Daarom wordt biochar gezien als een mogelijke koolstofverwijderingsmethode om CO₂ uit de atmosfeer te halen. Verschillende studies hebben aangetoond dat de koolstof in biochar die

bijvoorbeeld in de bodem wordt opgeslagen, van enkele tientallen jaren tot duizenden jaren vastgelegd kan blijven (H. Peter-Schmidt et al., 2022).

In certificeringsschema's voor koolstofverwijdering worden verschillende methoden gehanteerd om de mate van permanentie (opslag langer dan 100 jaar) bij toepassing in bodems theoretisch te benaderen, op basis van de H/C verhouding en een aantal andere aspecten zoals aangegeven in Tabel 1. De meest aangehaalde bron hiervoor is Woolf et al. (2021). In Paragraaf 3.4 werd als belangrijke eigenschap van biochar de koolstofinhoud (c.q. mate van carbonisatie) al genoemd. Dit gaat dan voornamelijk om de verhouding van waterstof-tot-koolstof (H/C) en de verhouding zuurstof-tot-koolstof (O/C) (H. Peter-Schmidt et al., 2022), zie ook Figuur 5 die laat zien dat de stabiliteit van koolstof in biochar toeneemt naarmate de structuur meer aromatisch is. Een hoge verhouding impliceert daarmee een relatief laag aandeel stabiele koolstof, wat gepaard gaat met een lage permanentie. Vergelijkbaar impliceert een lage verhouding weer een hoog aandeel stabiele koolstof en een hoge mate van permanentie voor koolstofvastlegging.

Figuur 5 - Schematische weergave van verschillende moleculaire vormen van koolstof in biochar



Bron: (H. Peter-Schmidt et al., 2022)

Een andere methode op basis van de gehalten 'inertinite' (inerte C), 'semi-intertinite' en de 'labile fraction' wordt in recente jaren overigens ook meer en meer toegepast en levert volgens sommigen betrouwbaardere resultaten (Sanei et al., 2024). Met behulp van 'reflectance ray testing' kan het inerte deel worden bepaald en dat deel komt in aanmerking voor certificering als permanent.

Zowel de methode op basis van de H/C-verhouding als op basis van het aandeel inerte C zijn toegestaan in een recent conceptrapport van de EU CRCF-methode (d.d. 12 maart 2025).

De permanentie van biochar wordt momenteel uitvoerig onderzocht, ook in de praktijk. Zo is in een recente studie de langetermijnstabiliteit van biochar in landbouwgrond onderzocht door biochar te extraheren die vijftien jaar eerder was toegevoegd aan wijngaarden in Toscane, Italië. De resultaten tonen aan dat de biochar die is gemaakt door langzame pyrolyse gedurende deze periode grotendeels stabiel bleef met minimale afbraak: meer dan 80% van de biochar was nog steeds aanwezig na een periode van vijftien jaar. De studie suggereert daarmee dat biochar effectief kan bijdragen aan langdurige koolstofopslag in de bodem (D. Chiaramonti, 2024).

Door biochar te verwerken in producten of opslagmedia (zoals bouwmaterialen, beton, asfalt) kan de permanentie van koolstofvastlegging worden verhoogd (NEGEM, 2024; WKR, 2024). De exacte duur zou in dergelijke gevallen dan gelijk zijn aan de levensduur van het materiaal. De werkelijke mate van permanentie blijft daarmee nog relatief onzeker en afhankelijk van open-veld experimenten en aanvullend onderzoek.

3.6 Milieu- en klimaatprofiel biochar

Biochar wordt in de literatuur beschouwd als een veelbelovende methode voor koolstofverwijdering en bodemverbetering, maar de toepassing ervan brengt overige effecten met zich mee, zowel positief als negatief. De impact kan variëren afhankelijk van factoren zoals productiemethode, bodemtype en klimaatomstandigheden. Terwijl sommige effecten gunstig kunnen zijn voor het milieu en de landbouw, kunnen er ook risico's en beperkingen optreden. Hierna bespreken we achtereenvolgens de mogelijke positieve en de negatieve effecten op het milieu en welke mitigatiestrategieën er bestaan voor de negatieve effecten.

3.6.1 Positieve effecten

Tekstkader 7 - Omrekenen gewicht aan biochar naar koolstofverwijdering

Hoeveel CO₂ wordt vastgelegd met biochar wordt berekend met de formule:

$$\text{Koolstofverwijdering 1 ton biochar} = \frac{\left(\frac{C_{\text{inhoud biochar}} \text{ kg/ton}}{C_{\text{inhoud CO}_2}} \right) * (CO_{2\text{opslag} > 100j})}{\text{conversie kg naar ton}}$$

1 ton biochar bevat 260-800 kg koolstof (Adhikari et al., 2024; Khater et al., 2024; Lars Elsgaard et al., 2022), afhankelijk van feedstock en de productiemethode. We rekenen hier met 650 kg C/ton biochar, wat goed haalbaar is met houtige biomassa als feedstock, en ook met kruidachtige biomassa zoals stro behaald kan worden. Deze 650 kg C zou bij volledige verbranding 2,4 ton CO₂ uitstoten. Met dat getal wordt gerekend voor het bepalen van CO₂-opslag. Ter vergelijking: biochar van mest en slib heeft gemiddeld een C-gehalte van respectievelijk 450 en 300 kg/ton biochar, wat zich vertaalt naar 1,7 en 1,1 ton CO₂ bij volledige verbranding.

Wanneer deze biochar in haar geheel permanent wordt vastgelegd, kan de volledige hoeveelheid CO₂-eq. worden gerekend als koolstofverwijdering. 'Permanent' is een term die in de literatuur gebezigd wordt, maar dit betekent in de praktijk bijna altijd 'langer dan 100 jaar'. Deze volledige toerekening mag dus plaatsvinden wanneer biochar gefixeerd is in materialen met een levensduur langer dan 100 jaar.

Wanneer toegepast in bodems, zoals in de landbouw, breekt een deel van de koolstof in biochar af binnen 100 jaar en dat deel wordt niet als CO₂-opslag gewaardeerd (zie Tabel 1). Dit komt doordat de koolstof in verschillende vormen in biochar aanwezig is, en een aantal vormen kunnen relatief makkelijk door micro-organismen

afgebroken worden. Welk deel makkelijk afgebroken kan worden is variabel (en hangt bijvoorbeeld samen met productietechniek), maar voor berekeningen in dit rapport nemen we 65% aan.

Dit is een conservatieve inschatting op basis van gemiddelde bodemtemperatuur van 9,8 °C en een H/Corg verhouding van 0,7 (Lars Elsgaard et al., 2022). Ketenemissies zouden dan nog hiervan af moeten worden getrokken, maar voor het gemak gaan we ervan uit dat die 0 zijn. De berekening is dan:

$$\text{Koolstofverwijdering 1 ton biochar toegepast in NL bodems} = \frac{\left(\frac{650}{27,27\%}\right) * 65\%}{1000} = 1,55 \text{ ton CO}_2$$

Deze vergoeding wordt 1,1 en 0,7 ton CO₂-eq./ton biochar bij een C-gehalte van respectievelijk 450 en 300 kg/ton biochar, en loopt op tot 2,6 ton CO₂-eq./ton biochar bij een C-gehalte van 800 kg/ton biochar en 89% vastlegging >100 jaar.

In Paragraaf 4.4.3 wordt uitgewerkt wat dit betekent voor de opbrengst van koolstofcertificaten voor biochar, en de bijdrage daarvan aan businesscases.

Biochar kan helpen klimaatverandering tegen te gaan, maar dit hangt niet alleen af van de eigenschappen van het materiaal zelf. Ook de manier waarop biochar wordt gemaakt en gebruikt beïnvloedt de uitstoot van broeikasgassen tijdens de hele levenscyclus. Biochar kan op meer dan een manier positieve effecten hebben op zowel milieu als klimaat door (Xie et al., 2022) (Lehmann et al., 2021) (Weng & Cowie, 2025):

- **Minder broeikasgassen uit bodems:** Onderzoek toont aan dat biochar de broeikasgas-emissies uit bodems verlaagt via enerzijds het vertragen van afbraak (mineralisatie) van organische stof ('priming'). Anderzijds zorgt het voor verlaagde emissies van methaan en lachgas uit bodems.
- **Energieopbrengst en verlaagde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen:** Bij het maken van biochar kan energie vrijkomen. Als deze energie fossiele brandstoffen vervangt, zorgt dat voor vermeden fossiele uitstoot.
- **Variëteit aan toepassingen:** Biochar kan op meerdere manieren worden gebruikt, zoals waterzuivering (wat waterkwaliteit verbetert voor planten en dergelijke), koolstofopslag in bouwmaterialen (waardoor milieu-impact van de bouw wordt verlaagd), inzet in de staalindustrie als reductiemiddel, waardoor de afhankelijkheid van cokes verminderd, en als toevoeging in vergisters om biogasproductie te vergroten. Daarmee ligt het potentieel van biochar voor een groot deel juist in koppelkansen tussen het vastleggen van koolstof en andere manieren om biochar nuttig te gebruiken. Zie ook Paragraaf 3.7.

Uit studies zoals uitgevoerd door (Lehmann et al., 2021; Weng & Cowie, 2025) blijkt dat biochar kan helpen de uitstoot van klimaatverandering tegen te gaan, vooral als het wordt gemaakt van duurzame materialen zoals afvalhout of snelgroeïende planten. Enerzijds komt dit door koolstofverwijdering (CO₂-opslag), anderzijds komt dit doordat middels biochar emissiereductie plaats kan vinden worden bij zowel de aanvoerketen (duurzamere bio-massaverwerking), als bij de toepassing (zie bullet 'Variëteit aan toepassingen').

Volgens de Royal Society & Royal Academy of Engineering kan biochar technisch gezien tussen 2,1 en 4,8 ton CO₂-equivalent per ton biochar vastleggen (Royal Society & Royal Academy of Engineering, 2018). Dit zit relatief goed in lijn met de schatting van het technisch potentieel van 2,8 ton CO₂-equivalent per ton biochar uit het recente rapport van CE Delft op het gebied van koolstofverwijdering (CE Delft, 2023a). Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL, 2018) schat dit op 3 ton CO₂-equivalent per ton biochar. De schatting van PBL houdt alleen rekening met de koolstofopslag en niet met de uitstoot die vrijkomt bij de productie en verwerking van biomassa tot biochar.

In dit onderzoek rekenen we met 650 kg koolstof (C) per ton biochar, wat goed haalbaar is met houtige biomassa als feedstock, en ook met kruidachtige biomassa zoals stro. Deze 650 kg koolstof staat gelijk aan 2.4 ton CO₂ wat in lijn ligt met eerdere ramingen, zie ook Paragraaf 4.4.3 en Tekstkader 8. Als deze biochar permanent wordt opgeslagen in bijvoorbeeld bouwmaterialen, telt de volledige hoeveelheid CO₂ als verwijderde koolstof. Als deze op het land wordt toegepast zal een deel afbreken en mag dat deel niet worden gerekend als verwijderde koolstof.

Het potentieel voor aanvullend klimaatvoordeel via gereduceerde en vermeden emissies is fors, en kan oplopen tot 1,6 ton CO₂ per ton biomassa bij de productie van biochar uit duurzaam gewonnen en verwerkte biomassa (doordat biomassa niet ongecontroleerd composteert bijvoorbeeld), en 3,9 ton CO₂ per ton biomassa (doordat het bij toepassing in rijstvelden methaanvorming tegengaat) bij toepassing (Lehmann et al., 2021). Totale gereduceerde en vermeden emissies tot 8,2 ton CO₂ per ton biomassa zijn gerapporteerd wanneer biochar gemaakt wordt van resten uit de bosbouw, en wordt ingezet om steenkool te vervangen bij elektriciteitsproductie (Weng & Cowie, 2025). Vermeden en gereduceerde emissies worden echter over het algemeen niet (financieel) gewaardeerd in biochar koolstofcertificaten, en verwijdering wel (zie Paragraaf 2.5).

3.6.2 Negatieve effecten

Hoewel biochar vele positieve effecten kent op zowel milieu als klimaat, zijn er ook een aantal aandachtspunten. Potentiële negatieve effecten op het milieu ten gevolge van het energiegebruik van de productie van biochar, landgebruik maar ook het effect van eventuele schadelijke stoffen worden hieronder toegelicht. Vervolgens worden ook mogelijkheden tot mitigatie van negatieve milieueffecten beschreven.

Zware metalen

Organische grondstoffen bepalen met name de samenstelling van biochar. Zo is er bij afvalstromen zoals huishoudelijk afval en rioolslib sprake van sterk vervuilde stromen, met onder andere zware metalen (e.g. zink, koper, nikkel, lood, etc.), die moeilijk uit de grondstoffenstroom te filteren zijn. De inzet van biochar hangt daarmee sterk af van hoe schoon de gebruikte biomassastroom is. Zo is het zeer onwenselijk, en illegaal bovendien, om vervuilde biochar te gebruiken voor landbouwdoeleinden. Hiervoor worden momenteel de vervuilingnormen voor compost uit de meststoffenwet gehanteerd (Van Reuler & Baltissen, 2016). Zware metalen kunnen zich gedurende het productieproces in biochar ophopen, met als gevolg de indirecte vervuiling van bijvoorbeeld de bodem en daarmee mogelijk schadelijke effecten op het milieu en de gezondheid. De exacte concentraties van zware metalen in biochar zijn moeilijk vast te stellen, omdat deze afhangen van zowel het type gebruikte biomassa als de pyrolyseomstandigheden zoals temperatuur en verblijftijd.

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (of PAK's) zijn schadelijke stoffen die ontstaan bij de verbranding van organisch materiaal, zoals de biomassastromen eerder beschreven in Tabel 2. Ze kunnen zeer schadelijk voor milieu en gezondheid zijn. Bij de productie van biochar kunnen PAK's ontstaan als de temperatuur (te) hoog is en/of als de gebruikte biomassa vervuild is met bijvoorbeeld olie- en vetresten, geveerd of gelijmd hout, coatings en teer. Daarnaast ontstaan PAK's ook in beperkte mate bij toepassing van schone biomassa

doordat deze aromatische verbindingen bij hogere temperaturen uit organisch materiaal kunnen worden gevormd.

Daarmee is het risico op PAK-vorming bij productiemethoden zoals als pyrolyse en vergassing relatief groter ten opzichte van torrefactie, wat op relatief lagere temperaturen plaatsvindt. Als biochar niet wordt gereinigd of het aandeel schadelijke stoffen niet wordt verwijderd dan leidt dat tot een indirect effect waarbij biochar mogelijk schadelijke stoffen introduceert aan bijvoorbeeld de bodem(vegetatie).

Polychloorbifenylen

Polychloorbifenylen (PCB's) zijn schadelijke stoffen die kunnen voorkomen tijdens het pyrolyseren op lage temperaturen²², omdat ze in dergelijk procescondities nog intact blijven. Op hogere temperaturen, zoals bijvoorbeeld het geval is bij vergassing, kunnen PCB's (gedeeltelijk) worden afgebroken. Voorwaarde daarbij is dat er chloorhoudende verontreinigingen aanwezig zijn, zoals het geval is bij bijvoorbeeld pesticiden, chloorhoudende meststoffen of chemisch behandeld hout. PCB's zijn giftig en kunnen zich ophopen in het milieu en vormen daarmee een gezondheids- en milieurisico.

Biomassa en landgebruik

In certificeringsschema's voor koolstofverwijdering worden vaak eisen gesteld aan de typen biomassa die in aanmerking komen (zie Paragraaf 2.5). Primair geteelde biomassa is vaak uitgesloten, reststromen mogen wel toegepast worden. De huidige conceptversie van EU CRCF verwijst naar REDIII en heeft verschillende eisen voor verschillende productietechnieken.¹⁷ Hierdoor is gebruik van met dat doel geteelde gewassen (en niet alleen reststromen) toegestaan voor biocharproductie wanneer dit ook in combinatie met een substantieel aandeel energie co-producten wordt geproduceerd.

Hier speelt echter ook een definitiekwestie, en in de praktijk zijn zeer veel biomassa feedstocks toegestaan. Zo is het bijvoorbeeld twijfelachtig of stro en mest een reststromen zijn omdat ze an sich zeer nuttige toepassingen hebben in de landbouw en andere sectoren zoals de bouw. Ook is er concurrentie tussen toepassingen rond reststromen in de circulaire economie, en zullen keuzes moeten worden gemaakt, omdat de productie van het ene, de productie van iets anders kan uitsluiten. Een voorbeeld is rioolslib dat ofwel tot biochar wordt verwerkt, ofwel waar fosfaat uit wordt teruggewonnen en bioplastic van wordt gemaakt (CE Delft, 2023b). Sommige toepassingen zijn duurzamer dan andere (wanneer bijvoorbeeld via levenscyclusanalyse vergeleken) en het zou kunnen dat daar op een gegeven moment financiële waardering of regulering voor komt.

Het potentiële negatieve effect van landgebruik is een aandachtspunt voor biochar, en hangt sterk af van de in de toekomst toegestane grondstoffen voor de productie van biochar. Omdat er momenteel nog veel verschillende certificeringen bestaan die verschillende selecties aan grondstoffen toestaan, kan hier nu nog niet veel over gezegd worden. Over het algemeen geldt dat gebruik van reststromen goed is, en primair geteelde biomassa niet goed. Het eerste zorgt namelijk in theorie niet of weinig voor additioneel landgebruik, het tweede wel, al is de werkelijkheid genuanceerder.

De hoeveelheid koolstof in biochar varieert van 260 tot 800 kg C per ton biochar, afhankelijk van het type biomassa en de gebruikte productiemethode. We zijn voor houtige

²² Uit de literatuur blijkt dat de vorming van PCB's sterk afhankelijk is van materiaaltype, chloorgehalte en procescondities.

biomassa uitgegaan van 650 kg (2,4 ton CO₂) koolstof per ton biochar, zie ook Tekstkader 7. Een deel van de koolstof breekt af binnen 100 jaar.

In deze studie gaan we ervan uit dat 65% van de koolstof langer dan 100 jaar in de bodem behouden blijft (Adhikari et al., 2024; Khater et al., 2024; Lars Elsgaard et al., 2022). Voor elke 650 kg koolstof langdurig opgeslagen in de bodem is dus ongeveer 1,5 ton biochar nodig. En voor elke ton biochar is iets meer dan een ton biomassa (bij torrefactie), tot wel 20 keer zoveel biomassa (bepaalde vergassingsprocessen) nodig (Tabel 3).

De productie van biochar vereist dus veel biomassa, wat kan leiden tot intensief landgebruik. Dit kan ten koste gaan van natuurlijke ecosystemen en ruimte voor voedselproductie. Het kan ook bijdragen aan ontbossing als hout wordt gebruikt als grondstof. Daarmee worden de natuurlijke koolstofvoorraden aangetast en klimaatverandering negatief beïnvloed. Daarnaast kan het omzetten van landbouwgrond voor biocharproductie indirecte landgebruiksveranderingen veroorzaken, waarbij elders nieuwe landbouwgrond nodig is om voedseltekorten op te vangen. Dit zet niet alleen natuurlijke ecosystemen onder druk, maar ook de biodiversiteit (Tisserant & Cherubini, 2019).

Energiegebruik

De omzetting van biomassa-residuen naar biochar gebeurt meestal door thermochemische processen zoals pyrolyse, vergassing en torrefactie (Paragraaf 3.3). Daar moet warmte voor worden toegevoerd. In veel gevallen gebeurt dat door vrijgekomen gassen te verbranden. In de opstartfase is meestal een externe energiebron nodig om de reactor op de juiste temperatuur te brengen, denk daarbij aan energie door het verbranden van aardgas, elektriciteit of het verbranden van biomassa-stromen. Als gevolg daarvan komt CO₂ direct vrij in de atmosfeer (als deze niet eerst wordt afgevangen). De milieu-impact van pyrolyse bestaat daarnaast ook uit ketenemissies van de geproduceerde co-producten. De impact van bijvoorbeeld NO_x, zwavel-, chloor- en stikstofverbindingen bij de verbranding van restgasen en biochar die niet wordt ingezet voor koolstofverwijdering, maar voor energetische toepassingen. Voor vergassing bestaat een milieurisico door verontreinigingen in het geproduceerde gas (teer, vliegias, chloor/HCl, fluoriden, ammoniak, zwavel (H₂S), alkalische verbindingen) (RIVM, 2010). De verhouding van de producten en daarmee de milieu-impact hangt uiteindelijk af van de specifieke techniek en de samenstelling van de input.

3.6.3 Mogelijkheden mitigatie van negatieve effecten

Er bestaan verschillende mogelijkheden om de negatieve effecten die we hiervoor hebben beschreven te mitigeren (CE Delft, 2023a):

- **Zware metalen:** Gebruik schone biomassa, vermijd vervuild afval zoals rioolslib en voer kwaliteitscontroles uit/stel duurzaamheidseisen aan biochar. Kwaliteit van de grondstof en het proces zijn de belangrijkste bronnen voor biocharkwaliteit.
- **PAK's en PCB's:** Aanvullend op mitigatiemethoden voor zware metalen zal bij PAK's en PCB's de pyrolysetemperatuur moeten worden geoptimaliseerd.
- **Landgebruik:** Om de negatieve neveneffecten op landgebruik te reduceren moeten reststromen en afvalbiomassa worden geprioriteerd in plaats van gewassen die anders voor voedselproductie of natuurbehoud zouden worden gebruikt. Daarnaast zal ook ondersteunend bosbeheer en het onderhouden van onze natuurlijke ecosystemen zogenaamde overexploitatie van biomassa mitigeren.
Ten slotte kunnen ook (de bestaande) certificeringsschema's (Hoofdstuk 2) ontbossing en omzetting van landbouwgronden voorkomen. Daarbij is wel op te merken dat biochar ook gebruikt kan worden voor toepassingen anders dan koolstofverwijdering. In dat geval hebben dergelijke certificeringsschema's minder effect gezien die zich specifiek op koolstofverwijdering richten.

- **Energiegebruik:** Efficiënter energiegebruik bij biocharproductie kan worden bereikt door vrijkomende warmte bij het pyrolyseproces te hergebruiken. Door warmte te hergebruiken wordt het proces efficiënter doordat er minder ‘primaire’ energie benodigd is. Het gebruik van bijvoorbeeld syngas²³ uit het proces zelf kan de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen verminderen. Bovendien kunnen methoden zoals het afvangen van koolstof bijdragen aan het verlagen van de CO₂-uitstoot, waardoor de milieu-impact van biocharproductie wordt verlaagd.

3.7 Toepassingen

In dit onderzoek richten wij ons voornamelijk op het potentieel van biochar voor het vastleggen van koolstof uit de atmosfeer, maar het potentieel van biochar ligt voor een groot deel juist in koppelkansen tussen het vastleggen van koolstof en andere manieren om biochar, en mogelijk laagwaardige reststromen als grondstof, nuttig te gebruiken. Biochar als bodemverbeteraar wordt vaak genoemd, maar er zijn ook potentiële toepassingen in de bouwsector (vervanging van materialen met een hoge CO₂-intensiteit), in het verwijderen van bodemverontreiniging (al wordt hier meestal bedoeld op actieve kool, dat zowel van biochar als van fossiele koolstof gemaakt kan worden) en als katalysator voor bepaalde processen in de industrie. Hierna bespreken we aantal van deze toepassingen in meer detail.

De TRL inschatten van dergelijke toepassingen kent enige mate van onzekerheid. De schatting wordt zoveel mogelijk op basis van openbare literatuur en de definitie van het TRL zoals opgesteld door de RVO (RVO, 2025).

3.7.1 Biochar in de landbouw

Biochar als bodemverbeteraar

De meest aangehaalde koppelkans is het gebruik van biochar als bodemverbeteraar in landbouw, tuinen en parken (CIP Foundation, 2024). aangehaalde koppelkans is het gebruik van biochar als bodemverbeteraar in landbouw, tuinen en parken (CIP Foundation, 2024).

Zowel voor landbouw als milieu brengt biochar als bodemverbeteraar in theorie belangrijke voordelen. Het belangrijkste voordeel voor de landbouw is verhoogde gewasopbrengst. Biochar kan een positief effect hebben op zowel de beschikbaarheid van, als de interactie tussen nutriënten, bodemeigenschappen (waaronder pH en watervasthoudend vermogen), planten en microben (Lars Elsgaard et al., 2022; Weng & Cowie, 2025). Met name de toegenomen beschikbaarheid van water en voedingsstoffen lijken voor hogere gewasopbrengst te kunnen zorgen (Weng & Cowie, 2025). Meta-analyses wijzen op toegenomen opbrengst van 10-42%. Een belangrijke kanttekening is echter dat dit met name geldt voor laagproductieve landbouwgronden in (sub)tropische regio's. In hoogproductieve gronden in gematigd klimaat is er weinig tot geen gemeten effect op opbrengst (Lars Elsgaard et al., 2022; Weng & Cowie, 2025); dit geldt vooralsnog ook voor Nederland²⁴. Dit zorgt ervoor dat biochar niet per definitie een aantrekkelijk product is voor boeren in Nederland, ondanks dat het in theorie een positief effect op bodemkwaliteit zou kunnen hebben.

²³ Syngas of synthetisch gas is een mengsel van gassen, zoals koolmonoxide en waterstof, dat vrijkomt bij verhitte biomassa.

²⁴ Persoonlijke communicatie met Rene Rietra op 31 maart 2025.



De voordelen drukken zich niet uit in extra opbrengst en daarmee extra inkomsten, en de nadelen zijn dat het geld kost, extra werk oplevert, een aanpassing van management vergt, en simpelweg onbekend is waardoor eventuele risico's of onvoorziene effecten moeilijk ingeschat kunnen worden. Daar komt bij dat het qua eigenschappen concurreert met compost, wat goedkoop is (0-25 euro per ton, afhankelijk van onder andere de kwaliteit en transportafstand), en waar de sector beter bekend mee is.²⁵

Biochar slaat koolstof langdurig op in de bodem. Een potentieel verdienmodel voor boeren met biochar is daarom financiële waardering van koolstofverwijdering. De exacte mate van de opslag (en afbraak) hangt af van parameters zoals de gebruikte productiemethode, koolstofinhoud en stabiliteit van de geproduceerde biochar. Bovendien spelen ook de productieomstandigheden een grote rol: denk aan pyrolysetemperatuur en type biomassa. Uit Tabel 3 is te zien dat hogere pyrolysetemperaturen de opbrengst verlagen. Biochar dat op hogere temperatuur wordt verkregen heeft doorgaans wel een verbeterde stabiliteit (Lars Elsgaard et al., 2022; Yadav et al., 2023). Hoewel stabiliteit gemeten kan worden via O/C- en H/C-verhoudingen en het inertinietgehalte worden de langetermijneffecten in de bodem momenteel uitvoerig onderzocht door ook daadwerkelijk onder andere praktijkproeven uit te voeren in de vorm van openveld experimenten (zie Paragraaf 3.5). Tegelijkertijd is het in de praktijk niet altijd haalbaar om de langetermijneffecten einde-loos te blijven monitoren, waardoor conclusies over de permanentie van biochar in de bodem afhankelijk zijn van een combinatie van velddata en de eerder beschreven indicatoren.

In de praktijk worden al zogenaamde open-veld projecten opgezet om biochar te gebruiken in de bodem. Eerder in Paragraaf 3.5 beschreven we al de toevoeging van biochar in de bodem van wijngaarden in Italië, en wat de invloed daarvan was op de permanentie van biochar. Ook in Denemarken is de Deense gemeente Vallensbæk gestart met een proefproject om biochar toe te passen in stedelijke groenvoorziening. Het initiatief maakt deel uit van het EU-project Power Bio dat tussen 2023 en 2026 loopt en zich richt op het verbeteren van bodemkwaliteit en klimaatadaptatie. In de proef zijn 24 plantbedden langs twee straten aangelegd, waarvan de helft is verrijkt met gecertificeerde biochar. Het doel van het project is om te onderzoeken hoe biochar bijdraagt aan waterretentie, lagere onderhoudskosten en langdurige CO₂-opslag in de bodem (Biomassafeiten.nl, 2024). In de VS is een subsidie beschikbaar voor het toepassen van biochar in landbouwbodems.²⁶

Sinds biochar als bodemverbeteraar al in meerdere open-veld projecten wordt toegepast en bestudeerd maar nog niet op grote schaal wordt vermarkt, schatten we een TRL in van 7-8.

Biochar als veen vervanger

De glastuinbouw is een specifieke branche van de landbouwsector waar in principe al een markt voor biochar is (al is de schaal waarop het wordt toegepast onbekend). Dit komt voort uit de beweging binnen die branche om hoogwaardig substraat voor potteelt te verduurzamen (Blok et al., 2024). Momenteel wordt voor dat substraat vaak veen of steenwol gebruikt. Beiden hebben een relatief hoge klimaatimpact. Steenwol door energie-intensieve mijnbouw en verwerking, en veen doordat dit fossiele koolstof is die vrijwel volledig als fossiele CO₂ in de atmosfeer terechtkomt tijdens winning, gebruik en afdanking. Daarnaast is de winning van veen omstreken vanwege het effect op ecosystemen.

²⁵ [Akker nr 11 2015 - Koolstof voor opruiimprijs](#)

²⁶ De Soil Carbon Amendment (Ac.) (336) Conservation Practice Standard van de USDA Natural Resources Conservation Service.

De potgrond- en substraatsector heeft een breed convenant gesloten om het aandeel duurzaam en circulair substraat te verhogen (Blok et al., 2024).

Er zijn verschillende opties om substraat te verduurzamen. Biochar is daar één van, vanwege haar gunstige klimaatprofiel en vergelijkbaarheid met veen in bepaalde eigenschappen (zoals watervasthoudend vermogen). Volledige vervanging is waarschijnlijk niet mogelijk, maar uit onderzoek blijkt dat gedeeltelijke vervanging van 10-25% biochar uit houtige reststromen goed mogelijk is en zelfs positieve effecten op de teelt kan hebben (Vlaco, 2024). Recente studies uit Nederland wijzen zelfs op 30-50% van het veen dat vervangen kan worden (WUR, 2022).

Sommige onderzoeken laten zien dat ook hogere vervangingsgraden (tot 50%) mogelijk zijn met neutraal effect (Huang & Gu, 2019). Het overige deel substraat zou dan nog uit de traditionele materialen bestaan, of daarvoor zouden andere vervangers gevonden moeten worden. Compost wordt momenteel ook toegepast als veenvervanger in substraten.

Of er in dit geval ook sprake is van koolstofverwijdering, hangt af van de bestemming van het substraat na gebruik. Het substraat is dan vermengd met plantenwortels en vaak vervuild met kunststof.²³ In principe zou een kunststofvrije reststroom gecomposteerd kunnen worden, waarbij stabiele biochar niet af zou breken. Als deze compost vervolgens hergebruikt wordt in de tuinbouw of akkerbouw, kan sprake zijn van koolstofverwijdering. Dit is echter vrij ver *downstream* van de primaire toepassing in substraat, en daarom zou ketenverantwoordelijkheid georganiseerd moeten worden. Een deel van het substraat gaat met plant en al naar eindgebruikers of wordt geëxporteerd. Voor dit deel kan koolstofverwijdering niet gegarandeerd worden.

Biochar als veenvervanger wordt daarmee ingeschat op TRL 7-8 vanwege een aantoonbare toepassing op praktijkschaal in de glastuinbouw, maar nog zonder brede marktintroductie.

Biochar in de veeteelt

Biochar wordt momenteel onderzocht als additief in veevoer vanwege mogelijke voordelen voor diergezondheid, spijsvertering en milieu (ILVO Rundveeloket, 2023). Dit geldt voor verschillende diersoorten, zowel herkauwers als ander vee. De literatuur noemt percentages van 0,5-3% (gewicht) voor toevoeging. Door deze toevoeging wordt de pensfermentatie beïnvloed en daardoor kan minder methaan ontstaan. Dit is echter nog een relatief nieuw onderzoeksveld. Het werkelijke effect moet beter onderzocht worden, ook in de praktijk.

Daarnaast kan toevoeging van biochar aan mestopslagen leiden tot gereduceerde emissies van lachgas en methaan (Castro-Herrera et al., 2023; Chen et al., 2024; Verdi et al., 2024). De hoeveelheid biochar die wordt toegevoegd varieert, maar 10% gewicht is een gangbare hoeveelheid. Al vanaf 1% toevoeging is er emissiereductie gemeten, al zijn er ook onderzoeken die geen effect laten zien. In sommige experimenten wordt tot 33% gewicht aan biochar toegevoegd. Interessant hieraan is mogelijk de hogere toevoegingsgraad van biochar voor koolstofverwijdering, en het feit dat mest en digestaat uit vergisting op landbouwgrond wordt toegepast. Er is dus geen aanpassing in management nodig bij agrariërs om biochar op de akkers te krijgen, en een garantie van toepassing zou hierdoor relatief makkelijk kunnen worden vastgelegd en gemonitord.

Gezien de toepassing van biochar in de veeteelt nog een relatief nieuw onderzoeksveld is waarin enkele kleinschalige praktijkexperimenten zijn uitgevoerd, maar nog geen brede opschaling of commerciële toepassing bekend is, schatten we het TRL in op 4-6.

3.7.2 Biochar in de bouw

Naast koppelkansen in de landbouw is er ook mogelijk een toepassing in de materialen- en bouwsector, bijvoorbeeld als grondstof voor CO₂-negatief asfalt of ander bouw materiaal. In het maart 2025-concept van het ICF worden projecten die biochar verwerken in cement, beton en asfalt expliciet genoemd als mogelijke toepassingen voor het verkrijgen van koolstofcertificaten (ICF et al., 2025). Momenteel is TerraWatt Biochar in Nederland bezig met een pilot rondom CO₂-negatief asfalt (Green Chemistry Campus, 2021). Daarnaast zet ook Denemarken in op onderzoek naar biochar om bouwmaterialen te verbeteren. Het Deense CIP Foundation beschrijft dat biochar als alternatief kan dienen voor grondstoffen in bouwmaterialen en bijdraagt aan koolstofopslag in de bebouwde omgeving. Daarbij kunnen schaarse materialen zoals zand, grind en fossiele actieve kool worden vervangen en verwerkt in beton en asfalt. Het bedrijf ecoLocked is daar een voorbeeld van: Biochar, geproduceerd via pyrolyse van biomassa, wordt door hen toegepast in beton en asfalt waardoor deels cement of zand vervangen kan worden en de klimaatimpact van beton afneemt (Building Balance, 2025). Het gaat dan nog om relatief kleine projecten zoals parkbanken, wandelpaden en pergolas. Bovendien ontwikkelt Saint-Gobain Danmark een gepatenteerd isolatiemateriaal op basis van biochar vanwege de langdurige stabiliteit in de bodem (CIP Foundation, 2024).

Voor een succesvolle implementatie van biochar in beton benadrukt het ministerie van BZK verder dat, voor biochar dat wordt gebruikt als vulstof in beton, moet worden voldoen aan specifieke technische randvoorwaarden (Ministerie van BZK, 2025):

- een geschikte minerale samenstelling (onder andere koolstof, silicium, aluminium);
- certificering volgens NEN-EN 12878;
- verwerkbaarheid voor betoncentrales, bijvoorbeeld in de vorm van vochtige korrels;
- een gevalideerde Environmental Product Declaration (EPD) voor marktacceptatie.

De permanentie van dergelijke methoden hangt nauw samen met de levensduur van het materiaal of product dat wordt vervaardigd. Binnen verschillende schema's voor koolstof-verwijdering wordt toepassing in de bouw erkend als langdurige opslag. Hierbij zal onderbouw moeten worden wat de verwachte levensduur is of hoe aannemelijk is dat de materialen hergebruikt of gerecycled zullen worden.

Biochar als toepassing in de bouw wordt op dit moment nog steeds onderzocht en getoetst waarbij (grootschalige) commercialisatie en regulering nog maar beperkt is gerealiseerd. Daarom schatten we de TRL nog relatief breed in tussen 6-8.

3.7.3 Biochar voor biogasproductie

Biochar heeft koppelkansen in de productie van biogas. Voor specifieke informatie gerelateerd aan mestvergisting, zie Paragraaf 3.7.1. Onderzoek toont aan dat biochar het vergistingsproces in biogasinstallaties kan verbeteren (Xie et al., 2022). Door biochar toe te voegen worden onder andere biogasproductie en methaangehalte verhoogd doordat microben zich in grote getale kunnen vestigen op het oppervlak van biochar. Dergelijke organismen kunnen zich goed hechten doordat biochar een poreus materiaal is met een relatief groot oppervlak.

Daardoor kunnen ze voor langere tijd overleven, groeien en biogas produceren. Dergelijke toepassingen maken biochar geschikt om koolstof vast te leggen en tegelijkertijd biogas te produceren.

Het Zweedse Stockholm Biochar Project is een verduurzamingsinitiatief dat in 2017 is opgezet waarin Stockholm Vatten och Avfall (water- en afvalverwerkingsbedrijf van Stockholm) en energiebedrijf Fortum samenwerken. Het project maakt van park- en tuin-afval biochar en bio-energie voor stadsverwarming, en legt tegelijk langdurig CO₂ vast in de bodem. Op andere plekken in Zweden worden ook al biocharinstallaties ingezet, waar inwoners tuinafval kunnen inleveren en in ruil biochar kunnen meenemen voor de tuin. Daarnaast wordt de biochar verkocht aan lokale overheden om bomen en planten te groeien in stadsparken en pleinen (Nordregio, 2018).

Het ICF laat in het maart 2025-concept zien dat biochar, als onderdeel van digestaat uit vergisters, in aanmerking kan komen voor de uitgifte van koolstofcertificaten. Dat gaat dan voornamelijk om biochar dat in de bodem terechtkomt als (ICF et al., 2025):

- rechtstreeks als puur materiaal;
- gemengd in een bodemverbeteraar;
- via mest van dieren die biochar als voederadditief hebben gekregen (Paragraaf 3.7.1).

Het gebruik van biochar als additief in biogasproductie wordt op dit moment nog steeds onderzocht, voornamelijk op lab-schaal, en tegelijkertijd in landen zoals Zweden al ruim toegepast. Daarom schatten we de TRL in tussen 8-9.

3.7.4 Biochar in de staalindustrie

De staalindustrie is een van de grootste verbruikers van fossiele koolstof, aangezien koolstof een grondstof is voor de productie van staal. Dit draagt bij aan hoge CO₂-uitstoot vanuit de staalindustrie. Biochar, als hernieuwbare en koolstofrijke grondstof, biedt koppelkansen om fossiele koolstof te vervangen en daarmee de staalproductie te verduurzamen.

Tata Steel gebruikt biochar momenteel om steenkool (pulverised injected coal) te vervangen in het productieproces, wat bijdraagt aan een bescheiden vermindering van CO₂-emissies in de staalproductie (TATA Steel, 2024).

Ook ArcelorMittal in België is in 2023 gestart met het gebruik van biochar, geproduceerd uit houtafval via torrefactie, in plaats van steenkool voor de staalproductie. Dit helpt de CO₂-uitstoot van het bedrijf te verminderen. Het Nederlandse Perpetual Next levert deze biochar en verwacht de productiecapaciteit in de komende jaren te verdubbelen tot 350.000 ton (M. Seijlhouwer, 2021).

Grootschalige inzet van biochar in de staalindustrie wordt momenteel nog uitvoerig onderzocht om onder andere aan de strikte eisen die worden gesteld aan staal te kunnen voldoen. In het maart 2025-concept van het ICF wordt voor biochar als toepassing binnen de staalindustrie nog geen specifieke vermelding of goedkeuring gegeven voor uitgifte van koolstofcertificaten. Tegelijkertijd wordt biochar al wel in een operationele omgeving (in kleine hoeveelheden) getest als vervanging van steenkool. We schatten daarom de TRL relatief breed in tussen 7-9.

3.7.5 Overige toepassingen

In deze slotparagraaf behandelen we nog kort een aantal overige toepassingen van biochar. Van deze toepassingen is bij voorbaat duidelijk dat ze in Nederland geen groot potentieel voor koolstofverwijdering of emissiereductie hebben.

Bovendien zijn deze overige toepassingen in het maart 2025-concept van het ICF nog niet expliciet genoemd en is daarmee nog niet duidelijk of daar koolstofcertificaten voor gaan worden uitgegeven. Daarom gaan we in het vervolg niet verder op deze toepassingen in.

Koolstofanodes in aluminiumproductie

Koolstofanodes zijn belangrijk bij het maken van primair aluminium. Ze helpen om het zuurstof los te maken van aluminiumoxide. De anodes worden gemaakt van een mix van petroleumcokes, steenkoolteerpek en resten van oude anodes. Dit wordt samengeperst tot blokken en verhit (Century Aluminum). Nederland had twee fabrieken die anodes maakten. Aluchemie in de Botlek is in 2021 gesloten (Rijmond.nl, 2021). Century Aluminum maakt nog steeds anodes.

Een groot deel van de koolstofuitstoot van aluminiumproductie is de directe CO₂-uitstoot van de koolstofanodes. Om dit te verminderen, kan er biochar gebruikt worden als grondstof voor de anodes. Dit kan momenteel nog maar voor 3% worden bijgemengd in de anodes. Dit gebeurt alleen nog in onderzoeksomstandigheden (PBL, 2020). Bovendien zal het gebruik van biochar ter vervanging van steenkool leiden tot CO₂-reductie, en niet tot koolstofverwijdering. De anodes vergaan over tijd weer waardoor de vastgelegde koolstof weer vrij kan komen. Doordat deze toepassing zich nog in de kinderschoenen bevindt schatten we de TRL in op 1-2.

Grond-, lucht- en waterzuivering

Biochar kan door zijn poreuze structuur worden gebruikt bij de grond-, lucht- en waterzuivering. Verontreinigingen zoals zware metalen en pesticiden kunnen zich op het oppervlak van de biochar binden. Hierdoor wordt, in het geval van waterzuivering, de uitspoeling van schadelijke stoffen naar het grondwater verminderd. In Almere gaat deze eigenschap vanaf 2026 worden benut voor de groene chemie. Het bedrijf P4S Almere wilt actieve kool gaan produceren uit biogrondstoffen via thermische processen (zoals pyrolyse). De actieve kool kan daarmee dienen als filtermiddel voor verschillende toepassingen binnen de chemie zoals het zuiveren van water en lucht (Accend, 2025). Of er vervolgens sprake is van koolstofverwijdering, hangt af van de toepassing van biochar na gebruik als filtermiddel. Hoewel biochar en actieve kool beiden uit pyrolyse kunnen worden geproduceerd, is actieve kool verder behandeld om het adsorptievermogen te vergroten. Bovendien kan actieve kool ook een fossiele aard hebben (door bijvoorbeeld steenkool te gebruiken) waar biochar expliciet geproduceerd wordt uit biomassastromen. De toepassing wordt voorlopig buiten beschouwing gelaten totdat meer inzichten beschikbaar zijn over opschaling, effectiviteit en het potentiële klimaateffect nadat het pilotproject van start is gegaan.

Preventief brandwerend middel

Biochar kan ook als brandwerend materiaal worden gebruikt. Organisch materiaal zoals takken, bladeren en hout dat in bossen blijft liggen en zich daar opstapelt is zeer brandbaar en vormt daarmee een brandrisico. Ditzelfde materiaal is tegelijkertijd het materiaal dat wordt gebruikt om biochar te maken. Door dit overtollig biomassa te benutten voor biochar-productie wordt brandbaar materiaal uit risicogebieden onttrokken en de hoeveelheid brandstof voor potentiële bosbranden geremd. Door biochar daarnaast in de bodem in bosrijke gebieden te verwerken wordt het watervasthoudend vermogen verbeterd wat helpt de omgeving minder brandgevoelig te maken (Carbonfuture, 2025). Biochar helpt dus niet als brandwerend materiaal door bosbranden actief te doven, maar door brandbaar materiaal weg te nemen en de kans op ontsteking en snelle verspreiding te verminderen.

Vergeleken met landen in Zuid-Europa, Amerika en bijvoorbeeld Australië heeft Nederland relatief weinig droge, uitgestrekte bosgebieden waardoor het potentieel van biochar als

brandwerend middel relatief klein is. Bovendien is er ook een relatief laag risico op natuurbranden en is de beschikbare hoeveelheid brandbare biomassa beperkt. Dat laatste is mede het geval doordat Nederland zich ook al intensief bezighoudt met het beheer van natuur- en bosrijke gebieden. Gezien de aard van de toepassing en het risico op verbranding daarbij, lijkt het onwaarschijnlijk dat biochar hierbij zorgt voor robuuste koolstofverwijdering. Vooruitkijkend is het mogelijk dat dit verandert, met name als de frequentie en intensiteit van droge periodes als gevolg van klimaatverandering toenemen.

4 Potentieel in Nederland

Tekstkader 8 - Samenvatting Hoofdstuk 4

- Het aanbodpotentieel van vrij beschikbare biomassa in Nederland komt overeen met ongeveer 1,6-2,6 Mton biochar per jaar.
- Het technische (theoretische) potentieel van alle toepassingen samen komt op ca. 4,4-9,4 Mton biochar per jaar. In werkelijkheid wordt biochar echter nog zeer beperkt toegepast en bestaan er veel belemmeringen om dit op grotere schaal te gaan doen. Het realistisch potentieel in Nederland op de korte termijn is daarmee zeer gering.
- Vervuit het grootste technische potentieel voor het gebruik van biochar in Nederland bestaat in de akkerbouw. Op dit moment is de betalingsbereidheid van akkerbouwers voor biochar zeer beperkt, omdat zij hier geen toegevoegde waarde in zien. Om dit potentieel te realiseren zijn daarom financiële of beleidsmatige prikkels nodig, bijvoorbeeld mededeling in de opbrengst van de koolstofcertificaten.
- De businesscase voor biochar hangt sterk af van het type grondstof, de productiemethode (en daaraan verbonden de co-producten), de toepassing, en of koolstofcertificaten verkocht kunnen worden. Prijzen en marges zijn zeer onzeker en context-afhankelijk.

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zoomen we in op de toepassingen van biochar die in Nederland het meest kansrijk lijken en geven we een inschatting van het potentieel van deze toepassingen. Voor zover mogelijk geven we dit potentieel zowel in termen van aanbod (van de grondstoffen) als in termen van de vraag (en daarmee het potentieel voor koolstofverwijdering). We benadrukken wel dat dit ruwe schattingen zijn, omdat biochar momenteel nog nauwelijks toegepast wordt, en het realistische potentieel van biochar-toepassingen sterk afhangt van toekomstig beleid.

Vervolgens kijken we naar de potentiële economische effecten van het gebruik van biochar in Nederland. We beschrijven de belangrijkste elementen van een mogelijke businesscase voor biochar, gezien vanuit de positie van de biocharproducent. Deze businesscase kan vervolgens concreet worden ingevuld voor specifieke biochartoepassingen. Dit laatste doen we voor toepassingen van biochar in de landbouw (als bodemverbeteraar in de akkerbouw en als veenvervanger voor potgrond) en voor staal.

4.2 Aanbodpotentieel in Nederland

Biochar kan worden geproduceerd uit verschillende typen organisch materiaal, zoals beschreven in Paragraaf 3.2. De mogelijke toepassingen van biochar hangen samen met de oorsprong van het organisch materiaal. Zo kan vervuild rioolslib niet gebruikt worden voor biochar als bodemverbeteraar vanwege het risico op verontreinigen, maar wel voor biochar dat verwerkt wordt in bepaalde bouwmaterialen.

Aan de andere kant heeft biomassa veel alternatieve toepassingen binnen de energietransitie. Biomassa kan bijvoorbeeld worden ingezet voor de productie van energie, van biobrandstoffen en voor biograndstoffen voor de industrie. Het totale aanbod van biomassa (technisch potentieel) zegt daarmee niet zo veel over het daadwerkelijke gebruik van biomassa voor de productie van biochar. Het deel van de beschikbare biomassa dat voor biochar kan worden ingezet (realistisch potentieel) hangt vooral af van de vraag naar (de toepassingen van) biochar en van eventuele overheidssturing op de inzet van biomassa.

In een recente studie van CE Delft is onderzocht wat het aanbodpotentieel is van biograndstoffen in Nederland. Het totale huidige aanbod aan biograndstoffen is berekend op 341 PJ/jaar (CE Delft, 2024a). Een ander onderzoek, de zogenoemde Bio-scope studie, geeft een vergelijkbare raming: 342-379 PJ/jaar (CE Delft & Royal HaskoningDHV, 2020). De Bio-scope-studie geeft ook een raming voor het potentieel dat 'vrij beschikbaar' is, bijvoorbeeld het potentieel dat nog niet is gealloceerd aan een toepassing. Als we buiten beschouwing laten wat de exacte herkomst van de biomassastromen is dan zal het beschikbare potentieel liggen tussen 35-58 PJ/jaar. Omgerekend naar gewicht droge stof is dat gelijk aan 1,92-3,12 Mton/jaar. Het aanbodpotentieel van biochar kunnen we vervolgens bepalen door de gemiddelde biocharyield (83%) uit torrefactie in Tabel 3 te vermenigvuldigen met het gewicht aan droge stof. Het aanbodpotentieel komt daarmee op 1,6-2,6 Mton biochar per jaar.

4.3 Vraagpotentieel

We behandelen hierna het vraagpotentieel voor de biochartoepassingen die in Paragraaf 3.7 zijn beschreven (met uitzondering van de 'overige toepassingen' in Paragraaf 3.7.5).

Voor elke toepassing schatten we een technisch potentieel in. Dit is het theoretische, maximale gebruik van biochar in de betreffende toepassing. We benadrukken dat dit potentieel ver af staat van de huidige realiteit, omdat biochar op dit moment nog zeer beperkt wordt toegepast. Wat het realistische potentieel is van de verschillende toepassingen van biochar hangt sterk af van hoe het beleid en de markt voor koolstofverwijdering zich ontwikkelen. Op dit moment is het daarom niet voor alle toepassingen zinvol om kwantitatief een realistisch potentieel in te schatten. In plaats daarvan richten we ons per toepassing op wat de belangrijkste kansen en belemmeringen zijn voor het zo veel mogelijk realiseren van het technisch potentieel, en wat er nodig is om de belemmeringen te adresseren.

Tot slot bespreken we per toepassing ook het potentieel in termen van koolstofverwijdering (kg CO₂) dat gerealiseerd zou kunnen worden. Dit hangt samen met de mate waarin de toepassing tot koolstofverwijdering leidt en de mate waarin het potentieel van de toepassing gerealiseerd kan worden. Bij sommige toepassingen is er geen sprake van koolstofverwijdering.

Waar relevant koppelen we dit aan de resultaten van Hoofdstuk 2, waar we hebben onderzocht welke certificeringsschema's een specifieke methode voor biochar hebben ontwikkeld en welke voorwaarden ze daarbij hanteren. Het gaat bij het potentieel voor koolstofverwijdering immers om koolstofverwijdering waarvoor een certificaat kan worden verkregen en eventueel verhandeld, anders krijgt de koolstofverwijdering geen monetaire waarde en kan die geen rol spelen in een businesscase voor biochar.

4.3.1 Landbouw: Biochar als bodemverbeteraar in de akkerbouw

Technisch potentieel

Waarden uit de literatuur voor dit potentieel variëren sterk. Deens onderzoek rapporteert waarden van 3-200 ton/ha, veelal een éénmalige dosis (Lars Elsgaard et al., 2022). Nederlands onderzoek heeft het over een typische toepassing van 5-10 ton/ha, éénmalig (Brancheorganisatie Akkerbouw, 2014), en 5 ton/ha meerjarig (De Haan et al., 2014). Amerikaans onderzoek meldt 11-33 ton/ha, meerjarig (D. Aller et al., 2023).

CE Delft (2023a) rekende met een waarde van 45 ton/ha, toegediend over de loop van 20 jaar. De toepassingsgraad hangt af van de manier van toepassen en het doel van de toepassing.

Bijvoorbeeld: In pure vorm kan en mag men meer biochar toepassen dan wanneer het vermengd is met mest, en wanneer biochar wordt toegepast met als neven doel het verhogen van de bodem pH²⁷ dient weer een specifieke drempelwaarde gepasseerd te worden.

We rekenen hier met 5 ton/ha en gaan er daarbij vanuit dat dit meerdere jaren achter elkaar toegediend kan worden. We nemen dit aan omdat dit de waarde zou zijn wanneer ca. 10% (gewicht) aan runderdrijfmest wordt toegevoegd.²⁸ In ieder geval kan op deze manier 9 jaar biochar worden toegediend (totaal 45 ton/ha toegediend), maar in sommige gevallen tot 40 jaar (totaal 200 ton/ha toegediend). Op een gegeven moment zal de bodem verzadigd zijn, omdat biochar vrijwel niet afbreekt. Waar die grens ligt hangt af van de soort en de gesteldheid van de bodem.

Het areaal voor akkerbouw, vollegrondse tuinbouw, en groenvoedergewassen besloeg in 2017 ruim 820.000 ha (CE Delft, 2023a). Wanneer op alle gronden 5 ton biochar/jaar wordt toegediend, is de jaarlijkse vraag naar biochar 4,1 Mton. Deze biochar moet dan wel aan bepaalde kwaliteitseisen voldoen en mag dus niet van alle feedstocks gemaakt zijn.

Een andere manier om het vraagpotentieel te berekenen is ervan uitgaan dat biochar wordt bijgemengd bij alle dierlijke mest, inclusief wat op grasland wordt uitgereden en wat verwerkt of geëxporteerd wordt. De totale mestproductie in Nederland in 2023 was ca. 75 Mton (Compendium voor de leefomgeving, 2024). Als daar gemiddeld 10% gewicht aan biochar wordt toegevoegd, is de vraag naar biochar ca. 8 Mton/jaar.

We concluderen hiermee dat het theoretisch vraagpotentieel naar biochar in de akkerbouw (inclusief voeder- en grasteelt) tussen de 4 en 8 Mton/jaar ligt.

Kansen en belemmeringen

Verschillende experts wijzen erop dat de vraag naar biochar in de landbouw niet vanzelf van de grond komt.^{15,30} De voordelen drukken zich niet uit in extra opbrengst en daarmee extra inkomsten, en de nadelen zijn te groot (zie Paragraaf 3.7.1). Zelfs wanneer biochar gratis zou zijn, zou dit daarom nog geen aantrekkelijk product zijn. Afzet in de landbouw zou daarom gestimuleerd moeten worden, bijvoorbeeld via de volgende routes:

- **Financieel aantrekkelijk maken.** Dit zou kunnen door subsidiëring of meedelings in de opbrengst van koolstofcertificaten (die anders waarschijnlijk volledig aan de biochar-producent toevalt). De overheid, of partijen en financiers actief in carbon farming zouden dit kunnen faciliteren. Hoe hoog de beloning zou moeten zijn is voor zover wij weten niet onderzocht. Het Rijk heeft eerder door CE Delft laten onderzoeken hoe koolstofcertificaten de teelt en verwerking van vezelgewassen zou kunnen stimuleren (CE Delft, 2024b).

²⁷ Een theorie voor de waargenomen reductie van lachgasemissies luidt dat dit komt doordat (over het algemeen) basisch biochar de pH verhoogt en dat dit ingrijpt in de stikstofcyclus.

²⁸ Jaarlijks mag 170 kg stikstof in de vorm van mest worden uitgereden over land. Dit vertaalt zich naar 40-45 ton runderdrijfmest. Toedienen van biochar via drijfmest of digestaat lijkt een voor de hand liggende manier in Nederland, aangezien vrijwel elke boer op deze manier bemest en de bedrijfsvoering niet hoeft te worden aangepast.

Daarbij is een aanpak geadviseerd dit begint met pilot projecten op de korte termijn, stimulerend middels een opkoopfonds en een garantieprijs op de middellange termijn, en het afbouwen van de subsidiëring op de lange termijn. Het is belangrijk hierbij op te merken dat koolstofverwijdering en de financiële waardering daarvan maar éénmalig geclaimd kan worden.

- **Verplichting.** Bijvoorbeeld een verplichting voor specifieke gebieden en bodemsoorten, gemotiveerd vanuit klimaatadaptatie (bijvoorbeeld verbeterde watervasthoudend vermogen op zandgronden) en koolstofverwijdering.
- **Toediening via dierlijke mest.** Door een verplichtende norm of financiële prikkel bij mestproducenten of -verwerkers. Dit kan gemotiveerd zijn vanuit het verlagen van emissies van mestopslag en -verwerking. Op deze manier kan biochar toediening relatief ongemerkt in bestaande bedrijfsvoering opgenomen worden.

Potentieel voor koolstofverwijdering

Het theoretisch potentieel voor koolstofverwijdering ligt rond de 1,6 ton CO₂ per ton biochar (zie Tekstkader 7). Dit gaat uit van hoogwaardige biochar met 650 kg C/ton biochar, en een permanentie van 65%. Het theoretisch potentieel van koolstofverwijdering in de akkerbouw is daarmee 6,4 Mton CO₂/jaar, en in de gecombineerde akkerbouw en veeteelt 12,8 Mton CO₂/jaar. Dit is het bruto potentieel voor koolstofverwijdering en houdt geen rekening met het netto klimaatvoordeel, dat zowel hoger als lager kan uitvallen wanneer emissies en vermeden emissies gedurende de levenscyclus en in de gehele keten meegenomen worden (zie Paragraaf 2.5 en Paragraaf 3.7.1).

Dit potentieel wordt echter niet benut zonder ingrijpende aanpassingen aan financiële verdiensten of verplichtende wetgeving, zoals hierboven beschreven. We schatten het realistisch potentieel op korte termijn daarom in als nihil.

4.3.2 Landbouw: Veen vervanger in de glastuinbouw en potgrond

Technisch potentieel

Nederland importeert jaarlijks ca. 4,7 Mm³ veen voor potgrond en substraten.¹⁷ Dit veen heeft een dichtheid van ca. 350 kg/m³ en daarmee komt de totale import op 1,6 Mton veen. Hiervan kan zonder negatieve effecten, of zelfs met positieve effecten, tot 25% door biochar worden vervangen (zie Paragraaf 3.7.1). Dit vertaalt zich naar een vraag van 0,4 Mton biochar/jaar.

Kansen en belemmeringen

De sector werkt middels een convenant al aan verduurzaming van potgrond en substraten. Dit convenant is geboren vanuit de erkenning dat veen een zeer hoge klimaatimpact heeft. Op dit moment is er daarom al vraag naar biochar, al is de omvang ervan onbekend. Het concurreert daarin met onder andere compost en cocopeat. Wanneer koolstofverwijdering financieel gewaardeerd kan worden, kan dit de prijs van biochar verlagen en het als grondstof meer concurrerend maken. Hiervoor moet echter gegarandeerd kunnen worden dat de biochar op een plek terecht komt waar het niet verbrand wordt of anderszins verloren gaat. Substraten worden slechts kortdurend gebruikt en vervolgens gaat het naar een vorm van afvalverwerking. Omdat de afvalverwerking in de glastuinbouw momenteel niet circulair is, en de afvalverwerking bij consumenten onzeker (zie Paragraaf 3.7.1), is dit niet vanzelfsprekend.

Hiervoor dient daarom een keten van verantwoordelijkheid georganiseerd te worden en dient het substraat of de potgrond bijvoorbeeld na een reinigings- en composteringsstap in de akkerbouw te worden toegepast. Dit vraagt om een vrij ingrijpende systeemverandering.

Omdat er goede alternatieven voor biochar zijn als veen vervanger in substraten, lijkt een verplichting niet voor de hand te liggen. Het verbieden van veen zou wel een sterk stimulerende werking kunnen hebben op alle veenvervangers, biochar inbegrepen.

Potentieel voor koolstofverwijdering

Het theoretisch potentieel van koolstofverwijdering voor de hier geschetste maximale vraag van 0,4 Mton biochar/jaar, is ca 0,6 Mton CO₂-eq./jaar. Dit is bruto koolstofverwijdering, hierbij wordt geen rekening gehouden met de forse vermeden emissies doordat het veen vervangt (en de verwerkingsmethode om biochar te produceren).

Het realistisch potentieel op korte termijn schatten we in op 0 Mton/jaar, omdat een betrouwbare en gemonitorde keten van verantwoordelijkheid na toepassing in de glastuinbouw en consumenten ontbreekt. Al is het waarschijnlijk dat een deel van de biochar nu al langdurig in bodems terecht komt via bestaande afvalverwerkingsroutes, kan dit slechts betrouwbaar geclaimd worden wanneer de keten van verantwoordelijkheid bestaat.

4.3.3 Landbouw: biochar in de veeteelt

Technisch potentieel

In Nederland wordt ca. 25 Mton mengvoer geproduceerd (Vlees.nl, 2025). Daar komt ca. 5,8 Mton hooi en kuilgras bij (CBS, 2022), en 2,8 Mton snijmais.²⁹ Het totaal aan veevoer komt daarmee op ca 34 Mton. Biochar als additief aan veevoer wordt in een percentage van 0,5-3% toegevoegd. Als we 1% aannemen, dan is zou de totale vraag vanuit veevoer op ca. 0,3 Mton/jaar uitkomen.³⁰

Kansen en belemmeringen

Biochar kan gunstige effecten hebben op zowel diergezondheid als verlaging van emissies uit de veehouderij. Dat zijn twee verschillende routes waarmee biochar aantrekkelijk kan zijn. Ondanks die voordelen lijkt de afname nog niet grootschalig van de grond te komen. Nader onderzoek naar de exacte effecten kan helpen om biochar aantrekkelijker te maken als additief, omdat emissiereductie beter hard gemaakt kan worden. Zeker nu de veehouderij steeds meer haar carbon footprint meet en daarmee wil concurreren. Normen voor carbon footprints, of het implementeren van true pricing bij dierlijke producten zouden helpen, maar zijn impopulair. Daarnaast zijn er andere manieren om met meer zekerheid footprints te verlagen in de veehouderij, en zijn er concurrerende middelen met vergelijkbare functionaliteit (zoals 3NOP).

²⁹ Ca 190.000 ha met een opbrengst van gemiddeld 15 ton/ha.

³⁰ Zie CBS. (2022). *Rekenmethodiek graasdieren*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2023/dierlijke-mest-en-mineralen-2022/3-rekenmethodiek-graasdieren>



Het is zeer aannemelijk dat er sprake is van koolstofverwijdering wanneer biochar gevoerd wordt. Immers komt het in de mest terecht en die komt weer op het land. Om die reden is het ook in enkele schema's voor koolstofverwijdering opgenomen. Hiermee kan het voor veevoerfabrikanten aantrekkelijk zijn om een grondstof met negatieve emissies aan hun voer toe te voegen en zo meer concurrerend te worden op footprint. Dan moeten zij wel bereid zijn de meerprijs voor koolstofcertificaten te betalen aan de verkoper van deze certificaten (waarschijnlijk de biocharproducenten), omdat anders de koolstofverwijdering ook niet doorverkocht mag worden aan de veehouders.

Potentieel voor koolstofverwijdering

Het theoretisch potentieel voor koolstofverwijdering is ca. 0,5 Mton CO₂/jaar. Omdat koolstofverwijdering in theorie nu al gecertificeerd kan worden bij toepassing in veevoer, schatten we de kansen voor vergroten van de huidige afzet goed in. Wanneer de marktpenetratie over enkele jaren kan groeien naar 5%, is het realistisch potentieel tegen die tijd 25 kton CO₂/jaar.

4.3.4 Bouw

Biochar biedt ook kansen als toepassing in de materialen- en bouwsector, bijvoorbeeld als grondstof voor CO₂-negatief asfalt, als vulstof in beton of ander bouw materiaal. Biochar als vulstof in beton is onderzocht door het ministerie van Binnenlandse Zaken, waaruit blijkt circa 750 kton CO₂ per jaar kan worden vermeden. Dat is door toevoeging van 30 kg/m³ biochar in beton bij een jaarlijks betonverbruik van 10 miljoen m³ in Nederland. Daar zou dan minimaal 350 kton droge biomassa voor nodig zijn, maar mogelijk meer afhankelijk van de conversie-efficiëntie (Ministerie van BZK, 2025).

Echter zien we momenteel maar enkele projecten waarbij biochar in de praktijk wordt ingezet in bouwmaterialen zoals asfalt- en beton(mengsels). We kaderen het potentieel van biochar in de bouw daar dan ook mee af in deze studie.

Technisch potentieel

Momenteel is TerraWatt Biochar in Nederland bezig met een pilot rondom CO₂-negatief asfalt (Green Chemistry Campus, 2021). Daarnaast zet ook Denemarken in op onderzoek naar biochar om bouwmaterialen te verbeteren. Het Deense CIP Foundation beschrijft dat biochar als alternatief kan dienen voor grondstoffen in bouwmaterialen en bijdraagt aan koolstofopslag in de bebouwde omgeving. Daarbij kunnen schaarse materialen zoals zand, grind en fossiele actieve kool worden vervangen en verwerkt in beton en asfalt (CIP Foundation, 2024).

Volgens recente literatuur is het technisch mogelijk 5-10% biochar toe te voegen in asfaltmengsels (Rondón-Quintana, 2022). Het zou dan gaan om biochar dat dient als additief (bijvoorbeeld als bindmiddel of gedeeltelijke vervanging van bitumen). Volgens het Economisch Instituut voor de Bouw zal de totale productie van asfaltmengsels in Nederland tussen 2025-2030 gemiddeld rond de 6 Mton per jaar liggen (Economisch Instituut voor de Bouw, 2023). Het technisch potentieel, met de aanname dat biochar kan worden toegepast in dergelijke asfaltmengsels, ligt daarmee op circa 0,3-0,6 Mton biochar op jaarbasis. Dat is circa 0,05-0,10 kg biochar per kg asfalt.

Kansen en belemmeringen

Op de langere termijn zou de bouwsector een belangrijke toepassing van biochar kunnen worden³¹, maar op de korte termijn zijn er nog belangrijke belemmeringen. Aan de ene kant zijn deze technisch van aard: zoals in Paragraaf 3.7.2 aangegeven is de TRL van toepassing van biochar in de bouw nog relatief laag. Voordat grootschalige toepassing mogelijk is moet er eerst meer zekerheid zijn over de stabiliteit en functionaliteit van asfalt, beton en eventueel andere materialen waarin biochar wordt verwerkt.

Aan de andere kant zijn er belemmeringen op het gebied van regulering en beleidspraktijken. Hoewel biobased bouwen langzaam meer gemeengoed wordt, richt dit zich vooral op producten als hout en vezelgewassen. Voor zover er al beleid bestaat voor het stimuleren van biobased bouwen, bijvoorbeeld via de Milieukostenindicator (MKI) en de Nationale Aanpak Biobased Bouwen (Ministerie van BZK et al., 2023), is dit daarom primair op andere biobased materialen gericht en niet zozeer op biochar.³² Rijkswaterstaat is bijvoorbeeld wel bezig met het ontwikkelen van asfalt waarin fossiele bitumen grotendeels vervangen worden door biobased materialen, maar dit betreft lignine uit de papier- en pulpindustrie waar dit tot dan toe nog vooral laagwaardig wordt ingezet voor energieopwekking, en niet biochar.

Potentieel voor koolstofverwijdering

Op de korte termijn zal biochar in asfalmengsels voornamelijk worden ingezet om de CO₂-uitstoot te verlagen, daarbij zal koolstofverwijdering niet het primaire doel zijn. Daarnaast hangt het potentieel van koolstofvastlegging ook af van hoe goed biochar zich in verschillende asfalmengsels kan mengen en hechten. Het is bijvoorbeeld belangrijk te weten of en hoe biochar potentieel verloren kan gaan bij veroudering van het asfalt en hoeveel biochar, en daarmee koolstof, daadwerkelijk wordt vastgelegd. Dat wordt momenteel nog onderzocht.

Het technisch potentieel van 0,3-0,6 Mton biochar voor asfalt vertaalt zich naar 0,7-1,4 Mton bruto CO₂-verwijdering, maar dit kan vooralsnog niet als permanente verwijdering worden beschouwd aangezien dan gegarandeerd moet worden dat de biochar ook na de levensduur van het asfalt behouden blijft in het restproduct.

4.3.5 Biogas

Technisch potentieel

Biochar kan de efficiëntie van het vergisteringsproces verbeteren met het doel biogas te produceren. In Nederland zijn er momenteel ongeveer 190 monomestvergisters actief of in aanbouw (Ministerie van LNV, 2023). Monomestvergisters moeten minstens zo'n 15.000 ton natte mest per jaar verwerken om economisch rendabel te zijn (Groen Kennisnet, 2025). We nemen daarbij aan dat mest voor zo'n 10% uit droge stof bestaat (Eurofins-agro, 2025). Daarmee gaat het per installatie om ongeveer 1.500 ton droge stof per jaar. Biochar kan aan dit proces worden toegevoegd om de werking van de vergister te verbeteren, bijvoorbeeld door meer methaan te produceren of schadelijke stoffen te adsorberen. Een gebruikelijke dosering is ongeveer 5% biochar ten opzichte van de hoeveelheid droge

³¹ Interview Sebastian Manhart

³² Typisch in deze context is dat zoeken op de entry "biochar" in de zoekfunctie van biobasedbouwen.nl, een kennisbank over beschikbaarheid en toepassingsmogelijkheden van biobased materialen, geen enkel resultaat oplevert. Ook in de Nationale Aanpak Biobased Bouwen komt het woord biochar niet voor.

stof (Meyer-Kohlstock et al., 2016). Dat komt neer op 75 ton biochar per installatie per jaar. Omgerekend zo'n 5 kg biochar per ton mest.

Als we dit vermenigvuldigen met het aantal installaties, komen we uit op een technisch vraagpotentieel van minimaal circa 14,3 kton biochar per jaar in Nederland.

Kansen en belemmeringen

Biochar kan de biogasproductie in monomestvergisters verbeteren door het binden van schadelijke stoffen en het verhogen van de methaanopbrengst. Daarmee wordt er efficiënter biogas geproduceerd en kan de afhankelijkheid van fossiele aardgas worden afgebouwd. Een belemmering is de beperkte beschikbaarheid van (geschikte) biogroundstoffen voor biocharproductie, waardoor de grootschalige toepassing wordt bemoeilijkt. Een andere belemmering is de onzekerheid over de effectiviteit van biochar in verschillende vergisters. De voordelen kunnen namelijk variëren en zijn afhankelijk van bijvoorbeeld het type biomassa (bijvoorbeeld verschillende type mest) maar ook de juiste doseringshoeveelheid, waardoor het moeilijk is om de voordelen van biochar op grote schaal te garanderen. Dit kan bedrijven wellicht afschrikken om te investeren in biocharproductie of -gebruik.

Potentieel voor koolstofverwijdering

Bij de bepaling van het potentieel voor koolstofverwijdering staat de vraag centraal wat er met biochar gebeurt tijdens vergisting, en wat er met het digestaat gebeurt na vergisting. In Paragraaf 3.7.3. werd toegelicht dat biochar volgens het ICF, wanneer het onderdeel is van digestaat uit vergisters en in de bodem wordt toegepast, in aanmerking kan komen voor de uitgifte van koolstofcertificaten. Ervan uitgaande dat biochar intact blijft tijdens vergisting en het digestaat na vergisting dus wordt toegepast in de landbouw, kunnen we rekenen met dezelfde waarde als in Paragraaf 4.3.1, namelijk 1,6 ton CO₂-eq./ton biochar. Van het technisch vraagpotentieel van 14,3 kton biochar kan er jaarlijks dus 22,9 kton CO₂ worden vastgelegd.

4.3.6 Staal

Technisch potentieel

In een recent uitgebrachte literatuurstudie, uitgevoerd door de Universiteit van Brescia, werd het potentieel van biochar als cokes- en kolenvervanger in de staalindustrie onderzocht (Al Hosni et al., 2024). De studie richt zich op de twee belangrijkste productietechnieken waarmee staal wordt geproduceerd: Blast Furnace (BF)/Blast Oxygen Furnace (BOF) voor primaire staalproductie en Electric Arc Furnace (EAF) voor secundaire staalproductie (het deels omsmelten van gebruikt staal). Voor BF/BOF concludeert de studie dat biochar tot wel 20% van cokes/kolen zou kunnen vervangen, afhankelijk van de gebruikte type biogroundstoffen. Voor EAF heeft biochar in pilot plants succesvol bewezen tot 50% van de koolstofbehoefte te kunnen vervullen. Het volledig overgaan op biochar vergt nog wel verder onderzoek. Vooral de productie van bio-afgeleid staal die aan dezelfde specifieke eisen moet voldoen als 'regulier' staal vormt nog een uitdaging. De eindproducten moeten immers van dezelfde kwaliteit zijn.

Op de lange termijn, na 2040, zal staal gemaakt worden met een waterstofgebaseerd proces (Direct Reduced Iron, DRI). In het verduurzaamde productieproces zou biochar een duurzame bron van koolstof kunnen zijn, aangezien koolstof als grondstof nodig is voor de productie van staal. Het technisch potentieel voor biochar zal dan afnemen ten opzichten van de productie met steenkool, aangezien koolstof als grondstof een klein aandeel heeft in de productie van staal. Staal heeft namelijk een koolstofgehalte van 1,9% of lager.

Kansen en belemmeringen

Toepassing van biochar als vervanger van (een deel van de) fossiele koolstof in staalproductie lijkt een reële optie, die gestimuleerd wordt door de hoge uitstoot en daarmee hoge ETS-kosten van de huidige staalproductie. Op de lange termijn, als overgestapt wordt op productie op basis van waterstof, is de behoefte aan koolstof in het proces veel minder. Ook is het potentieel van het gebruik van koolstof in de staalproductie in Nederland per definitie beperkt door het feit dat er maar één staalfabriek is (Tata Steel).

Potentieel koolstofverwijdering

Op de korte termijn zal biochar voornamelijk ingezet worden om binnen het huidige fossiele proces CO₂-emissies te verlagen, door steenkool te vervangen voor biochar. Koolstofverwijdering is hierbij niet een doel. De mate van koolstofvastlegging uit biochar in staal hangt namelijk af van de mate waarin de koolstof daadwerkelijk in het staal terecht komt, aangezien een deel verloren gaat als energiebron en reductor. Het is moeilijk te bepalen hoeveel koolstof uit biochar daadwerkelijk in het eindproduct terecht komt. In het algemeen is het koolstofgehalte van staal lager dan 1.9%. Hoe lager het koolstofgehalte, hoe buigzamer het staal. In Nederland produceert Tata Steel buigzaam staal voor geavanceerde toepassingen, met een koolstofgehalte tot 0,045% (TATA Steel, 2025).

Gezien het gebruik van biochar als energiebron voornamelijk emissies reduceert, kijken we voor een kwantificatie van het potentieel voor koolstofverwijdering naar hoeveel koolstof daadwerkelijk in het staal terecht komt. Daartoe kunnen we het MIDDEN-rapport gebruiken voor de jaarlijkse staalproductie in Nederland (PBL, 2019).³³ Afhankelijk van het soort staal ligt het koolstofgehalte tussen 0,0004-0,04 gew.%C. We gaan hier uit van ruwijzer (c.q. *crude steel*) met een koolstofgehalte van 0,04 gew.%C. Dat betekent 400 gram koolstof per ton staal. Houtige biochar uit hoge temperatuurprocessen bevat zo'n 65% koolstof. Om 400 gram koolstof te leveren uit biochar zal daardoor 615 gram biochar benodigd zijn per ton staal.

De productie van ruwijzer in Nederland is volgens het MIDDEN-rapport circa 7,05 Mton op jaarbasis. Voor dat productievolume zou dan circa 4,34 kt biochar benodigd zijn.

Belangrijk te vermelden is dat de toepassing en het soort staal een grote rol speelt in de termijn van de koolstofvastlegging. De toepassing van biochar in constructiestaal kan mogelijk wel zorgen voor langdurige koolstofvastlegging. Voor producten zoals blikjes is de periode van staal gebruik veel korter, waarmee ook de koolstofopslag veel korter is.

³³ Het MIDDEN-rapport voor de staalproductie in Nederland is beoordeeld door TATA Steel IJmuiden. PBL en ECN, onderdeel van TNO, blijven verantwoordelijk voor de inhoud PBL. (2019). *Decarbonisation options for the Dutch steel industry*. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-decarbonisation-options-for-the-dutch-steel-industry_3723.pdf.

4.3.7 Vraag- en aanbodpotentieel samengevat

Tabel 4 - Technisch vraag- en aanbodpotentieel per jaar

Toepassing	Technisch vraagpotentieel (Mt biochar)	Vrij beschikbaar aanbod (Mt biochar)
Landbouw: akkerbouw	4,1 - 8,0	N.B.
Landbouw: veenervanger	0,0 - 0,40	N.B.
Veeteelt	0,0 - 0,30	N.B.
Bouw (asfalt)	0,30 - 0,60	N.B.
Biogas	0,0 - 0,01	N.B.
Staal	0,0 - 0,04	N.B.
Overige	N.B.	1,6 - 2,6
Totaal	4,4 - 9,4	1,6 - 2,6

Op basis van deze tabel concluderen we dat het technisch vraagpotentieel van biochar ca. 2-6 keer zo groot is als het aanbod van vrij beschikbare biomassa in Nederland volgens de Bioscope-studie. Echter, zoals blijkt uit het voorgaande is het realistische potentieel op dit moment nihil of zeer klein voor de meeste toepassingen. Dat geldt ook voor de toepassing met veruit het grootste technische potentieel - de akkerbouw. Zonder aanvullende regelgeving of financiële prikkel is de vraag naar biochar vanuit de akkerbouw vrijwel non-existent.

4.4 Economische effecten en businesscases

In deze paragraaf gaan we in op de economische rol die biochar in Nederland zou kunnen spelen. Hoe vertaalt het potentieel van de verschillende toepassingen, dat we hiervoor hebben ingeschat, zich in de mogelijke omvang van de markt?

Vervolgens zoomen we in op de schaal van een individuele producent van biochar.

We schetsen hiertoe eerst de algemene kenmerken van een businesscase voor biochar.

We geven aan, geredeneerd vanuit een biochar-producent, wat de belangrijkste elementen van kosten en opbrengsten zijn. Hierna werken we deze algemene businesscase uit voor een drietal toepassingen die in principe op korte termijn zouden kunnen worden gerealiseerd.

Dit zijn de toepassing van biochar als bodemverbeteraar voor akkerbouw, als veenervanger voor de glastuinbouw en als duurzame koolstofbron in de staalproductie.

4.4.1 Potentiële marktomvang

Om de mogelijke economische effecten van een ontwikkelde markt voor biochar inzichtelijk te maken kunnen we een inschatting maken van de maximale marktomvang op basis van het technisch vraagpotentieel. We doen dit door het totale technische vraagpotentieel uit Tabel 4 te vermenigvuldigen met de gemiddelde prijs voor biochar uit de literatuur.

Hiervoor nemen we een prijs van € 350-€ 1.000 per ton biochar (zie hierna). De totale theoretische marktomvang bedraagt daarmee € 1,5-9,4 mld. Gezien de toepassingen met het grootste theoretische potentieel zouden de effecten bij realisatie van dit potentieel met name in de landbouwsector manifesteren.

4.4.2 Algemene kenmerken businesscase biochar

Omdat de markt voor biochar nog onderontwikkeld is en het verdienmodel sterk afhankelijk is van de specifieke context, gaat het opstellen van een businesscase voor biochar gepaard met veel onzekerheden. De winstgevendheid en daarmee haalbaarheid van biocharproductie hangt sterk af van factoren zoals locatie, grondstoffen, schaal, details van de productiemethode, de afzetprijs van biochar en de mate waarin externe kosten worden meegenomen (Campion et al., 2023).

Tekstkader 9 - Deense businesscases voor biochar

Een aantal specifieke businesscases zijn doorgerekend in een rapport voor de Deense overheid (CIP Foundation, 2024). Hier werd gekeken naar pyrolyse van verschillende feedstocks. Het hoofddoel van biochar in dat rapport is koolstofverwijdering en de centrale vraag was daarom of de kostprijs gedekt kan worden door koolstofverwijderingscertificaten à 100 €/ton CO₂. Voor alle feedstocks was dit het geval. Daarnaast werd de mogelijkheid (en maatschappelijke waarde) van biochartechnologie om PFAS uit organische stromen te verwijderen benadrukt.

Om desondanks gevoel te krijgen voor de algemene businesscase voor biocharproductie zetten we hierna de belangrijkste elementen van kosten en opbrengsten onder elkaar en bespreken we de kenmerken hiervan. We voeren ook een indicatieve berekening uit van de mogelijke bijdrage van koolstofverwijdering aan de businesscase voor biochar.

In Tabel 5 staan de belangrijkste kosten voor biocharproductie weergegeven. Deze zijn ingedeeld in investeringskosten en (variabele) operationele kosten (BiocharDaily, 2025).

Tabel 5 - Belangrijkste kostenposten voor de businesscase biocharproductie

Belangrijkste kosten biocharproductie	
Type kosten	Kostenpost
Investeringskosten (CAPEX)	Kapitaalinvesteringen in de productiefaciliteit
Operationele kosten (OPEX)	Aankoop, transport en opslag van grondstoffen (biomassa)
	Energiekosten (warmte, gas, elektriciteit)
	Personeelskosten
	Certificeringskosten
	Kosten voor opslag en transport van biochar (en eventuele bijproducten) naar de klant
	Financiële kosten (zoals inflatie en belastingen)
	Overige operationele kosten (zoals afvalbeheer, onderhoud etc.)

Enkele opmerkingen bij de kostenposten:

- De investeringskosten die nodig zijn voor de productiefaciliteit hangen uiteraard af van de productiemethode van biochar.
- De kosten voor de grondstoffen voor biomassa hangen sterk af van het type biomassa dat wordt gebruikt. Laagwaardige biomassa die niet geschikt is voor andere toepassingen, zoals digestaat van biogasproductie, kan zelfs gratis worden aangeboden, zeker als de productie van biochar plaatsvindt op dezelfde locatie als de biogasproductie (CIP Foundation, 2024). Hoogwaardige biomassa die ook op een andere manier kan worden ingezet neemt wel significante kosten met zich mee. Typisch zijn kosten voor grondstoffenaankoop bij biocharproductie in de orde van 30% van de totale productiekosten (BiocharDaily, 2025).



- Energiekosten vormen een belangrijk aandeel in de productiekosten van biochar, omdat er een hoge temperatuur bereikt moet worden (zie Paragraaf 3.3). Daarnaast kan er ook energie nodig zijn om de grondstof op te werken om het geschikt te maken voor biocharproductie. Dit geldt bijvoorbeeld voor digestaat, waarbij eerst de vezels van de natte fractie gescheiden moeten worden, en daarna moeten worden gedroogd (CIP Foundation, 2024).
- Certificeringskosten zijn de kosten die de biocharproducent moet maken om de biochar te laten certificeren voor koolstofverwijdering. Dit is noodzakelijk om het koolstofverwijderingspotentieel van biochar te gelde te kunnen maken. CIP Foundation (2024) schat deze kosten op ca. € 20/ton biochar.
- Kosten voor opslag en transport naar de klant van biochar en eventuele bijproducten kunnen in principe worden doorberekend aan de klant.

In Tabel 6 staan de verschillende typen inkomsten voor biocharproductie weergegeven. Deze zijn ingedeeld in de opbrengsten van de verkoop van de (bij)producten van het productieproces en overige inkomsten.

Tabel 6 - Belangrijkste inkomstenbronnen voor businesscase biocharproductie

Belangrijkste inkomsten biocharproductie	
Verkoop producten	Verkoop biochar
	Verkoop nevenproducten (bio-olie, syngas)
	Verkoop energie (warmte, elektriciteit)
Overig	Verkoop certificaten koolstofverwijdering
	Subsidies

- Enkele opmerkingen bij de verschillende typen inkomsten:
 - De verkoop van biochar is *niet* noodzakelijkerwijs de belangrijkste inkomstenbron van de biocharproducent. Dat komt omdat de markt voor biochar nog onderontwikkeld is en de vraag naar veel praktische toepassingen laag is. Ook in de situatie dat de biochar zelf weinig of niets oplevert kan er een businesscase voor biochar worden ontwikkeld, maar zullen de inkomsten voor een belangrijk deel moeten komen van de verkoop van certificaten voor koolstofverwijdering of andere inkomstenbronnen (CIP Foundation, 2024).
 - De afzetprijs van biochar hangt sterk af van de productiekosten, de toepassing en de kwaliteit van biochar. In deze studie hanteren we een prijsrange van € 350-€ 1.000 per ton biochar (hoge kwaliteit, geschikt voor landbouwtoepassingen). Tekstkader 10 benoemt de bronnen en overwegingen voor deze prijsrange.
 - Bijproducten die marktwaaarde hebben zijn bijvoorbeeld bio-olie, syngas en proceswarmte. In welke mate deze geproduceerd worden hangt af van de productiewijze van biochar (zie Paragraaf 3.3).
 - Subsidies kunnen bijvoorbeeld toegewezen worden door de overheid om de markt voor koolstofverwijdering te stimuleren.
 - Het huidige beleid rondom subsidiering van de onrendabele top bij duurzame warmte-installaties (SDE++), zorgt ervoor dat een prikkel om biochar in plaats van warmte te maken van biomassa uitblijft.

Omdat zowel de kosten als de opbrengsten sterk afhangen van de details van de businesscase (het type grondstof, de productiemethode, de afzetmarkt, de mate waarin koolstofverwijdering plaatsvindt, etc.) is het niet mogelijk om deze verschillende typen kosten en opbrengsten in algemene zin in te schatten. Daarom gaan we hierna dieper in op drie verschillende potentiële businesscases voor het gebruik van biochar in Nederland.

Tekstkader 10 - Schattingen van marktprijzen voor biochar variëren sterk

De afzetprijs van biochar hangt sterk af van de productiekosten, de toepassing en de kwaliteit van de biochar. Prijzen van biochar in Nederland en België variëren sterk, van 200 €/ton voor lage kwaliteit biochar uit onzekere grondstof, tot 2.000 €/ton voor hoge kwaliteit biochar (BiocharDaily, 2025; Brancheorganisatie Akkerbouw, 2014; Vlaco, 2024). In deze studie hanteren we een prijsrange van € 350-€ 1.000 per ton biochar (hoge kwaliteit, geschikt voor landbouwtoepassingen). Hieronder zetten we de gevonden bronnen en overwegingen op een rij:

- Huidige gemiddelde prijzen in België liggen rond de 1.000 €/ton (Vlaco, 2024). Het is uit deze literatuur niet af te leiden wat dit betekent voor specifieke technologieën, welke invloed verwaarding van co-producten en koolstofcertificaten op de prijs heeft, en of er sprake is van schaalvoordelen. Volgens een van de gesproken experts is deze gemiddelde prijs gebaseerd op relatief kleinschalige productie in vergelijking met wereldwijde praktijken, en is de waarde van koolstofcertificaten hier niet in verrekend.²⁶
- Gecertificeerde biochar van geschikte kwaliteit voor de landbouw werd een paar jaar geleden in Europa voor \$600-\$700 per ton verkocht (UNIDO, 2021).
- Een schatting van een van de gesproken experts van huidige Nederlandse marktprijzen voor hoge kwaliteit biochar in commerciële toepassingen is € 350-€ 450.²⁶ Hierbij is rekening gehouden met opbrengsten van co-producten en koolstofcertificaten.
- In de Deense studie van de CIP Foundation (2024) wordt gerekend met een prijs van 0€, omdat de aanname is dat het 'product' koolstofverwijdering is, en de prijs van biochar dus 100% bepaald wordt door de prijs van het koolstofverwijderingscertificaat. In dat geval zou de prijs momenteel rond de € 200/ton biochar liggen, op basis van de huidige gemiddelde prijs van certificaten (€ 116/ton CO₂, zie Paragraaf 2.3) en een gemiddelde permanentie van de koolstof in biochar (zorgt voor langdurige opslag van 1,8 ton CO₂/ton biochar, zie Paragraaf 4.4.3). Dit lijkt niet te stroken met de voorgenoemde minimumprijzen voor biochar, in ieder geval niet voor hoge (landbouw)kwaliteit.
- Een recente review met wereldwijde scope over kosten en baten van biochar laat zien dat de kostprijs van biochar nog meer variabel is (Campion et al., 2023). De wereldwijde spreiding in kostprijs loopt van 0-2710 \$/ton biochar, met een mediaan van ongeveer 375 \$/ton biochar. De spreiding wordt onder andere veroorzaakt door de grote variatie aan technieken (en co-producten), feedstocks, locatie en subsidiëring.
- Ook kunnen er grote verschillen zijn per eindgebruiker: Wereldwijd liggen bulkprijzen voor goede kwaliteit biochar (geschikt voor toepassing in de landbouw) tussen de \$200-\$600 per ton, terwijl consumentenprijzen 5 tot 10 keer zo hoog kunnen liggen.²⁶ In een wereldwijde survey geeft meer dan de helft van de biocharproducenten aan geen opbrengsten uit koolstofcertificaten te ontvangen (IBI & USBI, 2024). Dit zijn indicaties dat door schaalvoordelen bij productie, in een volwassen markt voor landbouwtoepassingen, en bij benutting van koolstofcertificaten, de prijzen van goede kwaliteit biochar een stuk lager kunnen zijn dan € 1.000 per ton.

De variatie in waarden gevonden in deze bronnen, en de bepalende invloed van specifieke techniek en feedstock, schaal, co-producten, koolstofcertificaten, kwaliteit van de biochar, toepassingen en type markt (bulk of consument), maakt duidelijk dat het eigenlijk alleen zinnig is aan een businesscase te rekenen wanneer de specifieke context bekend is. Om toch grove berekeningen over economisch potentieel en businesscases te kunnen maken, hanteren we de eerder genoemde brede range van € 350-€ 1.000 per ton biochar (hoge kwaliteit, geschikt voor landbouwtoepassingen).

4.4.3 Indicatieve berekening bijdrage koolstofverwijdering aan businesscase biochar

Zoals toegelicht in het Tekstkader 7, rekenen we met een gemiddelde permanente koolstofverwijdering van 1,6 ton CO₂-eq. voor een ton biochar toegepast in bodems in Nederland, en 2,4 ton CO₂-eq. voor een ton biochar die langdurig (>100 jaar) in materialen gefixeerd is.

Een CO₂-prijs van 100 €/ton, zoals gehanteerd in CIP Foundation (2024), vertaalt zich in dat geval naar een vergoeding van respectievelijk 160 en 240 €/ton biochar. Deze vergoeding is 107 en 72 €/ton biochar bij een C-gehalte van respectievelijk 450 (vergelijkbaar met biochar uit mest) en 300 kg/ton biochar (vergelijkbaar met biochar uit slib) en 65% vastlegging >100 jaar, en loopt op tot 264 €/ton biochar bij een C-gehalte van 800 kg/ton biochar en 90% vastlegging >100 jaar. Dit laatste zou haalbaar zijn wanneer de biochar gemaakt is van houtige biomassa en een hoog gehalte inerte C bevat, zoals wanneer het geproduceerd is via fast pyrolysis of vergassing. Zo is te zien dat het koolstofgehalte en de mate van permanentie belangrijke factoren zijn bij de bepaling van de bijdrage van certificaten aan de businesscase. Deze worden op hun beurt met name beïnvloed door het type feedstock, het productieproces, het soort toepassing en omgevingsfactoren zoals bodemeigenschappen.

De verwachte waardering van koolstofcertificaten voor biochar zal volgens een vooraanstaande expert eerder rond de € 150-€ 250 liggen, en loopt momenteel op tot € 450 bij bedrijven met goede marketing.³⁴ Bij een hogere CO₂-prijs à 250 €/ton CO₂, 100% vastlegging >100 jaar, en een C-gehalte van 800 kg/ton biochar, wordt de vergoeding 733 €/ton biochar. Hier zouden de kosten van certificering nog vanaf moeten worden getrokken (ca. € 20/ton biochar).

4.4.4 Biochar toegepast in de landbouwsector

Biochar kan in de landbouwsector zowel worden toegepast in de akkerbouw en vollegrondstuinbouw (als 100% biochar, of vermengd met mest of compost), als in de glastuinbouw (als veenervanger in substraat).

Een voorwaarde voor toepassing in teelt is dat de biochar van hoge kwaliteit is, en daarvoor gecertificeerd is. Qua drempelwaarden voor verontreiniging valt biochar in dezelfde categorie als compost onder de meststoffenwet (Van Reuler & Baltissen, 2016). Dat heeft ook implicaties voor de biomassa feedstock: die moet schoon en van hoge kwaliteit zijn, anders worden die drempelwaarden niet behaald. Dit vormt een beperking op de beschikbaarheid van biomassa, en heeft implicaties voor de prijs van toegestane biochar. Zoals eerder geanalyseerd variëren prijzen van biochar momenteel sterk, van 200 €/ton tot 2.000 €/ton, waarbij hoge kwaliteit biochar in de range van 350-1.000 €/ton ligt (zie Paragraaf 4.4.2).

Wanneer alle opbrengsten van koolstofcertificaten naar verlaging van deze prijs zouden gaan, zal de gemiddelde prijs nog steeds minimaal enkele honderden €/ton biochar bedragen. Biochar bevat van nature ook kalium, wat een waardevolle meststof is. Wanneer dit gemeten en gecommuniceerd kan worden, kan dit ook in de prijs gewaardeerd worden.

Ook andere voordelen voor bodemkwaliteit die biochar heeft (maar die niet tot uitdrukking komen in gewasopbrengst), kunnen de prijs nog iets verder drukken. Echter hebben we eerder al geconcludeerd dat er in de akkerbouw geen autonome vraag naar biochar is, en er zelfs geld toegelegd zou moeten worden om dit grootschalig toegepast te laten worden.

³⁴ Persoonlijke communicatie met Sebastian Manhart op 31 maart 2025.



Dat betekent dat er voorlopig waarschijnlijk een onrendabele top blijft van honderden €/ton biochar, die via subsidies gedekt zou moeten worden, totdat eventueel een volwassen markt met grootschalige productie ontstaat en subsidies niet meer nodig zijn.

Dit zijn andere bevindingen dan een rapport uit Denemarken (CIP Foundation, 2024), dat vond dat de opbrengst van koolstofverwijderingscertificaten genoeg opbrengst zouden leveren om de kosten van biocharproductie te dekken. Dat ging er echter vanuit dat koolstofverwijdering het enige doel van de biocharproductie was, en dat de biochar per definitie in de landbouw toegepast zou worden. Onder normale marktwerking zou een biocharproducent eerst klanten zoeken die wel voor biochar willen betalen en dan zijn de marktprijzen leidend.

De route via de markt lijkt dus niet haalbaar voor biochar in de akkerbouw. Mogelijke haalbare routes zijn daarom de toegewezen ketens zoals naar Deens model, waarbij afzet in de akkerbouw gegarandeerd is, of via toevoeging aan dierlijke mest tijdens opslag of vergisting zijn, via een verplichting of via financiële prikkels (zie Paragraaf 4.3.1). Op die manier komt de biochar indirect op landbouwgrond terecht. Wanneer de businesscase voor vergisters positief wordt beïnvloed door biochar, zou dit automatisch tot opname van biochar door de landbouwsector leiden.

De glastuinbouwsector is een ander verhaal. Hier wordt gezien dat biochar nu al aantrekkelijk is als veenvervanger (zie Paragraaf 3.7.1). Uitgaande van de huidige prijsrange van 350-1.000 €/ton, is dit duurder dan andere veenvervangers zoals compost, en naar verwachting ook duurder dan cocopeat. Het heeft echter ook voordelen voor het substraat die andere alternatieven niet hebben (het is bijvoorbeeld minder zuur dan compost). In combinatie met andere veenalternatieven zal biochar dan ook een aantrekkelijk product zijn. Wellicht kan het op die manier tot 10% van het veen vervangen: 160 kton/jaar, € 56 mln. - € 160 mln. marktomvang. Een maximale vervanging van 50% substraatvolume lijkt echter alleen haalbaar wanneer de prijs van biochar verder daalt. Wellicht is dat haalbaar wanneer een biocharproducent co-producten goed weet te verwaarden, schaalvoordelen worden gerealiseerd, en koolstofcertificaten voor deze toepassing worden uitgegeven. Dat laatste is echter momenteel nog niet toegestaan binnen de conceptmethodologie voor biochar van EU CRCF. Die integratie heeft daarom nog veel om het lijf (zie verder Paragraaf 4.3.2).

4.4.5 Biochar toegepast in de staalindustrie

We verkennen in deze paragraaf een beknopte businesscase voor de staalindustrie. De staalindustrie is een van de grootste verbruikers van fossiele koolstof, aangezien koolstof een grondstof is voor de productie van staal. Biochar, als hernieuwbare en koolstofrijke grondstof, biedt koppelkansen om fossiele koolstof te vervangen en daarmee de staalproductie te verduurzamen. Hoewel de toepassing van biochar bij de staalproductie meer op emissiereductie lijkt, levert het in dit geval juist vermeden uitstoot op. Biochar vervangt immers steenkool als koolstofbron. Daardoor blijven CO₂-emissies uit en dalen de ETS-kosten. In Tabel 7 rekenen we een beknopte businesscase door. We gaan er daarbij van uit dat het gebruik van biochar in plaats van steenkool leidt tot het wegvallen van ETS kosten die daarmee gepaard gaan.

Tabel 7 - Elementen voor de businesscase van gebruik biochar in de staalproductie

Onderdeel	Waarde	Toelichting
Koolstofgehalte biochar	65% (0,65 ton-C/ton biochar)	Koolstofmassa per ton biochar, zie ook Paragraaf 4.4.3.
Vermeden fossiele CO ₂ -uitstoot	$0,65 \times 3,667 = 2,39$ ton CO ₂ /ton biochar	Elke ton fossiele koolstof lever 3,667 ton CO ₂ op bij verbranding.
EU ETS-prijs	€ 66,76 per ton CO ₂	EU ETS prijs die is vastgesteld voor 2025 (NEa, 2024)
CO ₂ -heffing	€ 87,90 per ton CO ₂	Geldende tarief in 2025 (NEa, 2024)
CO ₂ -heffing ETS-installaties	€ 21,14 per ton CO ₂	(NEa, 2024)
Totaal CO ₂ -kosten	€ 87,90 per ton CO ₂	
Vermeden CO ₂ -kosten	$2,39 \text{ ton} \times € 87,90 = € 210,08$ per ton CO ₂	Besparing per ton biochar door vermeden CO ₂ -uitstoot
Kosten biochar	€ 350 - € 1.000 per ton	Paragraaf 4.4.3.
Kosten steenkool	€ 86,51 per ton	(Grondstofprijs.com, 2025)
Meerprijs biochar	€ 263,49 tot € 913,49 per ton	Extra kosten t.o.v. fossiele koolstof uit kolen.
Netto extra kosten	Meerprijs biochar - € 210,08 = € 53,41 tot € 703,41 per ton	Financieel nadeel bij gebruik biochar excl. evt. opbrengsten uit certificaten.

Dankzij het relatief hoge koolstofgehalte van 65% in biochar wordt bij verbranding van een ton biochar circa 2,39 ton aan fossiele CO₂-uitstoot vermeden. Omdat staalproducenten onder het EU ETS vallen én onder de aanvullende Nederlandse CO₂-heffing voor ETS-installaties, bedragen de vermeden CO₂-kosten € 87,90 per ton CO₂. Wat leidt tot een totale vermeden kosten van ruim € 210 per ton biochar.

Bij een biocharprijs van € 1.000 per ton is biochar in 2025 financieel nadeliger dan fossiele koolstof uit steenkool. De netto meerkosten bedragen ongeveer € 704 per ton biochar, tenzij er aanvullende inkomsten zijn uit bijvoorbeeld CDR-certificaten of subsidies in de toekomst. De vermeden ETS- en CO₂-heffingskosten zijn van onvoldoende grootte om de meerprijs ten opzichte van steenkool te dekken. Eventuele opbrengsten uit de verkoop van CDR-certificaten die aantonen dat er ook actief sprake is van koolstofverwijdering door koolstof dat daadwerkelijk in het staal terechtkomt zijn hier buiten beschouwing gelaten.

5 Conclusies en discussie

5.1 Belangrijkste bevindingen

In de voorgaande hoofdstukken hebben we de verschillende onderzoeksvragen behandeld die in de Inleiding genoemd zijn. Omdat dit brede vragen zijn laten de antwoorden zich niet makkelijk samenvatten en doen we daarom geen poging om de onderzoeksvragen hier specifiek (nogmaals) te beantwoorden. In plaats daarvan bespreken we onze belangrijkste bevindingen van dit onderzoek, die op sommige punten ook verder gaan dan de scope van de onderzoeksvragen.

5.1.1 Certificeringsmethodes

Op het gebied van **certificering voor koolstofverwijdering** concluderen we dat het Europese raamwerk hiervoor (CRCF) heel belangrijk is, omdat dit naar verwachting de standaard wordt voor certificeringsschema's (Europees, maar mogelijk ook internationaal) en een belangrijke rol gaat spelen in toekomstig EU-beleid op het gebied van koolstofverwijdering. De methode voor biochar onder het CRCF is nog niet gereed, maar deze wordt waarschijnlijk voor het einde van 2025 afgerond. Van belang zijn vooral de toegestane typen feedstocks en toepassingen en de regels voor de vaststelling en monitoring van de permanentie van de koolstofopslag.

In 2026 komt de Europese Commissie met een **voorstel over de integratie van koolstofverwijdering in het ETS**. Hoewel dit op vele manieren zou kunnen en er nog geen zicht is op hoe de Europese Commissie dit wil aanpakken, zou het opnemen van koolstofverwijdering in een verplichte koolstofmarkt zoals het ETS waarschijnlijk een enorme boost geven aan de vraag naar koolstofverwijderingscertificaten. Het is echter nog onzeker of dit ook voor biochar zou gelden, omdat het niet duidelijk is of biochar als methode voor koolstofverwijdering erkend zou worden in het ETS.

Uit onze **vergelijking van de certificeringsschema's** die een methode hebben ontwikkeld voor biochar volgt dat een koolstofverwijderingscertificaat niet garandeert dat aan de strengste eisen voor duurzaamheid is voldaan. Belangrijke verschillen tussen de methodieken zijn welke toepassingen voor biochar zijn toegestaan, hoe de netto (negatieve) emissies van een project worden berekend, en welke eisen aan co-benefits worden gesteld. Alle methoden lijken beperkt in hun duurzaamheidseisen en klimaatregelen voor feedstocks (risico voor niet-duurzame feedstocks en 'vergeten' ketenemissies) en in hun eisen voor monitoring na toepassing (risico voor garantie voor permanentie). Monitoring na toepassing lijkt bij biochar overigens ook beperkt haalbaar te zijn, belangrijker is monitoring van het product en van de toepassing ervan. De schema's bevatten geen bepalingen over hoe de opbrengsten van de certificaten over de ketenpartners verdeeld moeten worden.

5.1.2 Techniek en toepassingen

Er bestaat een sterke onderlinge afhankelijkheid tussen **de grondstoffen die gebruikt worden voor biochar, de productiemethoden en de eigenschappen van het eindproduct**. Met name de mate van vervuiling van de gebruikte biomassa, maar ook de procescondities van het productieproces (temperatuur, zuurstofgehalte, reactorontwerp, etc.), bepalen de zuiverheid van de biochar en daarmee de mogelijke toepassingen.

Er zijn grofweg vier verschillende productiemethoden (snelle pyrolyse, langzame pyrolyse, torrefactie en vergassing), die passen bij verschillende typen biomassa en onderling verschillen in met name de temperatuur en de retentietijd. Een hogere temperatuur leidt in algemene zin tot een lagere biocharproductie, maar een hoger percentage stabiele koolstof (inertniet) in de geproduceerde biochar. De productiemethoden verschillen ook in de mate waarin bijproducten zoals pyrolyse-olie en synthesesgas ontstaan. Via de keuze van de grondstof en de productiemethode kan er op deze manier gestuurd worden op de hoeveelheid biochar die ontstaat, de eigenschappen ervan en de andere producten van het proces.

De mogelijkheid om via biochar langdurig CO₂ (indirect) uit de atmosfeer op te slaan (koolstofverwijdering) staat centraal in deze studie. De permanentie van de koolstofopslag in biochar is nog onderwerp van onderzoek, en hangt uiteindelijk mede af van de toepassing van biochar, maar de resultaten wijzen erop dat koolstof in biochar voor tientallen tot duizenden jaren stabiel opgeslagen kan blijven. Typisch staat een lagere H/C-verhouding voor een stabielere biochar met een hoge koolstofinhoud en is daarmee geschikter voor koolstofopslag voor langere tijd. Recent is er een methode ontwikkeld om het aandeel inertniet (de stabiele koolstof in biochar) op een directere manier te meten. Beide meetmethoden zijn toegestaan in de conceptmethode voor biochar onder de CRCF, waarin biochar als permanente koolstofverwijderingsmethode wordt aangeduid.

Naast koolstofverwijdering kan biochar nog **andere positieve klimaat- en milieueffecten** hebben. In sommige toepassingen kan biochar tot emissiereductie van broeikasgassen leiden, en in de keten kunnen emissiereducties en vermeden emissies tevens positief zijn voor het klimaat. Positieve milieueffecten kunnen bijvoorbeeld optreden op het terrein van biodiversiteit en waterbeheer.

Negatieve effecten kunnen optreden door vervuiling van de grondstof (bijvoorbeeld met zware metalen) en/of vervuiling die tijdens het productieproces optreedt (bijvoorbeeld PAKs of PCBs). Daarnaast kan het gebruik van niet-duurzame biomassa tot tal van negatieve milieu- en klimaateffecten leiden, zoals op het gebied van landgebruik, biodiversiteit en klimaat. Strengere eisen aan en controle op de toegestane grondstoffen voor biochar zijn dus een belangrijk aandachtspunt.

Naast de koolstofverwijderingsfunctie heeft **biochar veel verschillende mogelijke toepassingen**, die implicaties hebben voor de kwaliteitseisen en de gebruikte grondstoffen. Bodemverbetering wordt vaak genoemd, maar ook toepassingen in de veeteelt, bouw en staalindustrie zijn mogelijk. De meeste toepassingen hebben een relatief hoge TRL en worden al op kleine schaal toegepast, maar geen enkele toepassing vindt al op grote commerciële schaal plaats. Niet alle toepassingen van biochar leiden tot koolstofverwijdering, soms wel tot emissiereductie van broeikasgassen.

5.1.3 Potentieel in Nederland

Er is een grote **discrepancie tussen het technisch (theoretisch) potentieel en het realistische potentieel** voor biochargebruik in Nederland. Het technisch potentieel schatten we in op 4,4-9,4 Mton, wat bij een gemiddelde marktprijs van € 350-€ 1.000 voor een ton biochar een theoretisch maximale marktomvang van € 1,5-9,4 mld. impliceert. In de praktijk wordt biochar echter nog zeer mondjesmaat toegepast en bestaan er voor de meeste toepassingen serieuze barrières voor praktische toepassing op de korte termijn.

Het **grootste theoretische potentieel bestaat in de akkerbouw** voor biochar als bodemverbeteraar. Echter, akkerbouwers hebben op dit moment een lage betalingsbereidheid als het gaat om alternatieven voor compost als bodemverbeteraar. Bovendien is in Nederland nog nooit aangetoond dat toevoegen van biochar daadwerkelijk leidt tot significante verbetering van de opbrengst. In principe zou de businesscase verbeterd kunnen worden als het koolstofverwijderingspotentieel van deze toepassing van biochar gemunt zou kunnen worden. Om dat te bereiken moet de opbrengst van de verkoop van koolstofverwijderingscertificaten echter wel deels bij de akkerbouwer terecht komen, terwijl deze nu in principe aan de biocharproducent toekomt. Alternatief zou de overheid de toepassing van biochar als bodemverbeteraar kunnen stimuleren via subsidies of normstelling.

Andere toepassingen met een (beperkt) koolstofverwijderingspotentieel zijn veenvervanging in de glastuinbouw, toevoeging aan veevoer of mest, gebruik in bouwmaterialen, toevoeging aan biovergisters en gebruik in de staalproductie. Hiervoor geldt wel dat de vraag naar koolstofverwijderingscertificaten zou moeten toenemen en dat verdeling van de opbrengsten over de keten goed geregeld zou moeten worden. Bij met name veevoer en staalproductie heeft het gebruik van biochar vooral ook een interessant potentieel voor emissiereductie. Bij veenvervanging en gebruik in bouwmaterialen ligt het grootste potentieel in het vermijden van broeikasgasemissies.

Hoewel er op dit moment in Nederland nog geen groot realistisch potentieel lijkt te zijn voor koolstofverwijdering door middel van biochar, liggen er wel een **aantal kansen voor toepassing van biochar in relatie tot de specifieke omstandigheden in Nederland**. Zo zijn er op dit moment nog weinig effectieve maatregelen om de emissies van broeikasgassen in de Nederlandse landbouwsector te verminderen. Toepassing van biochar in veevoer of als bodemverbeteraar zou aan broeikasgasemissiereductie kunnen bijdragen.

Daarnaast heeft Nederland een mestoverschot. Boeren kunnen met vergistingsinstallaties op het eigen erf een deel van hun mest omzetten in biogas, wat ze vervolgens kunnen verkopen. Zoals we gezien hebben zou biochar de opbrengst van het vergistingsproces kunnen verhogen. Overigens zou biochar ook direct aan de mest kunnen worden toegevoegd (maar dat zou dan eerder via een verplichting moeten worden geregeld, omdat de biochar dan een beperkte economische waarde heeft voor de boer).

Tot slot kan dierlijke mest ook goed worden gebruikt om biochar te *produceren*. Mogelijk is de betalingsbereidheid voor biochar als bodemverbeteraar elders hoger vanwege andere bodemsoorten, etc., waardoor Nederlandse boeren een alternatieve afzetmarkt voor hun mest zouden kunnen creëren.

5.2 Discussie en vooruitblik

In deze paragraaf zoomen we een stukje verder uit: wat betekent het voorgaande nu voor RVO, en in welke mate hebben we de onderzoeksvragen van RVO kunnen beantwoorden? Ook bespreken we wat de belemmeringen waren in dit onderzoek en waar eventueel vervolgonderzoek zou kunnen helpen.

Het doel van deze studie was om de kennisbasis over biochar te vergroten, om de advisering over biochar-gerelateerde subsidieaanvragen te versterken. Mede door het gebruik van interviews met experts hebben we voldoende informatie verkregen om alle onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. In sommige gevallen hebben we de scope van ons onderzoek zelfs nog wat breder gemaakt, bijvoorbeeld door niet alleen naar negatieve maar ook naar positieve klimaat- en milieueffecten te kijken (vraag 4).

Wel is een belangrijke constatering dat het beleidsveld rond biochar sterk in beweging is. We hebben weliswaar een aantal certificeringsschema's voor biochar kunnen vergelijken (vraag 1), maar de belangrijkste, die binnen het Europese CRCF, is nog niet voltooid. Ook hebben we gemerkt, in lijn met onze verwachting, dat er nog veel onzekerheden zijn rond de businesscases voor biochar (vraag 5). Het was daarom niet mogelijk deze met kwantitatieve precisie uit te werken. Ook is de businesscase atypisch in de zin dat biochar zelf financieel vaak niet het belangrijkste product van biocharproductie lijkt te zijn, de opbrengst zit hem vaak meer in de verkoop van bijproducten (bio-olie, syngas) en van de koolstofverwijderingscertificaten op de vrijwillige koolstofmarkt.

Mede hierdoor lopen de inschattingen van de prijs van biochar sterk uiteen. We hebben ook aanwijzingen dat, zelfs in bronnen van goede kwaliteit, de prijs (c.q. kosten) van biochar zelf en de prijs van een koolstofverwijderingscertificaat op basis van een biocharproject regelmatig door elkaar worden gehaald, terwijl dit nadrukkelijk verschillende dingen zijn. Verder onderzoek zou moeten uitwijzen waarom de inschattingen van biocharprijzen zo sterk verschillen en hoe de hoge waarden uit de literatuur (tot >€ 2.000) zich verhouden tot onze conclusie dat er nog beperkt sluitende businesscases voor biochar te maken zijn en biochar soms gratis wordt weggegeven, waar is een dergelijke hoge prijs dan op gebaseerd? Ook hebben we geconstateerd dat om het potentieel van sommige toepassingen scherper in beeld te krijgen, diepgaander onderzoek nodig is dan binnen de scope van deze studie mogelijk was. Dit heeft met name betrekking op het gebruik van biochar in de bouw.

We formuleren in deze studie geen concrete aanbevelingen voor RVO, maar geven wel een paar belangrijke overwegingen mee.

De eerste is dat **biochar een van de vele toepassingen in het klimaatbeleid en de energietransitie is die gebruikmaakt van duurzame biomassa**. We hebben gezien dat het vrij beschikbare aanbod van biomassa in Nederland een stuk kleiner is dan het technisch potentieel van biochar. Een vraag die daarom altijd beantwoord moet worden als het gaat om de inzet van biochar is hoe de schaarse beschikbare biomassa (en welk type) moet worden gebruikt voor de verschillende toepassingen en welk belang biochar daarin heeft. Daarnaast moet de daadwerkelijke duurzaamheid van de biomassa goed gemonitord worden.

Een tweede overweging is dat **koolstofverwijdering als beleidsveld en als markt nog in de kinderschoenen staat**. Zonder aanvullende regulering gaat de vraag naar koolstofverwijderingscertificaten niet vanzelf van de grond komen, of het nu koolstofverwijdering via biochar betreft of via een andere methode. Een vorm van een verplichte markt voor koolstofverwijdering zou de vraag sterk ondersteunen. Dit zou via het ETS kunnen, maar daar zijn ook risico's aan verbonden, zoals een averechtse prikkel om primair te blijven inzetten op emissiereducties (*mitigation deterrence*). Andere opties zijn ook mogelijk, zoals via een Carbon Take Back Obligation voor de industrie. Op sectoraal niveau kan de markt ook ondersteund worden door specifieke normen, subsidies of ander beleid. Bij voorkeur is dit beleid niet per koolstofverwijderingsmethode weer anders: de inzet op biochar hangt daarom sterk samen met het koolstofverwijderingsbeleid als geheel, op zowel Nederlands als Europees niveau.

Een derde overweging is dat **biochar ook los van koolstofverwijdering relevant kan zijn voor het Nederlandse klimaat- en landbouwbeleid**. Biochar kan in bepaalde toepassingen tot emissiereductie en/of vermeden emissies leiden in een sector die bekend staat als 'hard-to-abate'. Hoewel biochar (nog) niet tot bewezen betere landbouwopbrengsten leidt, zou het wel nuttig kunnen zijn voor boeren die hun mest vergisten, en zo bijdragen aan een hogere groengasproductie.

Ook kan biochar een nuttig product van (overtollige) mest vormen. Op deze manier zou biochar een (circulaire) rol kunnen gaan spelen binnen de landbouw, mits de juiste prikkels vanuit regelgeving en/of subsidies aanwezig zijn. Wat deze prikkels precies zouden moeten zijn is buiten de scope van deze studie en zou in een vervolgonderzoek verder uitgewerkt kunnen worden.

Een vergelijkend onderzoek tussen biochar en andere methoden voor koolstofverwijdering was geen onderdeel van deze studie. Toch kunnen we op basis van onze bevindingen, zoals de gevoerde interviews met experts en de gevonden prijzen van koolstofcertificaten, een vierde overweging toevoegen. Deze overweging is dat, ondanks de hierboven genoemde uitdagingen, **biochar een van de *novel technologies* voor koolstofverwijdering is die het snelst schaalbaar is**, en relatief goedkoop lijkt ten opzichte van andere innovaties zoals *direct air capture*. Het potentieel voor de vaak nog goedkopere conventionele, landgebruik-gebaseerde koolstofverwijdering (zoals bebossing) is in Nederland beperkt vanwege beperkte vrije ruimte. Voor technologische, permanente methoden is CCS-infrastructuur nodig. Als de Nederlandse overheid op korte termijn met grootschalige koolstofverwijdering aan de slag wil, dan lijkt biochar één van de logische kandidaten.

Literatuurlijst

- Accend. (2025). *P4S (Power 4 Sustainability)*. Accend.
<https://www.accend.earth/projects-p4s>
- Adhikari, S., Moon, E., Paz-Ferreiro, J., & Timms, W. (2024). Comparative analysis of biochar carbon stability methods and implications for carbon credits. *Science of the Total Environment*, 914, 169607.
- Al Hosni, S., Domini, M., Vahidzadeh, R., & Bertanza, G. (2024). Potential and Environmental Benefits of Biochar Utilization for Coal/Coke Substitution in the Steel Industry. *Energies*, 2024(11), 2759.
<https://doi.org/10.3390/en17112759>
- Biochar Today. (2025). *Industrial Biochar Production Scales Up in Port-Cartier*.
https://biochartoday.com/2025/05/01/industrial-biochar-production-scales-up-in-port-cartier/?utm_source=chatgpt.com
- BiocharDaily. (2025). *Economic Analysis of Biochar Production Costs: A Comprehensive Breakdown*. <https://biochardaily.com/biochar-production-cost-analysis/>
- Biomassafeiten.nl. (2024, 10 december 2024). *Deense gemeente zet biochar in voor klimaat en groenbeheer*. Biomassafeiten.nl.
<https://www.biomassafeiten.nl/2024/12/10/deense-gemeente-zet-biochar-in-voor-klimaat-en-groenbeheer/>
- Blok, C., Beerling, E., Barbagli, T., & Eveleens, B. (2024). *Hernieuwbare grondstoffen voor groeimedia: Basisgegevens ten behoeve van het convenant Milieu-impact potgrond en substraten*.
- Brancheorganisatie Akkerbouw. (2014). *Biochar voor de landbouw*. Brancheorganisatie Akkerbouw. <https://kennisakker.nl/archief-publicaties/biochar-voor-de-landbouw4172>
- BTG. (2021). *BTG openbaar eindrapport vergassing 11 maart 2021*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Building Balance. (2025). *Mogelijkheden met biobased bouwen in de GWW*.
<https://buildingbalance.eu/app/uploads/2025/01/Brochure-NABB-GWW-2025.pdf>
- Campion, L., Bekchanova, M., Malina, R., & Kuppens, T. (2023). The costs and benefits of biochar production and use: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137138.
- Carbon Market Watch. (2024, February 20th, 2024). *CRCF: The EU's carbon removal certification failure*. <https://carbonmarketwatch.org/2024/02/20/crcf-the-eus-carbon-removal-certification-failure/>
- Carbonfuture. (2025). *How biochar can help prevent wildfires*. Carbonfuture.
<https://www.carbonfuture.earth/magazine/how-biochar-can-help-prevent-wildfires>
- Castro-Herrera, D., Prost, K., Kim, D. G., Yimer, F., Tadesse, M., Gebrehiwot, M., & Brüggemann, N. (2023). *Biochar addition reduces non-CO2 greenhouse gas emissions during composting of human excreta and cattle manure* (0047-2425).
- CATF, & CONCITO. (2024). *The Balancing Act: Risks and Benefits of Integrating Permanent Carbon Removals into the EU ETS*. <https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2024/11/26174743/carbon-removals-eu-ets.pdf>



- CBS. (2022). *Rekenmethodiek graasdieren*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2023/dierlijke-mest-en-mineralen-2022/3-rekenmethodiek-graasdieren>
- CDR.fyi. (2024, February 7th, 2024). *Trending on Track? - CDR.fyi 2023 Year in Review*. CDR.fyi,. <https://www.cdr.fyi/blog/2023-year-in-review>
- CE Delft. (2023a). *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid: Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland*. <https://ce.nl/publicaties/koolstofverwijdering-voor-klimaatbeleid/>
- CE Delft. (2023b). *LCA van 8 grondstoffen uit rioolwater - Update 2022*.
- CE Delft. (2024a). *Kennisbasis biograndstoffen*.
- CE Delft. (2024b). *Stimulering vezelteelt voor biobased bouwmaterialen*. https://ce.nl/wp-content/uploads/2024/09/CE_Delft_230391_Stimulering_vezelteelt_voor_biobased_bouwmaterialen_def.pdf
- CE Delft, & Royal HaskoningDHV. (2020). *Bio-Scope : Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa*. <https://ce.nl/publicaties/bio-scope-toepassingen-en-beschikbaarheid-van-duurzame-biomassa/>
- Century Aluminum. *Anoden*. Retrieved 19-07 from <https://www.centuryvlissingen.nl/over-ons/anoden/#:~:text=Anoden%20zijn%20koolstof%20blokken%20die,elektrolyseproces%20waarmee%20aluminium%20wordt%20geproduceerd>.
- Chen, B., Koziel, J. A., Bialowiec, A., & O'Brien, S. C. (2024). The potential role of biochar in mitigating gaseous emissions from livestock waste - A mini-review. *Journal of Environmental Management*, 2024, 122692. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122692>
- CIP Foundation. (2024). *How to establish a market for CCS with biochar in Denmark*. <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2024/03/How-to-establish-a-market-for-CCS-with-biochar-in-Denmark-1.pdf>
- Compendium voor de leefomgeving. (2024). *Mestproductie door de veestapel, 1986-2023*. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl010430-mestproductie-door-de-veestapel-1986-2023>
- D. Aller et al. (2023). *BIOCHAR GUIDELINES FOR AGRICULTURE APPLICATIONS*. https://extension.colostate.edu/wp-content/uploads/2024/01/USBI_FACT_SHEET_DFB_Application_Guide_01.pdf
- D. Chiamonti, G. L., F. Vaccari, H. Sanei,. (2024). Assessment of long-lived Carbon permanence in agricultural soil: Unearthing 15 years-old biochar from long-term field experiment in vineyard. *Elsevier*(191). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107484>
- De Haan, J. J., Van Balen, D. J. M., Topper, C. G., De Haas, M. J. G., Van der Draai, H., & Bussink, H. (2014). *Toetsing van effecten van toediening van biochar op opbrengst en bodemkwaliteit in meerjarige veldproeven*.
- EBC. (2021). *EBC-Guidelines for the Certification of Biochar Based Carbon Sinks, Version 2.1*. https://www.european-biochar.org/media/doc/2/c_en_sink-value_2-1.pdf
- EC. (2022). *Voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van een certificeringskader van de Unie voor koolstofverwijderingen*. Overheid.nl. <https://open.overheid.nl/Details/oep-1e062facc2c251b8aaaff77fb0ccc9ea994c4bbf/3>



- EC DG for Climate Action. (2024a, 15/5/2024). *Commission takes stock of how key pieces of climate legislation are operating*. EC DG for Climate Action,. https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/commission-takes-stock-how-key-pieces-climate-legislation-are-operating-2024-05-15_en
- EC DG for Climate Action. (2024b, 18/6/2024). *Training and workshops: EU Carbon Removal Certification - Biochar Methodology*. EC DG for Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/carbon-removals-and-carbon-farming/eu-carbon-removal-certification-biochar-methodology-2024-06-18_en
- Economisch Instituut voor de Bouw. (2023). *Volumebalans Asfaltmengsels*. <https://www.eib.nl/wp-content/uploads/2024/01/Rapportage-volumebalans-asfaltmengsels.pdf>
- ECOS. (2025). *Improving the EU CRCF methodologies: ECOS recommendations*. <https://ecostandard.org/wp-content/uploads/2025/01/ECOS-recommendations-Improving-EU-CRCF-methdologies-January-2025.pdf>
- EU. (2024). *Regulation (EU) 2024/3012 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 establishing a Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products*. <https://eur-lex.europa.eu/TodayOJ/index.html>
- Eurofins-agro. (2025). *Het Mestverslag*. Eurofins-agro. https://www.eurofins-agro.com/uploads/downloads/Bemesting/Leaflet_2P_KengetallenMestverslag-NL-A4-PMS2747-LR.pdf#:~:text=Het%20DS-gehalte%20is%20een%20maat%20voor%20de%20vloeibaarheid,%2880%20g%2Fkg%29%20en%20kippenmeststrooisel%20van%2065%25%20%28650%20g%2Fkg%29
- European Biochar Certificate. (2024). *Guidelines European Biochar Certificate for a sustainable production of biochar*. https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_10_3_track_changes.pdf
- Green Chemistry Campus. (2021). *Terrawatt biochar start pyrolyse pilot op green chemistry campus voor ontwikkeling van CO2-negatief asfalt*. Green Chemistry Campus. <https://www.greenchemistrycampus.com/nieuws/terrawatt-biochar-start-pyrolyse-pilot-op-green-chemistry-campus-voor-ontwikkeling-van-co2-negatief-asfalt>
- Groen Kennisnet. (2025). *Mest als groen goud: welke kansen biedt mono-mestvergisting?* <https://groenkennisnet.nl/item/mest-als-groen-goud-welke-kansen-biedt-mono-mestvergisting>
- Grondstofprijs.com. (2025). *Steenkool prijs*. <https://www.grondstofprijs.com/steenkool-prijs/>
- Günther, P., Garske, B., Heyl, K., & Ehardt, F. (2024). Carbon farming, overestimated negative emissions and the limits to emissions trading in land-use governance: the EU carbon removal certification proposal. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00892-y>
- H. Peter-Schmidt et al. (2022). *Permanence of soil applied biochar*. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/109>
- Huang, L., & Gu, M. (2019). Effects of biochar on container substrate properties and growth of plants—A review. *Horticulturae*, 2019(1), 14.
- IATP. (2024, May 2024). *Unpacking the EU Carbon Removal Certification Framework: Implications for EU Climate and Agriculture Policy*. Institute for Agriculture and Trade Policy.



- IBI, & USBI. (2024). *Global Biochar Market Report 2023*. <https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2024/06/Global-Biochar-Market-Report-2023-%E2%80%93-Public.pdf>
- ICF, Cerulogy, & Fraunhofer ISI. (2024). *Support to the development of methodologies for the certification of industrial carbon removals with permanent storage: Review of carbon removals through biochar*. https://climate.ec.europa.eu/document/download/51aaaada-e29b-4bce-a34e-878d4d264846_en?filename=policy_carbon_expert_review_biochar_en.pdf&prefLang=it
- ICF, Cerulogy, & Fraunhofer ISI. (2025). *Support to the development of methodologies for the certification of industrial carbon removals with permanent storage: Draft technical specifications for the certification of permanent carbon removals through biochar (versio 12 March 2025)*. https://climate.ec.europa.eu/document/download/51aaaada-e29b-4bce-a34e-878d4d264846_en?filename=policy_carbon_expert_review_biochar_en.pdf&prefLang=it
- ILVO Rundveeloket. (2023). *Biochar of actieve kool in het rantsoen*. https://rundveeloket.be/vraag_antwoord/biochar
- International Biochar Initiative. (2025). *Removing Carbon*. <https://biochar-international.org/about-biochar/sustainability-climate-change/>
- IPCC. (2017). *Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development*. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-2/>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023. AR6 Synthesis Report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kenniswijzerbiomassa. (n.d.). *Pyrolyse*. Kenniswijzerbiomassa. <https://kenniswijzerbiomassa.nl/energie-omzetting/pyrolyse/>
- Khater, E.-S., Bahnasawy, A., Hamouda, R., Sabahy, A., Abbas, W., & Morsy, O. M. (2024). Biochar production under different pyrolysis temperatures with different types of agricultural wastes. *Scientific Reports*, 14(1), 2625. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52336-5>
- Kowalska, A., Pawlewicz, A., Dusza, M., Jaskulak, M., & Grobelak, A. (2020). Chapter 23 - Plant-soil interactions in soil organic carbon sequestration as a restoration tool. In M. N. V. Prasad & M. Pietrzykowski (Eds.), *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 663-688). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00023-0>
- Lars Elsgaard et al. (2022). *Knowledge Synthesis on Biochar in Danish Agriculture*. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport208.pdf>
- Lehmann et al. (2021). Biochar in climate change mitigation. *Nature Geoscience*, 2021(14), 883-892. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41561-021-00852-8>
- M. Seijlhouwer. (2021). *Staal uit België straks gemaakt met milieuvriendelijke kolen uit Nederland*. <https://www.change.inc/industrie/staal-uit-belgie-straks-gemaakt-met-milieuvriendelijke-kolen-uit-nederland-36973>
- Meyer-Kohlstock, Daniel & Haupt, Thomas & Heldt, Erik & Heldt, Nils & Kraft, & Eckhard. (2016). Biochar as Additive in Biogas-Production from Bio-Waste. *Energies*.



- https://www.researchgate.net/publication/299490863_Biochar_as_Additive_in_Biogas-Production_from_Bio-Waste
- Ministerie van BZK. (2025). *Factsheet Biochar - als vulstof voor beton*.
- Ministerie van BZK, Ministerie van I&W, Ministerie van LNV, & Ministerie van EZK. (2023). *Nationale Aanpak Biobased Bouwen: Van boerenland tot bouw materiaal*.
- Ministerie van EZK (DG Klimaat en Energie Directie Klimaat). (2019). *Zienswijze Ministerie van Economische Zaken en Klimaat ten aanzien van beleidsadditionaliteit*. Ministerie van EZK (DG Klimaat en Energie Directie Klimaat). <https://nationaleco2markt.nl/wp-content/uploads/2019/08/Zienswijze-Ministerie-EZK-tav-beleidsadditionaliteit.pdf>
- Ministerie van LNV. (2023). *Op ruim 190 locaties monomestvergisters in bedrijf of in aanbouw*. NCM. <https://mestverwaarding.nl/kenniscentrum/3928/op-ruim-190-locaties-monomestvergisters-in-bedrijf-of-in-aanbouw>
- Möllersten, K., & Naqvi, R. (2022). *Technology Readiness Assessment, Costs, and Limitations of five shortlisted NETs • Accelerated mineralisation, Biochar as soil additive, BECCS, DACCS, Wetland restoration*. <https://www.researchgate.net/publication/359427009>
- NEa. (2024). *Tarieven CO2-heffing*. Nederlandse Emissieautoriteit. <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/tarieven-co2-heffing>
- NEGEM. (2024). *Biochar*. <https://www.negemproject.eu/wp-content/uploads/2024/05/Biochar.pdf>
- Nordregio. (2018). *Stockholm Biochar Project*. https://nordregio.org/sustainable_cities/stockholm-biochar-project/
- Oni, B. A., Oziegbe, O., & Olawole, O. O. (2019). Significance of biochar application to the environment and economy. *Annals of Agricultural Sciences*, 2019(2), 222-236. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.12.006>
- OPNA. (2024). *Article 6 approved: a turning point for global carbon markets?* https://opna.earth/blog_cop29-article-6-approved
- PBL. (2018). *Negatieve emissies - Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland*. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2017-negatieve-emissies-technisch-potentieel-realistisch-potentieel-en-kosten-voor-nederland_2606.pdf
- PBL. (2019). *Decarbonisation options for the Dutch steel industry*. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-decarbonisation-options-for-the-dutch-steel-industry_3723.pdf
- PBL. (2020). *MIDDEN: Manufacturing Industry Decarbonisation Data Exchange Network*. PBL. <https://www.pbl.nl/en/middenweb>
- Puro.earth. (2024). *Puro Standard: Biochar Methodology Edition 2022 V3*. <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/Puro.earth%20Biochar%20Methodology.pdf>
- Rijmond.nl. (2021, 17-12-2021). *Na zestig jaar valt het doek voor Aluchemie: ovens bij Botlekfabriek zijn uitgezet*. <https://www.rijmond.nl/nieuws/1443241/na-zestig-jaar-valt-het-doek-voor-aluchemie-ovens-bij-botlekfabriek-zijn-uitgezet>



- Riverse. (2024, 4/12/2024). *Methodologies: Biomass carbon removal and storage (BiCRS)*. Riverse. <https://docs.riverse.io/methodologies/biomass-carbon-removal-and-storage-bicrs>
- RIVM. (2010). *Bio-energiecentrales*. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609021104.pdf>
- Rondón-Quintana, H. A., Reyes-Lizcano, F.A., Chaves-Pabón, S.B.; Bastidas-Martínez, J.G., Zafra-Mejía, C.A.,. (2022). Use of Biochar in Asphalts: Review. *Sustainability*(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14084745>
- Royal Society, & Royal Academy of Engineering. (2018). *Greenhouse gas removal (978-1-78252-349-9)*. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/greenhouse-gas-removal/royal-society-greenhouse-gas-removal-report-2018.pdf>
- RVO. (2025, 13 februari 2025). *Technology Readiness Levels (TRL)*. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/trl>
- Sanei, H., Rudra, A., Przyswitt, Z. M. M., Kousted, S., Sindlev, M. B., Zheng, X., Nielsen, S. B., & Petersen, H. I. (2024). Assessing biochar's permanence: An inertinite benchmark. *International Journal of Coal Geology*, 281, 104409.
- Smith, S. M., Geden, O., Gidden, M. J., Lamb, W. F., Nemet, G. F., Minx, J. C., Buck, H., Burke, J., Cox, E., Edwards, M. R., Fuss, S., Johnstone, I., Müller-Hansen, F., Pongratz, J., Probst, B. S., Roe, S., Schenuit, F., Schulte, I., & Vaughan, N. E. (2024). *The State of Carbon Dioxide Removal 2024 - 2nd Edition*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/F85QJ>
- TATA Steel. (2024). *Tata Steel becomes the first Indian steel maker to introduce biochar to lower carbon emissions*. <https://www.tatasteel.com/newsroom/press-releases/india/2024/tata-steel-becomes-the-first-indian-steel-maker-to-introduce-biochar-to-lower-carbon-emissions/>
- TATA Steel. (2025). *Feiten over staal*. <https://www.tatasteelnederland.com/staal-maken/wist-je-dit-al>
- TechnologyCatalogue.com. (2024). *Torrefaction*. https://www.technologycatalogue.com/product_service/torrefaction
- Tisserant, A., & Cherubini, F. (2019). Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation. *Land*, 2019(12), 179. <https://doi.org/10.3390/land8120179>
- UN. (2015). *Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- UNIDO. (2021). *Market Analysis of Biochar Produced by Small-Scale Pyrolysis Units in Vietnam*. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-06/Pyrolysis_Biochar_Market_Analysis_Report.pdf
- Van Reuler, H., & Baltissen, A. H. M. C. (2016). *Bodemverbeteraars met focus op biochar*. <https://edepot.wur.nl/392486>
- Verdi, L., Dalla Marta, A., Orlandini, S., Maienza, A., Baronti, S., & Vaccari, F. P. (2024). *Evaluation of Biochar Addition to Digestate, Slurry, and Manure for Mitigating Carbon Emissions*. Retrieved 1 from
- Verra. (2023). *VM0044 Methodology for Biochar Utilization in Soil and Non-Soil Applications, Version 1.1*. <https://verra.org/wp-content/uploads/2023/07/VM0044-Methodology-for-Biochar-Utilization-in-Soil-and-Non-Soil-Applications-v1.1.pdf>



- Vlaco. (2024, 18 mei 2024). *Wat is biochar? - FACTSHEET*. Vlaco.
<https://vlaco.be/wat-is-biochar-factsheet>
- Vlees.nl. (2025). *Alles over diervoer bij de productie van vlees*.
<https://www.vlees.nl/themas/diervoer/>
- Weng, Z. H., & Cowie, A. L. (2025). Estimates vary but credible evidence points to gigaton-scale climate change mitigation potential of biochar. *Communications Earth & Environment*, 6(1), 259.
- WKR. (2024). *De lucht klaren? Advies over uitgangspunten en beleid voor sturing op CO2-verwijdering uit de atmosfeer*.
<https://www.wkr.nl/binaries/wetenschappelijkeklimaatraad/documenten/rapporten/2024/07/10/adviesrapport-de-lucht-klaren/WKR-rapport+002+De+lucht+klaren.pdf>
- Woolf, D., Lehmann, J., Ogle, S., Kishimoto-Mo, A. W., McConkey, B., & Baldock, J. (2021). Greenhouse gas inventory model for biochar additions to soil. *Environmental Science & Technology*, 55(21), 14795-14805.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02425>
- Woolf et al. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 2010(56). <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>
- WUR. (2022). *Naar een Circulaire Glastuinbouw*.
<https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/naar-een-circulaire-glastuinbouw.htm>
- Xie, Y., Wang, L., Li, H., Johansson, L., Westholm, L. C., Thorin, E., Yu, Z., Yu, X., & Skreiberg, Ø. (2022). A critical review on production, modification and utilization of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105405>
- Yadav, S. P. S., Bhandari, S., Bhatta, D., Poudel, A., Bhattarai, S., Yadav, P., Ghimire, N., Paudel, P., Paudel, P., Shrestha, J., & Oli, B. (2023). Biochar application: A sustainable approach to improve soil health. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100498>



A Bijlage

Figuur 6 - Feedstock-productieproces combinaties en biochar opbrengst.

Table 1

Feedstock from different sectors and their technique of synthesizing biochar.

S. N.	Feedstock	Process	Temp (°C)	Time (min)	Heating rate (°C/min)	Biochar yield (%)	References
1.	Sugarcane bagasse	Slow pyrolysis (Fixed bed reactor)	530	–	–	26	[49]
2.	Cotton stalks	–	450	–	–	–	[55]
3.	White pine	Slow pyrolysis	500	30	15	30	[53]
4.	Tamarind seed	Pyrolysis	–	–	–	–	[28]
5.	Birch	HTC	175	30	12	70	[53]
6.	Chicken manure & green waste	–	550	–	–	–	[55]
7.	Safflower seeds	Slow pyrolysis	400	30	30–50	30–34	[53]
8.	Pinyon-juniper wood, Aspen, Fir pallets, Lemna, USU algae, Pine brake, Fir fines, Pine shredded	Slow pyrolysis (Rotary drum reactor)	500	–	–	19–51	[28,49]
9.	Barley straw	Slow pyrolysis	400	120.	3	31	[53]
10.	Orchard prune residue	–	500	–	–	–	[55]
11.	Coconut fibre	HTC	220	30	5	76.6	[53]
12.	Walnut seed	Pyrolysis	–	–	–	–	[28]
13.	Fruit cuttings	Slow pyrolysis	600	60	10	37.5	[53]
14.	Wastewater sludge	–	500	–	–	45.9	[38]
15.	Turkey litter	Slow pyrolysis (Rotary drum)	500	–	–	19–51	[28]
16.	Quail litter	–	500	–	–	–	[55]
17.	Spruce	HTC	175	30	12	88	[53]
18.	Palm oil press waste	HTC	–	–	–	–	[28]
19.	Eucalyptus	HTC	250	120	4	40	[55]
20.	Pinewood chips	Slow pyrolysis (Auger reactor)	500	–	–	30	[38]
21.	Corn Stover, Rice husk, Cassava stalk, switchgrass	Slow pyrolysis (Auger reactor)	300–450	2.5–5	5	15–28	[28,49, 53]
22.	Waterweeds	–	500	–	–	58.4	[38]
23.	Peanut shell & wheat straw	Slow pyrolysis	350–500	–	–	15–28	[55]
24.	Cornstalk	HTC	250	240	4	35.48	[53]
25.	Swine solids	Pyrolysis	–	–	–	–	[28]
26.	Cow manure	–	500	–	–	57.2	[38]
27.	Hardwood	HTC	250	240	4	38.1	[53]
28.	Oil stones	Slow pyrolysis (Rotary drum)	500	–	–	26	[49]
29.	Cassava waste	Slow pyrolysis (Auger reactor)	450	–	–	15–28	[28]
30.	Pig manure	–	500	–	–	38.5	[38]

Bron: (Yadav et al., 2023)