

Hennep voor langdurige CO₂-opslag

Methodedocument voor vaststelling van emissiereductie en/of vastlegging van CO₂ eq.

Type project: CO₂-vastlegging middels hennep

Datum: 20 januari 2022
Status: 3^e ronde Commissie van Deskundigen
Auteurs: Marriël Edzes | Green Inclusive
Eric Hees | CLM Onderzoek en Advies
Erik van Well | CLM Onderzoek en Advies
Anton Kool | Kool Planet

Inhoudsopgave

1. Inleiding	3
2. Beschrijving projecttype	5
2.1 CO ₂ -reductie en vastlegging	5
2.2 Verschil kort en lang cyclische producten	5
2.3 Projectactiviteiten	6
3. Bepaling van additionaliteit van de emissiereductie	7
4. Bepaling projectgrens	7
4.1 Processtappen	7
4.1.1..... Verandering grondgebruik	8
4.2 Projectgrens.....	9
4.3 De functionele eenheid.....	9
4.4 Bepaling effect henneproducten	11
4.5 Opslag potentieel	11
5. Vaststelling baseline.....	12
5.1 Productie van conventioneel isolatiemateriaal	12
5.2 Productie van beton	13
6. Bepaling projectemissies van henneproducten	15
6.1 Isolatiemateriaal	16
6.2 Hempcrete	16
7. Bepaling emissiereductie.....	17
7.1 Emissiereductieformule	17
Emissiereductieformule	17
Formule footprint hennepisolatie.....	18
Formule footprint hempcrete	18
Formule hennepsteelt (optie 1).....	18
Formule hennepsteelt (optie 2).....	19
8. Plan voor monitoring van projectvoortgang.....	20
9. Uitgifte van certificaten, hertoets baseline en additionaliteit	20
10. Risico's.....	21
11. Literatuurlijst.....	22
Bijlage 1. Eigenschappen meest gebruikte isolatiematerialen Nederland	25
Bijlage 2: Methodebeschrijving.....	26
Primaire en secundaire data.....	26
Achtergronddata	27
Bijlage 3: Teeltproces	28
Bijlage 4: Berekening teeltproces optie 1	31
Bijlage 5: Productieproces grondstoffen en eindproducten	34

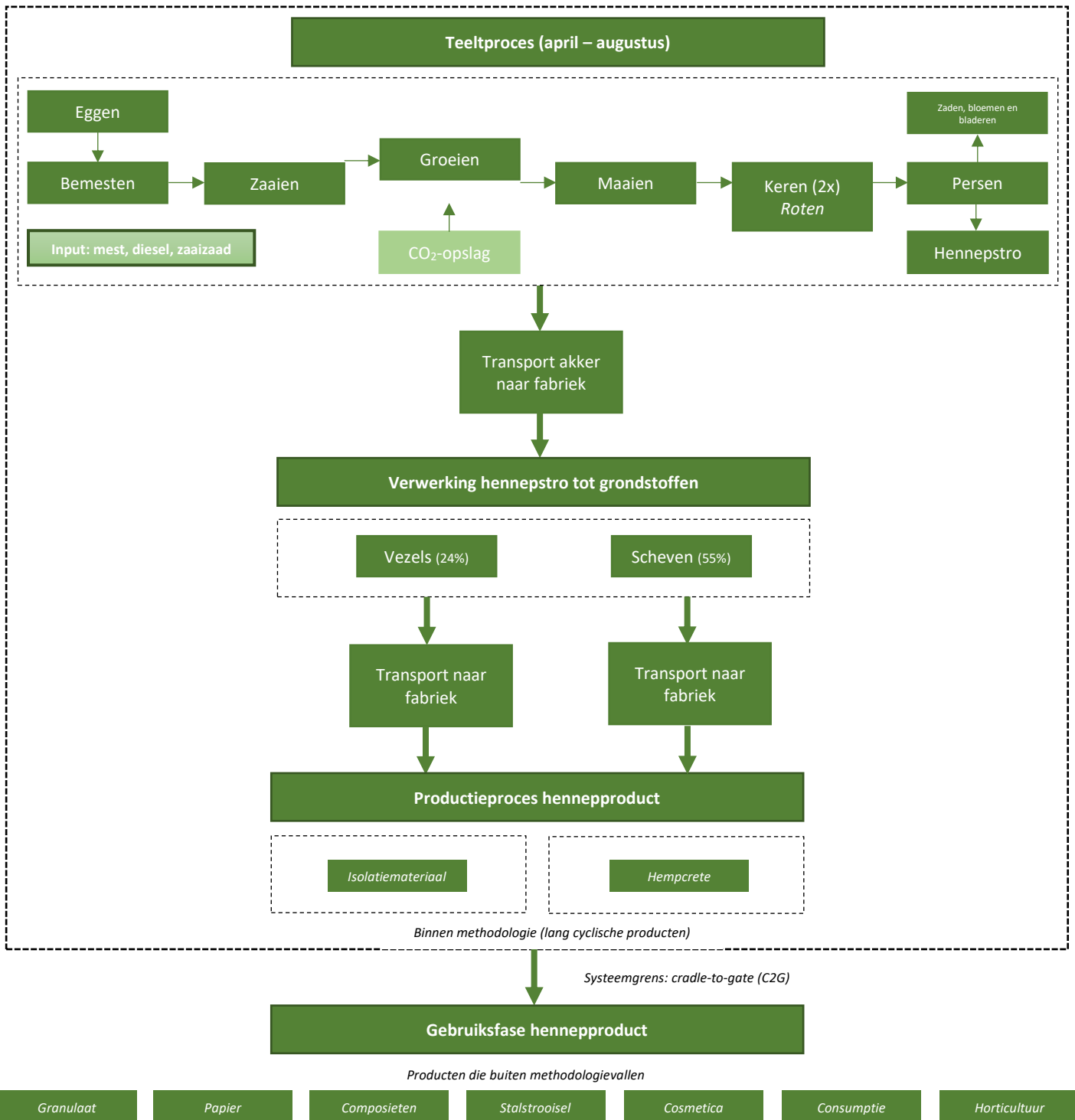
Productieproces grondstoffen 34
Productieproces eindproducten..... 34
 Hennepisolatie 34
 Hempcrete 34

1. Inleiding

Vezelhennep (hierna te noemen hennep) is een gewas dat als natuurlijke grondstof kan dienen voor meer dan vijftigduizend verschillende producttoepassingen. De adoptie van henneproducten wordt echter geremd doordat deze een hogere kostprijs kennen dan andere synthetische grondstoffen (Ingrao et al., 2015). Zo hebben isolatiematerialen van hennep een 2 tot 4 maal hogere prijs dan de traditioneel gebruikte materialen, zoals steen- en minerale wol (Carus et al., 2013). Hierdoor is de toepassing van hennep op dit moment, gezien het kostenverschil met conventionele materialen, afhankelijk van afnemers die zich richten op duurzaamheid (Ingrao et al., 2015). De daadwerkelijke waarde van hennep is, non-monetair gezien, op het gebied van duurzaamheid echter aanzienlijk groter (Cherrett et al., 2005). Het gewas kan worden geteeld zonder gewasbeschermingsmiddelen en voegt nutriënten toe aan de bodem (Nova Institute, 2019). Daarnaast kan hennep in verschillende eindproducten worden toegepast, zoals bouwmaterialen, waarbij langdurig vastlegging van CO₂ plaatsvindt (CLM, 2020).

Hennep is een eenjarig gewas dat voornamelijk bovengronds CO₂ opslaat. Na de oogst van het gewas blijven de wortels en een klein deel van de stam achter op het land, deze worden ondergewerkt waardoor het weer voeding toevoegt aan de bodem (Nova Institute, 2019). Door zijn houtige structuur kan hennep grote hoeveelheden CO₂ opslaan gedurende het groeiseizoen (april – augustus). Per hectare wordt er gemiddeld 7,5 ton hennep geoogst (CBS, 2021). De plant neemt gedurende het groeiseizoen per kilogram groei 0,38 kg C op. Dat komt overeen met 1,38 kg CO₂ (Nova Institute, 2019; GoodEarth z.d.).

In figuur 1 (volgende pagina) is schematisch weergegeven hoe het proces van de teelt, verwerking en productie van hennep(producten) er uit ziet en ook welke aspecten niet worden meegenomen in de berekening. In paragraaf 4 (bepaling projectgrens) wordt hier een toelichting op gegeven.



Figuur 1: Schematische weergave teelt- en productieproces en systeemgrens

2. Beschrijving projecttype

Het doel van een project is om hennep in te zetten voor CO₂-opslag en CO₂-reductie. Door de hoge mate van biogene koolstofopslag draagt het bij aan het onttrekken van CO₂ aan de atmosfeer. Om dit tot stand te brengen zal er hennep moeten worden geteeld die vervolgens wordt verwerkt in producten die langdurig CO₂ opslaan.

2.1 CO₂-reductie en vastlegging

Hennep kan op drie manieren aan CO₂-reductie en -vastlegging bijdragen: 1) het legt CO₂ vast in de plant (kan tot 4 meter hoog worden) en in wortels in de bodem, 2) het kan worden verwerkt in producten waar de CO₂ langdurig in opgeslagen blijft, denk hierbij aan isolatiematerialen en hempcrete en 3) het vermijdt CO₂-emissies van materialen die het vervangt en die anders met fossiele grondstoffen worden gemaakt (bouwmaterialen, plastics).

Het doel van dit methodedocument is om een goed onderbouwde berekeningswijze van deze CO₂-effecten vast te leggen die de grondslag vormt bij het toekennen van SNK-certificaten. Bij verkoop van deze certificaten ontstaat er een extra inkomstenbron waarmee enerzijds telers een betere prijs kunnen krijgen voor hun gewas, en anderzijds ontstaat de mogelijkheid om de verkoopprijs van henneproducten te laten dalen. Dit maakt dat deze producten ook op het gebied van prijs beter kunnen concurreren in de markt, zowel als gewas door verbeterde saldi, als verwerkt in een product omdat de vraag ernaar zal stijgen. Doordat de vraag naar deze producten toeneemt, zal er meer CO₂ kunnen worden opgeslagen en vermeden. Daarmee wordt er direct CO₂ onttrokken aan de atmosfeer waardoor een bijdrage wordt geleverd aan de doelstellingen uit het klimaatakkoord. Hiermee zullen producten van hennep op zowel prijs, kwaliteit als duurzaamheid een beter alternatief vormen in de markt.

De mate waarin de CO₂ uit hennep ook daadwerkelijk blijft opgeslagen in de producten en CO₂-emissies worden voorkomen, is afhankelijk van de manier waarop de hennep wordt verwerkt in producten en welk type product het is. Hier wordt in paragraaf 2.2 verder op ingegaan.

2.2 Verschil kort en lang cyclische producten

Certificaten worden door de Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK) uitsluitend verstrekt aan projecten waarbij henneproducten langdurig CO₂ opslaan (lang cyclische producten), kort cyclische producten vallen hier niet onder. Producten die langdurig CO₂ opslaan moeten daarnaast worden ingezet als vervangingsproduct voor een conventioneel product waarmee extra CO₂ wordt gereduceerd.

- Kort cyclische producten (<50 jaar): deze producten kennen, binnen de context van de klimaatproblematiek, een korte keten. De producten kennen ofwel een korte levensduur, of de CO₂ die is opgeslagen in deze producten komt weer vrij zodra ze worden gebruikt. Deze producten zijn bijvoorbeeld:

- Zaagsel: van de hennepscheven wordt zaagsel gemaakt die wordt gebruikt in stallen en dierenhokken.
- Horticultuur: zaaibed voor in de horticultuur.
- Consumptie: hennepzaden en olie worden gebruikt voor menselijke consumptie.
- Papier: vezels die worden toegevoegd aan papier.
- Composieten: deze worden verwerkt in deurpanelen in de auto-industrie.
- Plastic producten: mix hennepgranulaat met re-granulaat (gerecycled plastic). De mix die wordt toegepast zal per product verschillen en is afhankelijk van de producent.
- Lang cyclische producten (> 50 jaar): deze producten kennen een lange keten. De CO₂ die erin wordt opgeslagen blijft behouden voor een lange periode.
 - Isolatiemateriaal: isolatiematten voor vloer, wand en dakisolatie.
 - Hempcrete: voor de opbouw van muren en tussenwanden. Hempcrete (hennepscheven, bindermix (kalk/cement), water) in verhouding 1: 1-2,2 is een bouwelement. Hierbij wordt soms gebruik gemaakt van ondersteuningsmateriaal om hier wel een dragend bouwelement van te maken, dit zijn houten/metalen/betonnen structurelementen. Alleen de opgenomen CO₂ tijdens de groei wordt meegenomen in de berekening. Weliswaar wordt er ook CO₂ opgenomen tijdens het uitharden van het hempcrete, door reactie van calciumhydroxide met CO₂ uit de lucht (zie o.a. Arrigoni et al., 2017) maar deze CO₂ werd eerder tijdens de productie van calciumhydroxide ook uitgestoten, daarom blijft netto alleen de opgenomen CO₂ tijdens de groei van de hennep over.

2.3 Projectactiviteiten

Binnen de projectactiviteiten valt in de eerste fase het telen van de hennep waardoor hennepstro tot stand komt. In fase 2 zal het hennepstro worden verwerkt tot verschillende grondstoffen, vezels en scheven, die de input zullen vormen voor het daaropvolgende productieproces van henneproducten in fase 3.

Per saldo is er sprake van een negatieve CO₂-waarde, dat wil zeggen onttrekking aan de atmosfeer, indien de opname van CO₂ door de plant hoger is dan de CO₂-uitstoot in de keten. De CO₂-waarde die wordt opgenomen door de plant is in wetenschappelijk onderzoek vastgesteld (Zampori et al., 2013; Sinka et al., 2018). Bij het telen, verwerken, vervoeren en tijdens het productieproces komt CO₂ vrij, deze uitstoot is afhankelijk van de bemestingskeuze, het type brandstof voor trekkers, machines en vrachtwagens, de mate waarin zelfopgewekte groene stroom wordt gebruikt. Uit onderzoek is naar voren gekomen dat met name gedurende het teeltproces het grootste deel van de uitstoot te wijten is aan bemesting en brandstof (Scrucca et al., 2020). Effecten mogen aan een project worden toegerekend wanneer de projecteigenaar invloed heeft op de processtappen, dit betekent dat binnen het project invloed kan worden uitgeoefend op de keuzes zoals die in deze alinea zijn beschreven. De effecten dienen dus een verdienste van het project te zijn.

3. Bepaling van additionaliteit van de emissiereductie

Het gebruik van henneproducten is op dit moment geen onderdeel van het vigerende klimaatbeleid in Nederland. Toepassing van deze producten is niet verplicht op basis van regelgeving, noch is het onderdeel van de afspraken die vallen onder het klimaatakkoord, of wordt het gestimuleerd middels subsidies. Vanuit het huidige klimaatbeleid is het dus additioneel. Daarnaast kan het ook als additioneel worden aangemerkt omdat het geen gangbare praktijk is. Gangbaar zijn producten gemaakt van hennep niet. De toepassing ervan is minder dan 20%¹ van de relevante situaties in Nederland (de door de SNK gehanteerde drempelwaarde hiervoor).

Wordt de toepassing van hennep bekeken vanuit een agrarisch perspectief, dan ontstaat het volgende beeld. In de drie noordelijke provincies, waar het overgrote gedeelte van de hennep wordt geteeld en verwerkt in Nederland, is 1,82 miljoen hectare landbouwgrond beschikbaar. In afgelopen drie jaar (2017, 2018 & 2019) is daarvan gemiddeld 2091 hectare gebruikt voor de teelt van hennep, dit komt neer op slechts 0,34% van de totale oppervlakte bouwland (of 0,10% van het totale Nederlandse landbouwareaal).

4. Bepaling projectgrens

Deze methodologie richt zich op 1) het telen van hennep en 2) het productieproces van producten die langdurig CO₂ vastleggen en 3) het vermijden van CO₂-emissie door vervanging van conventionele materialen. Hiermee wordt de productie van conventionele producten vervangen, waardoor de uitstoot van CO₂ wordt gereduceerd en andere schadelijke effecten van deze producten wordt voorkomen.

4.1 Processtappen

In figuur 1 (pagina 3) is schematisch weergegeven hoe het proces van de teelt, verwerking en productie van hennep(producten) er uit ziet en welke aspecten wel/niet worden meegenomen in de berekening. Zoals is weergegeven in figuur 1 ligt de projectgrens bij cradle-to-gate (C2G). Dus vanaf het telen/winnen van grondstoffen tot en met de productie van eindproducten uit deze grondstoffen. De verschillende processtappen zijn als volgt:

1. Teeltproces:

In het teeltproces komen een aantal stappen aan bod die op het land worden uitgevoerd. In bijlage 1 zijn de berekeningsmethoden en benodigde variabelen beschreven.

- Buiten de systeemgrens:

¹ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/02/marktinformatie-isolatiematerialen-isolatiegas-en-hr-ketels-2010-2019.pdf>. 49,2 mln. m²: 27,2 kunststof & 22 mln. m² minerale en organische wol: Er wordt onderscheid gemaakt tussen de minerale en organische materialen (glaswol, steenwol, houtwol, cellulose-isolatie en vlaswol), de kunststof (of synthetische) isolatiematerialen (EPS, XPS, PUR/PIR en PF).

- Korte vezels, bladeren, zaden en droge stof: 16% van de plant kan niet worden verwerkt tot producten voor langdurige opslag. In figuur 1 is te zien dat het hennepstro en de zaden, bladeren en bloemen apart kunnen worden geoogst (als deze worden gebruikt). De zaden, bladeren en bloemen worden verwerkt in kortcyclische producten zoals cosmetica en voedingsproducten. Daarom vallen deze buiten de systeemgrens van de methodologie. Daarnaast zijn er korte vezels die niet kunnen worden toegepast in producten waarin langdurige opslag mogelijk is. Omwille van een conservatief uitgangspunt, zal de CO₂-uitstoot die gemoeid is met productie van deze delen van de plant worden toegewezen aan het hennepstro (zie volgende stap in de keten).
- Wortels en een deel van de bast: Na het maaien van de hennep blijven gewasresten achter (Grow2Build., 2015; Rana et al., 2014), dit is ongeveer 5% van de gehele plant. Deze resten zullen worden ondergewerkt in de grond waar het als koolstof wordt opgenomen door de bodem. De mate van CO₂-opslag kan worden gemeten door het vaststellen van het organische stofgehalte in de bodem. Dit sluit aan bij de Verra methodologie voor het management van agrarisch grondgebied (VM0042)². In deze methodologie wordt er voor een conservatieve benadering gekozen en wordt dit niet meegerekend omdat: 1) bij andere gewassen ook gewasresten achterblijven en in meer of mindere mate hetzelfde effect teweegbrengen. 2) Het eisen stelt aan het landgebruik voor een periode van tenminste 10 jaar om deze opslag te waarborgen (zie SNK-methodedocument over koolstofvastlegging in de bodem).

2. Verwerking hennepstro tot grondstoffen

Bij de verwerking van hennepstro tot grondstoffen kunnen er drie hoofdstromen worden onderscheiden. De vezels, scheven en de top (met zaden, bloemen en bladeren). Op dit moment is het niet toegestaan om in Nederland de top los te oogsten, in andere Europese landen mag dit wel.

3. Verwerking eindproducten

De vezels (24% van de plant) en de scheven (55% van de plant) kunnen worden verwerkt in eindproducten zoals hennepplastic, isolatiemateriaal en hempcrete.

4.1.1. *Verandering grondgebruik*

Uit onderzoek van CLM (2020) is gebleken dat de emissie van de teelt van hennep in vergelijking met andere gewassen lager ligt, bij aardappelteelt bijvoorbeeld driemaal lager. Echter wordt de verandering in grondgebruik, bijvoorbeeld het positieve verschil van hennep teelt t.o.v. aardappelteelt, niet meegenomen in de baselinebepaling van dit methodedocument. Daarmee wordt een conservatief uitgangspunt genomen en wordt het projectvoorstel niet onnodig complex gemaakt.

² <https://verra.org/methodology/vm0042-methodology-for-improved-agricultural-land-management-v1-0/>
CO₂ -vastlegging hennep

4.2 Projectgrens

Zoals eerder in dit hoofdstuk is beschreven ligt de projectgrens bij cradle-to-gate. De gebruiks- en end-of-life fase die daarna komen zijn grotendeels gelijkwaardig in de vergelijking tussen het henneproduct en de baseline voor het conventionele product dat wordt vervangen en zijn dus tegen elkaar weg te strepen. Daarnaast kent de end-of-life fase onzekerheid op het gebied van afvalverbranding en de mate waarin dit fossiele energieproductie vervangt. Ook moet bij het correct ex post beoordelen van een project erg lang gewacht worden. Om hennep- en conventionele producten goed te kunnen vergelijken moeten producten worden vergeleken op basis van vergelijkbare functionaliteit (Nova Institute, 2011). Daarmee kunnen producten met elkaar worden vergeleken die ook een vergelijkbare levensduur hebben van tenminste 50 jaar.

In het projectplan kan worden gekozen voor twee opties (zie ook bijlage 1):

- Optie 1: een uitgangswaarde voor het teeltproces die gebaseerd is op default waarden uit openbare bronnen, aangevuld met praktijkdata uit eigen berekeningen voor het productieproces van grondstoffen en eindproducten.
- Optie 2: specifieke data van het eigen project (primaire data), eventueel aangevuld met default waarden (secundaire data) voor specifieke parameters die niet bekend zijn vanuit het eigen project.

Per project is het dus voor het teeltproces mogelijk om onder de juiste voorwaarden af te wijken van de standaardwaarde en in plaats daarvan context specifieke CO₂-footprints toe te voegen om hiermee een preciezere berekening te maken, in dat geval wordt er dus gekozen voor optie 2. Deze cijfers zullen moeten worden berekend en gecontroleerd door een onafhankelijke organisatie. In hoofdstuk 7 en 8 wordt hier verder op in gegaan.

4.3 De functionele eenheid

Per project en toepassing van hennep dient een functionele eenheid te worden gedefinieerd. De functionele eenheid is de eenheid op basis waarvan de vergelijking tussen het conventionele- en het henneproduct kan worden gemaakt. De functionele eenheid moet gelijk zijn, om op basis daarvan op de juiste wijze te kunnen vergelijken. In de functionele eenheid worden de elementen van de functie van het product gedefinieerd:

- Basiseenheid: volume, inhoud, oppervlakte of massa.
- Tijdsperiode: over welke tijdsperiode wordt de vergelijking gemaakt?
- Overige eigenschappen zoals isolatiewaarde of sterkte-eigenschappen/ toepassing.

Hieronder wordt beschreven hoe de functionele eenheid beschreven dient te worden per product:

Isolatiemateriaal:

Voor isolatiemateriaal zijn de volgende eenheden gedefinieerd:

- Een oppervlakte uitgedrukt in m²
- Een levensduurperiode (minimaal 50 jaar)
- Een isolatiewaarde uitgedrukt in Rc-waarde.

De uitgangspositie in het methodedocument is 1 m², die 50 jaar is geïsoleerd met Rc-waarde 4,5 (dit is de uitgangswaarde van het Nibe in de milieuclassificatie). Het is mogelijk om binnen een project een andere functionele eenheid te gebruiken, mits duidelijk onderbouwd. In paragraaf 6.1 wordt hier verder op ingegaan.

Hempcrete:

Voor hempcrete zijn de volgende eenheden gedefinieerd:

- Een oppervlakte uitgedrukt in m²
- Een levensduurperiode (minimaal 50 jaar)
- Een isolatiewaarde uitgedrukt in Rc-waarde.

We gaan in principe uit van 1 m², die 50 jaar geïsoleerd is met Rc-waarde 4,5. In de praktijk betekent dit dat bij het gebruik van hempcrete de baseline uit beton en een isolatiemateriaal bestaat (om dezelfde Rc-waarde te behalen). Het is mogelijk om binnen een project een andere functionele eenheid te gebruiken, mits duidelijk onderbouwd. In paragraaf 6.2 wordt hier verder op in gegaan.

4.4 Bepaling effect henneproducten

Voor de bepaling van het CO₂-effect van henneproducten moeten de volgende onderdelen in beschouwing worden genomen:

1. Biogene koolstof opslag hennep:
Zoals beschreven eerder in dit hoofdstuk kan 79% van de plant worden verwerkt in producten die langdurig CO₂ opslaan.
2. Het teeltproces van hennep in Nederland: zaaizaad, brandstofverbruik, type bemesting en landbewerkingen.
3. De productiefaciliteit waar de hennep wordt verwerkt tot verschillende grondstoffen.
4. De productiefaciliteit waar de hennep eindproducten worden geproduceerd.

Vezels:

- Isolatiemateriaal

Scheven:

- Hempcrete
5. Transportbewegingen tussen verschillende stappen in de keten.
 6. Vergelijking met het conventionele referentieproduct: om de vergelijking met het referentieproduct te kunnen maken, moeten de onderdelen 1 t/m 5 ook voor die conventionele referentieproducten worden bepaald (beton en conventionele isolatiematerialen). Hierbij moet worden uitgegaan van een referentieproduct met dezelfde functie en levensduur, dus op basis van dezelfde functionele eenheid.

De netto-emissiereductie van henneproducten ten opzichte van de conventionele referentieproducten moet worden bepaald middels een CO₂-footprint analyse van stappen 1 t/m 6.

4.5 Opslag potentieel

De producten die onder deze methodologie vallen moeten een lange levenscyclus hebben. Het betreft vooralsnog twee bouwmaterialen, waarbij isolatiemateriaal een levensduur van 50 jaar

kent³ (Pless, 2001; Murphy & Norton, 2008) en bij betonvervangers is dat 100 jaar (Boutin et al., 2006). Voor beide producten gaan we in dit methodedocument uit van een opslagpotentieel van 50 jaar.

5. Vaststelling baseline

In de vorige paragraaf is beschreven welke aspecten moeten worden meegenomen bij de bepaling van de baseline (grondstofextractie, verwerkingsproces tot halffabricaat, verwerking tot eindproduct, transportstappen tussen fases). Voor elk gekozen product moet de berekening voor de aanvraag van het certificaat met deze gegevens worden onderbouwd. De baseline situatie is dat de henneproducten niet op de markt komen, hierbij wordt uitgegaan van het gebruik van nu gangbare conventionele producten in de markt.

De baseline emissies zijn afhankelijk van het product:

5.1 Productie van conventioneel isolatiemateriaal

Voor het vaststellen van de baseline voor de productie van isolatiemateriaal moet allereerst worden vastgesteld welke producten nu gangbaar zijn in de markt waarin het isolatiemateriaal uit hennep wordt toegepast. Hoewel nooit met zekerheid vastgesteld kan worden welk product specifiek als baseline moet worden gebruikt, is wel met grote mate van zekerheid te zeggen welke de gemiddelde mix van isolatiematerialen in Nederland is, die als baseline kan dienen.

Uit RIVM (2016) valt op te maken dat de markt voor isolatiematerialen in Nederland wordt gedomineerd door: glaswol, steenwol en EPS (ieder 15-20% marktaandeel), gevolgd door cellenbeton, PIR, PUR en Resolschuim (ieder 5-10%).

Voor het vaststellen van de baseline moeten deze materialen en het henneproduct op een gelijkwaardige basis worden vergeleken (zie tabel 2). In dit geval doen we dit op basis van 1 m² met een Rc-waarde van 4,5. De Rc-waarde is een maat voor de thermische isolatie (warmteweerstand) bij een bepaalde dikte in een materiaallaag. De Rc-waarde wordt gemeten in vierkante meters Kelvin per Watt (m² K/ W). Naast de Rc-waarde die we hier kiezen (waarde 4,5), weten we de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ) en de dichtheid (ρ) van een isolatiemateriaal. Met dit alles in gedachten kan de klimaatimpact als volgt worden berekend (gebaseerd op bijlage 1):

$$I_{\text{kltot}} = I_{\text{klspec}} \cdot \rho \cdot \lambda \cdot R$$

Waarbij:

I_{kltot} : de totale klimaatimpact baseline isolatiemateriaal in kg CO₂ eq./m²

I_{klspec} : de specifieke klimaatimpact in kg CO₂/kg product

³ Vanuit de literatuur wordt in twee artikelen een levensduur van minimaal 50 jaar gegeven (Pless, 2001; Murphy & Norton, 2008). Om de kwaliteit van het henneproduct te onderschrijven moet worden aangegeven of er een certificaat aanwezig is. Vanuit een producent van isolatiemateriaal, Hempflax, wordt een levensduur van 70 jaar aangegeven. Dat is de gemiddelde levensduur van een huis.

ρ : de dichtheid van het materiaal in kg/m^3

λ : de warmtegeleidingscoëfficiënt in W/mK

R: de warmteweerstand in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Product	R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)	λ (W/mK)	ρ (kg/m^3)	I_{kspec} ($\text{kg CO}_2/\text{kg}$) ⁴	I_{kitot} ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$)	Markt- aandeel ⁵	Gewogen uitstoot ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$)
Steenwol	4,5	0,0378	48	1,42	11,6	22%	2,6
Glaswol	4,5	0,034	25	1,76	6,7	22%	1,5
EPS	4,5	0,04	15	4,64	12,5	22%	2,8
PIR	4,5	0,023	33	4,58	15,6	11%	1,7
PUR	4,5	0,025	33	4,58	17,0	11%	1,9
Resolschuim (PF)	4,5	0,02	41	4,78	17,6	11%	1,9
Gemiddelde uitstoot							12,3

Tabel 2: Baseline conventioneel isolatiemateriaal

De klimaatimpact van de gemiddelde uitstoot van $12,3 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}/\text{m}^2$ product (gebaseerd op het marktaandeel van de materialen) moet gebruikt worden als referentiewaarde voor de baseline.

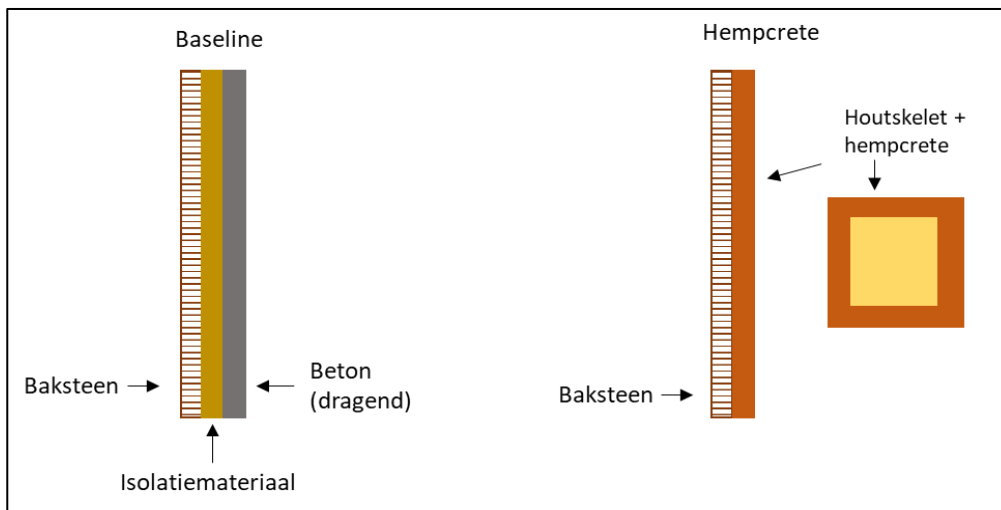
5.2 Productie van beton

Zoals in paragraaf 2.2 is omschreven is hennepcrete (hennepscheven, bindermix (kalk/cement), water) in verhouding 1: 1-2,2 een niet-dragend bouwelement. Hierbij wordt soms gebruik gemaakt van ondersteuningsmateriaal om hier wel een dragend bouwelement van te maken. Hennepcrete vervangt niet 1-op-1 beton in alle toepassingen, als baseline wordt gekozen voor een vergelijking op basis van een gelijk oppervlak (in m^2) aan niet-dragende en dragende muur. Dit aangezien het opbouwen van een huis/muur uit hennepcrete een ander constructieproces behelst dan het opbouwen daarvan uit prefab betonelementen.

Bij het berekenen van de projectemissies (hoofdstuk 6) moet in de vergelijking met hennepcrete (van zichzelf geen dragend materiaal) de houtconstructie (of andere constructie) worden meegenomen, zie figuur 2. Eenzelfde hoeveelheid baksteen maakt deel uit van zowel de baseline als het project, dus kan de impact van dit materiaal tegen elkaar worden weggestreept.

⁴ Klimaatimpact is berekend als een gemiddelde vanuit verschillende bronnen die representatief zijn voor verschillende mondiale regio's zoals Europa, Noord-Amerika en de rest van de wereld, uit de Ecoinvent database. Onderbouwing hiervan is te vinden in bijlage 2.

⁵ Cellenbeton is met 10% marktaandeel buiten deze berekening gehouden. Dit omdat hennepisolatie is geen een-op-een vervanging is van het product. Daarnaast heeft cellenbeton een tweeledige toepassing in dat het zowel als wand, als licht isolatiemateriaal wordt gebruikt. Het marktaandeel is opnieuw berekend na het weglaten van cellenbeton.



Figuur 2: vergelijking toepassing beton en hempcrete

Voor het vaststellen van de baseline moeten deze materialen en het henneproduct op een gelijkwaardige basis worden vergeleken (zie tabel 3). In dit geval doen we dit op basis van 1 m² muur. Afhankelijk van het product gaan we uit van een dikte van de muur en bijbehorend gewicht per m². De klimaatimpact van het product is gedefinieerd per m³ product. In combinatie met de dichtheid kan dan de totale klimaatimpact per m² als volgt worden berekend (gebaseerd op bijlage 2):

$$I_{\text{kl,tot}} = I_{\text{kl,spec}} \cdot M / \rho$$

Waarbij:

$I_{\text{kl,tot}}$: de totale klimaatimpact beton in kg CO₂/m²

$I_{\text{kl,spec}}$: de specifieke klimaatimpact in kg CO₂/m³ product

M: de massa per 1 m² muur bij een gegeven dikte in kg/m²

ρ : de dichtheid van het materiaal in kg /m³

Als baseline/vervangend product staan er in de Nationale Milieudatabase en Ecoinvent een aantal opties voor dragende en niet-dragende wanden. De Nationale Milieudatabase hanteert als functionele eenheid 1 m² zodat bij gebruik van deze data bovenstaande berekening overbodig is. In tabel 3 is de klimaatimpact van twee verschillende referentie betonwanden gegeven, dragend en niet-dragend.

Product	ρ (kg/m ³)	$I_{\text{kl,spec}}$ (kg CO ₂ /m ³)	Massa M (kg)	Dikte (cm)	Klimaatimpact $I_{\text{kl,tot}}$ (kg CO ₂ /m ²)	Volledige naam volgens Nationale Milieudatabase
Gestort beton, C20/25, incl.wapening *	-	-	573,5	Geen data	52,3	Massieve wanden dragend, Beton, in het werk gestort, C20/25; incl.wapening
Cellenbeton (G5/800) – niet dragend	2400	244,5	105	15	37,5	autoclaved aerated concrete block production, RoW

Tabel 3: baseline beton

*De klimaatimpact per 1 m² wand voor ter plekke gestorte wanden (bron: Nationale Milieudatabase)

** Klimaatimpact is berekend als een gemiddelde vanuit verschillende bronnen die representatief zijn voor verschillende mondiale regio's zoals Europa, Noord-Amerika en de rest van de wereld, uit de Ecoinvent database.

In de berekening van de baseline moet worden uitgegaan van de hoeveelheid niet-dragende en dragende muren die worden vervangen door hempcrete. Hiermee wordt bedoeld dat aannemelijk moet worden gemaakt welk type (niet-dragend en/of dragend) en in welke hoeveelheid wordt vervangen door hempcrete.

- Er wordt in de toepassing van een dragende muur uitgegaan van een waarde van 52,3 kg CO₂/m², samen met een isolatiemateriaal (met Rc-waarde 4,5) en baksteen, zie figuur 2. Dit scenario wordt als gebruikelijk beschouwd voor woningen in Nederland. Zoals eerder in de paragraaf vermeld komen bakstenen in beide situaties voor, daarom kunnen deze tegen elkaar worden weggestreept.
- Er wordt in de toepassing van een niet-dragende muur uitgegaan van een waarde van 37,5 kg CO₂/m² samen met een isolatiemateriaal (met Rc-waarde 4,5).

De levensduur van hempcrete wordt gegeven als zijnde +/- 100 jaar⁶. Er is daarom aangenomen dat de levensduur van het baseline scenario (producten die worden vervangen) en het project (hempcrete) vergelijkbaar is⁷.

$$I_{\text{ktot}} = I_{\text{klbet}} + I_{\text{kliso}}$$

Waarbij:

I_{ktot} : de totale klimaatimpact baseline beton in kg CO₂/m²

I_{klbet} : de klimaatimpact van beton in kg CO₂/m²

I_{kliso} : de klimaatimpact van isolatiemateriaal in kg CO₂/m²

Dragende muur: 52,3 kg CO₂ eq. + 12,3 kg CO₂ eq. = 64,6 kg CO₂ eq./m² muur

Niet-dragende muur: 37,5 kg CO₂ eq. + 12,3 kg CO₂ eq. = 49,8 kg CO₂ eq./m² muur

De klimaatimpact van de bovenstaande berekening moet dus afhankelijk van de toepassing die wordt vervangen (dragend/ niet-dragend) worden gebruikt als referentiewaarde voor de baseline.

6. Bepaling projectemissies van henneproducten

Om de emissiereductie van het gebruik van henneproducten te bepalen moet, naast de emissie van conventionele producten, de emissie van producten gemaakt van hennep worden bepaald. Daarbij spelen meerdere factoren een rol. In de eerste plaats wordt er CO₂ opgeslagen (effect 1). Daarnaast zijn er broeikasgasemissies die verband houden met de teelt van het gewas, de verwerking tot grondstof, halffabricaat, eindproduct en de transportbewegingen tussen de processtappen (effect 2 t/m 6), zoals die in paragraaf 4.4 zijn weergegeven.

⁶ <https://www.hennepinfo.nl/product-categorie/eco-bouw-met-hennep/kalkhennep-beton/>, <https://bpcdbo.files.wordpress.com/2011/06/nibebasiswerkdeel1.pdf>

⁷ <https://www.nibe.info/nl/members#product-6093-268-27>

Tijdens de teelt van de hennep komen broeikasgassen vrij door het gebruik van landbouwvoertuigen, de bemesting van het land, het zaaizaad dat wordt geïmporteerd en het transport dat ermee gemoeid is (zie bijlage 3, Tabel B3.1 voor de parameters). Tijdens de productie van de grondstoffen en het productieproces van de eindproducten komen ook emissies vrij (zie bijlage 3 en 5, tabellen B3.1, B5,1 t/m B5.3 voor de parameters). Alle broeikasgasemissies van deze processtappen worden volgens een LCA-benadering in kaart gebracht. Als vervanging van een conventioneel product niet een-op-een mogelijk is, dienen extra inputs meegenomen te worden in de berekening van de projectemissies.

Voor isolatiemateriaal en hempcrete moeten de volgende uitgangspunten worden meegenomen in het projectvoorstel:

6.1 Isolatiemateriaal

Uit de baseline bepaling voor conventioneel isolatiemateriaal is gebleken dat de gemiddelde uitstoot 12,3 kg CO₂ is bij een Rc-waarde van 4,5. De CO₂-footprint voor henneproducten wordt vervolgens berekend aan de hand van een LCA, zoals nader uitgewerkt in bijlage 3 en 5. Het verschil tussen de beide waarden is vervolgens de vermeden uitstoot, danwel de vastgelegde CO₂-eq.

Voorbeeld: in het projectplan wordt beschreven dat hennepisolatie wordt gebruikt. Voor de baseline wordt de waarde uit de tabel 2 gebruikt (12,3 kg CO₂ eq./ m² bij een Rc-waarde van 4,5). Voor de bepaling van de emissiereductie van het henneproduct moet een berekening worden gemaakt volgens de parameters, formules en bronnen uit het methodedocument. Stel dat de emissie voor hennepisolatie op 7,5 kg CO₂ eq./ m² zou uitkomen, dan zou dit betekenen dat bij het gebruik van hennepisolatie $12,3 - 7,5 = 4,8$ kg CO₂ eq./ m² wordt vermeden (bij een Rc-waarde van 4,5).

6.2 Hempcrete

Zoals in paragraaf 2.2 is omschreven is hempcrete een bouwelement die zowel niet-dragend als dragend (met ondersteuningsmateriaal zoals hout, staal of beton) wordt gemaakt. Mocht dit in de projectaanvraag het geval zijn, dan moet het ondersteuningsmateriaal worden meegenomen in de berekening. Ook voor dit product geldt dat voor de bepaling van de CO₂-footprint een LCA-berekening moet worden uitgevoerd (zie bijlage 5). Ook hier is het verschil tussen het conventionele product en het hempcrete product de vermeden uitstoot, danwel de vastgelegde CO₂-eq.

Voorbeeld: In het projectplan wordt beschreven dat hempcrete wordt toegepast middels het gebruik van een houten structurelement. Dit zal in de berekening van de CO₂-uitstoot van het product moeten worden meegenomen. Uit de baseline bepaling komt dat door het conventionele product 57,2 kg CO₂/ m² (Rc-waarde 4,5) wordt uitgestoten. Wordt in geval van hempcrete bijvoorbeeld 15 kg CO₂/ m² opgeslagen (bij een Rc-waarde van 4,5). Dit betekent dat met het gebruik van hempcrete in dit geval $57,2 + 15 = 72,2$ kg CO₂ eq./ m² wordt vermeden.

7. Bepaling emissiereductie

De emissiereductie is gelijk aan de CO₂-footprint van de hennepketen (inclusief het biogene effect) die afgezet wordt tegen de CO₂-footprint van het referentieproduct of producten. Dit wordt hieronder uitgewerkt voor de eerdergenoemde opties 1 en 2.

Voor beide opties geldt dat voor de berekening van de CO₂-footprint van henneproducten gebruik gemaakt dient te worden van de LCA-methode zoals beschreven in hoofdstuk 6 en bijlage 2. Hierbij valt voor optie 1 en optie 2 het volgende onderscheid te maken:

- Optie 1: Voor optie 1 moet voor het teeltproces een vaste uitgangswaarde worden gebruikt (-1,10 kg CO₂ eq., zie bijlage 4 voor de berekening), aangevuld met primaire data voor het productieproces van grondstoffen en eindproducten.
- Optie 2: Voor optie 2 geldt dat voornamelijk gebruik gemaakt wordt van primaire data, aangevuld met secundaire data voor alle drie de processen (teelt, productie grondstoffen en productie eindproducten).

Optie 2 stimuleert het om CO₂-reducerende maatregelen in te voeren in het proces (o.a. alternatieve brandstoffen, ander type bemesting, elektrisch vervoer, zelfopgewekte groene stroom). De effecten hiervan mogen alleen worden meegerekend als hier geen subsidie voor is ontvangen.

Er dient in het projectplan een keuze te worden gemaakt tussen de twee bovenbeschreven opties die elkaar uitsluiten. Bij het gebruik van de CO₂-waarde voor het teeltproces uit dit methodedocument (optie 1) zal een controle op basis van de CO₂-footprint van het productieproces van het henneproduct en de productiecijfers van de henneproducten van het project afdoende zijn. Als er wordt gekozen voor het gebruik van eigen CO₂-analyses (optie 2), is het aanleveren van de data en het laten opstellen van de footprints door een onafhankelijke instantie een voorwaarde. Het betreft in beide gevallen een periodieke controle of de gemonitorde waardes (o.a. voor transport, opbrengst per hectare, landbewerking, productieproces en de afzetcijfers van henneproducten) in lijn zijn met de gehanteerde waardes binnen de berekeningen in het projectplan.

7.1 Emissiereductieformule

Voor optie 1 en 2 geldt dat bijna alles formules gelijk zijn aan elkaar, alleen de formule voor de bepaling van de CO₂-footprint van het teeltproces voor optie 1 is anders (zie bijlage 4 voor de uitgebreide berekening).

De variabelen die per processtap moeten worden uitgerekend zijn hieronder per formule beschreven.

Emissiereductieformule

De uitkomsten van de formules kunnen worden ingevuld in de formule.

$$ER = ((I_{kltot(ConIso)} - I_{kltot(HenIso)}) \cdot OppIso + (I_{kltot(Beton+ConIso)} - I_{kltot(HempCre)}) \cdot OppHemCre) / 1000$$

- ER = Emissiereductie (t CO₂ eq.)
- I_{kltot(HenIso)} = Footprint hennepisolatie (incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- I_{kltot(HempCre)} = Footprint hempcrete (incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- I_{kltot(ConIso)} = Footprint baseline conventionele isolatie (kg CO₂ eq./m²)
- I_{kltot(Beton+ConIso)} = Footprint baseline beton (niet dragend/dragend) plus isolatiemateriaal (kg CO₂ eq./m²)
- OppIso = Oppervlakte conventionele isolatie vermeden door hennepisolatie (m²)
- OppHemCre = Oppervlakte conventionele beton en isolatie vermeden door hempcrete (m²)

Formule footprint hennepisolatie

$$I_{kltot(HenIso)} = THenep + HenIsoPro$$

- I_{kltot(HenIso)} = Footprint hennepisolatie (incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- THenep = Teelt hennep (teelt hennep, incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- HenIsoPro = CO₂-uitstoot productie hennepisolatie (kg CO₂ eq./m²)

Formule footprint hempcrete

$$I_{kltot(HempCre)} = THenep + HempCrePro$$

- I_{kltot(HempCre)} = Footprint hempcrete (incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- THenep = Teelt hennep (teelt hennep, incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- HempCrePro = CO₂-uitstoot productie hempcrete (kg CO₂ eq./m²)

Formule hennep teelt (optie 1)

Waarbij THenep als volgt wordt bepaald:

$$THenep = (((Emprod + Embem + Emtrans + Emgewr + (Litdies \cdot Emdies)) / ((Opbr \cdot Glo) \cdot Biogperc)) - 1,38) \cdot Grondmet$$

- THenep = Teelt hennep (incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./m²)
- Emprod = Emissie bij de productie kunstmest (kg CO₂ eq./ha)
- Embem = Emissie bij bemesting (kg CO₂ eq./ha)
- Emtrans = Emissie bij transport van productiemiddelen (kg CO₂ eq./ha)
- Emgewr = Emissie gewasresten (kg CO₂ eq./ha)
- Litdies = Gebruik diesel (l/ha)
- Emdies = Emissie gebruik diesel (kg CO₂ eq./l)
- Opbr = Opbrengst hennepstro (kg/ha)
- Glo = Percentage hennepstro geschikt voor langdurige opslag (%)

- Grondmet = Benodigde hoeveelheid grondstof (kg vezel/scheef per m² product)

Formule hennep teelt (optie 2)

Waarbij THennep als volgt wordt bepaald:

$$THennep = (((Embem + Emgewr + (Litdies \cdot Emdies)) / (Opbr \cdot Biogperc)) - 1,38) \cdot Grondmet$$

- THennep = Teelt hennep (teelt hennep, incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./ m²)
- Embem = Emissie bij bemesting (kg CO₂ eq./ha)
- Emgewr = Emissie gewasresten (kg CO₂ eq./ha)
- Litdies = Gebruik diesel (l/ha)
- Emdies = Emissie diesel (kg CO₂ eq./l)
- Opbr = Opbrengst gewas (kg/ha)
- Biogperc = percentage vezels en scheven (%)
- Grondmet = Benodigde hoeveelheid grondstof (kg vezel/scheef per m² product)

De berekeningen dienen aan de volgende voorwaarden te voldoen:

- Waarden en eenheden voor de genoemde variabelen uit de formules hennep teelt, hennepisolatie en hempcrete moeten worden aangehouden zoals ze in bijlage 2 t/m 5 staan aangegeven.
- In de formule voor de teelt van hennep is de volledige emissie van de teelt toegerekend aan de vezels en scheven (79%) die geschikt zijn voor de verwerking in isolatiemateriaal en hempcrete.
- Voor de biogene opslag wordt uitsluitend deze 79% meegerekend en is in de formule vastgesteld op 1,38 kg CO₂ eq./kg hennepstro.
- De berekening dient onderdeel te zijn van het ingediende projectplan.
- Alle processtappen die energiegebruik vergen, dan wel overige broeikasgassen emitteren, dienen omgerekend te worden naar CO₂ eq. Bij de verificatie dient gebruik te worden gemaakt van de actuele emissiefactoren zoals gepubliceerd op www.co2emissiefactoren.nl. Een uitzondering hierop vormt ingekochte groene stroom, daarvoor wordt de PBL-methode aangehouden⁸.
- De administratie van het project dient controleerbaar te zijn.
- De berekeningen moeten transparant en dus narekenbaar zijn, hierbij dienen de bronnen te worden vermeld.

⁸ Zie hiervoor het SNK-document: CO₂-reductieberekening voor elektriciteit in het licht van het ETS. CO₂ -vastlegging hennep

8. Plan voor monitoring van projectvoortgang

In het projectplan, dat wordt ingediend voor de aanvraag van koolstofcertificaten, moet zijn aangegeven hoe de monitoring en borging van de resultaten van het project zal plaatsvinden.

Aspecten die in het projectplan beschreven moeten worden, afhankelijk van de gekozen aanpak, zijn:

- Voor welke optie er wordt gekozen, 1 of 2, voor de berekening van de emissies. Deze keuze mag gedurende het project niet worden gewijzigd.
- Welke uitgangspunten er zijn in de situatie van het projectvoorstel, zoals welke henneproducten er worden meegenomen.
- Op welke manier de parameters worden gemonitord om tot correcte cijfers te komen.
- Hoe de berekening door een onafhankelijke instantie zal worden geborgd.
- Binnen de keten is degene die een project start eigenaar van de emissiereductie, dit is alleen mogelijk indien er een samenwerking is met de relevante partijen (teler, grondstofproducent en de producent van henneproducten) in de keten om te komen tot langdurige opslag in henneproducten.

Bewijsmateriaal dat in de verificatieprocedure dient te worden aangeleverd is:

- Hoeveelheid (kg) ton grondstof is geleverd ten behoeve van het henneproduct (isolatiemateriaal, hempcrete).
- Productiecijfers ten aanzien van het product.
- Bewijsmateriaal waaruit blijkt dat de ex-post berekende en gebruikte CO₂-footprint van het henneproduct overeenkomt en is gebaseerd op gemonitorde data over het teeltproces (alleen optie 2), productieprocessen en transportbewegingen die hebben plaatsgevonden.
- Overeenkomst met de verwerkings- en productiepartners van de henneproducten waarin procedures voor productieprocessen zijn vastgelegd en het dubbel tellen van CO₂-reductie wordt uitgesloten.
- Hoe het project is geborgd. De basis van de borging kan bestaan uit een systeem van zelfregulering van de keten, waaraan de onafhankelijke instantie op periodieke basis en met steekproefsgewijze controle goedkeuring verleent.

In het teeltcontract worden hierover tussen de teler en afnemer van de hennep afspraken vastgelegd. De telers van hennep leveren data uit reeds bestaande registratiesystemen aan, zoals de gewasbeschermingsregistratie, de mestboekhouding en de jaarlijkse perceelregistratie bij de RVO. Naarmate telers en/of afnemers kiezen voor verdergaande duurzame maatregelen, zoals gebruik van HVO 100 of elektrische tractie, en daardoor ook voor meer certificaten in aanmerking komen, zullen de eisen aan het bewijsmateriaal hoger liggen. Er zal dan worden gevraagd naar rekeningen waarin de aankoop en toepassing binnen het bedrijf kan worden bewezen.

9. Uitgifte van certificaten, hertoets baseline en additionaliteit

De CO₂-certificaten zullen pas na verificatie in het SNK-register worden opgenomen. Zonder productiecijfers is er geen grondslag voor certificaten met de status 'gevalideerd'.

De biogene koolstofopname vindt plaats gedurende de groeiperiode van de hennep. De hoeveelheid CO₂ eq. die per hectare is opgeslagen in de plant kan worden bepaald zodra de hoeveelheid hennepstro per hectare vanuit de oogst bekend is of, in het geval van optie 1, er wordt uitgegaan van een uitgangswaarde. De daaropvolgende productieprocessen om te komen tot halffabricaten en eindproducten bepalen, samen met de CO₂ footprints van de referentieproducten, welke CO₂-emissiereductie uiteindelijk kan worden toegekend aan het project. De CO₂-footprints van de productprocessen van de conventionele referentieproducten zullen eens per drie jaar worden getoetst of deze nog steeds actueel is.

Ook de additionaliteit van de in dit methodedocument beschreven henneproducten wordt periodiek opnieuw getoetst. Hiervoor wordt verwezen naar een specifieke SNK-regel die in het Rulebook is opgenomen (**Additionaliteit van emissiereducties** van de Stichting Nationale Koolstofmarkt, website www.nationaleco2markt.nl).

10. Risico's

De volgende risico's dienen in acht te worden genomen:

- Er is een risico dat het henneproduct wel verkocht wordt maar uiteindelijk niet gebruikt. Het is echter vrij aannemelijk dat de consument gekochte producten ook gebruikt. Is dat niet het geval dan zal de productie van henneproducten ook snel stoppen. Het is daarmee een verwaarloosbaar risico.
- Klimaatverandering kan van invloed zijn op de teelt van gewassen door bijvoorbeeld droogte of wateroverlast. In de afgelopen jaren is met name droogte een belangrijke factor geweest in de landbouw, echter gedijt hennep goed in dergelijke omstandigheden en is het niet aannemelijk dat dit een probleem zal vormen.

11. Literatuurlijst

Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F. H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G., & Cosentino, S. L. (2015). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, 68, 2-16.

Arrigoni, A., Pelosato, R., Melia, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., & Dotelli, G. (2017). Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks. *Journal of Cleaner Production*, 149, 1051-1061.

Bos, U. 2010. Aktualisierung der CO₂-Bilanz des Dämmstoffes THERMO-Hanf mit PES- und PLA-Faser. Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) prepared for Hock GmbH Co. KG Nördlingen, Echterdingen, Germany.

Bos, U. en S. Deimling. 2010. Development of a Complete Biogenous Insulating Material - LCA Results. LBP University of Stuttgart and PE International, Germany.

Boutin, M.-P., C. Flamin, S. Quinton, and G. Gosse. 2006. Etude des caractéristiques environnementales du chanvre par l'analyse de son cycle de vie. L' Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Lille, France.

Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 178.

Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J., & Bertucelli, S. (2013). The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds. European Industrial Hemp Association (EIHA), Hürth (Germany).

CBS, 2021, Opbrengst vezelhennepe,
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84296NED/table?ts=1598614093561>

Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M. and Chadwick, M. J. (2005). Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp and Polyester. Report prepared for and reviewed by BioRegional Development Group and World Wide Fund for Nature – Cymru. Stockholm Environment Institute

CLM Onderzoek en advies. (2020). Bijdrage van vlas en hennep aan milieu- en klimaatdoelstellingen van het toekomstig EU-landbouwbeleid, Vlas en Hennep NL

Ecoinvent (versie 3.3 (2016))

- polypropylene production, granulate, RER: Hischier R (2010) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper
- polyethylene production, high density, RER: Hischier R (2010) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper
- polyethylene production, low density, RER: Hischier R (2010) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper

- autoclaved aerated concrete block production, CH: Kellenberger D (2004) Life Cycle Inventories of Building Product. Final report ecoinvent 2000

Folkersma, Richard en Carin Rougoor (2021). Kansen, kosten en draagvlak van klimaatmaatregelen in de open teelten. Culemborg, CLM rapport 1076.

GoodEarth, The Role of Industrial Hemp in Carbon Farming, Company: GoodEarth Resources PTY Ltd (ABN 79 124 022 859): <https://hemp-copenhagen.com/images/Hemp-cph-Carbon-sink.pdf>

Grow2Build, 2015. De vezelteelt van vlas en hennep. Praktische gids voor de teler. Op https://leden.inagro.be/DNN_DropZone/Publicaties/708/NL_Brochure_vezelvlas_2015.pdf.

Ingrao, C., Giudice, A. L., Bacenetti, J., Tricase, C., Dotelli, G., Fiala, M., ... & Mbohwa, C. (2015). Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 29-42.

Ip, K., & Miller, A. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 1-9.

Jordan, N., Boody, G., Broussard, W., Glover, J. D., Keeney, D., McCown, B. H., & Pansing, C. (2007). Sustainable development of the agricultural bio-economy. *Science*, 316(5831), 1570-1571.20

Lesschen, Jan Peter, Hanneke Heesmans, Janet Mol-Dijkstra, Anne van Doorn, Eric Verkaik, Isabel van den Wyngaert en Peter Kuikman (2012) Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in Nederlandse landbouw en natuur. Wageningen, Alterra-rapport 2396.

McCormick, K., & Kautto, N. (2013). The bioeconomy in Europe: An overview. *Sustainability*, 5(6), 2589-2608.

Murphy, R. J. and M. Norton. 2008. Life Cycle Assessments of Natural Fibre Insulation Materials. Imperial College London, prepared for the National Non-Food Crop Center (NNFCC), London, England.

Norton, A., Murphy, R., Hill, C., & Newman, G. (2009). The life cycle assessments of natural fibre insulation materials. In Proceedings of the 11th international conference on non-conventional materials and technologies (NOCMAT).

Nova Institute (2011), Hemp Fibres for Green Products – An assessment of life cycle studies on hemp fibre applications: https://www.votehemp.com/PDF/11-07-07_META-LCA_Hemp_Fibre_Products.pdf

Nova Institute (2019), Carbon Footprint and Sustainability of Different Natural Fibres for Biocomposites and Insulation Material: <http://news.bio-based.eu/carbon-footprint-and-sustainability-of-different-natural-fibres-for-biocomposites-and-insulation-material/>

Pless, P. S. 2001. Technical and Environmental Assessment of Thermal Insulation Materials from Bast Fiber Crops. University of California, Los Angeles, U.S.

Premium Hemp. (z.d.). Carbon farming with industrial hemp. Geraadpleegd van <https://premiumhempaustralia.com/carbon-farming-with-industrial-hemp/>

Prétot, S., Collet, F., & Garnier, C. (2014). Life cycle assessment of a hemp concrete wall: Impact of thickness and coating. *Building and Environment*, 72, 223-231.

Rana, S., S. Pichandi, S. Parveen, and R. Fanguero, 2014. Natural plant fibers: Production, processing, properties and their sustainability parameters. In: S. S. Muthu (ed.), *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*. Textile Science and Clothing Technology. Springer, Singapore.

RIVM (2016) W. Hagens, R. Bogers, E. Putman. Isolatiematerialen en gezondheid, een verkenning. RIVM Briefrapport 2016-0132. Voor het laats benaderd op 27-08-2020 via <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0132.pdf>

RIVM (2021). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2019. National Inventory Report 2021. RIVM report 2021-0007

Schils, R.L.M., D.A. Oudendag, K.W. van der Hoek, J.A. de Boer, A.G. Evers en M.H.A de Haan (2006). Broeikasgasmodule BBPR. Alterra, Wageningen.

Scrucca, F., Ingraio, C., Maalouf, C., Moussa, T., Polidori, G., Messineo, A., ... & Asdrubali, F. (2020). Energy and carbon footprint assessment of production of hemp hurds for application in buildings. *Environmental Impact Assessment Review*, 84, 106417.

Sinka, M., Bajare, D., Gendelis, S., & Jakovics, A. (2018). In-situ measurements of hemp-lime insulation materials for energy efficiency improvement. *Energy Procedia*, 147, 242-248.

Van der Werf, H. M. (2004). Life cycle analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts. *Euphytica*, 140(1-2), 13-23.

Velthof, G.L. en P.J. Kuikman (2000). Beperking van lachgasemissie uit gewasresten. Een systeemanalyse. Alterra rapportnr. 114.3, Wageningen.

Zampori, L., Dotelli, G., & Vernelli, V. (2013). Life cycle assessment of hemp cultivation and use of hemp-based thermal

Zampori, L. and Pant, R., *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019

Bijlage 1. Eigenschappen meest gebruikte isolatiematerialen Nederland

Isolatiemateriaal	λ (W/mK)	Dichtheid (kg/m ³)	Kg materiaal/m ²	kg CO ₂ eq / kg product	Totaal klimaatimpact in kg CO ₂ / m ² *	Ecoinvent proces (versie 3.3 (2016))
Steenwol	0,0378	48	5,4	1,4400	7,8	stone wool production, packed, CH
Steenwol	0,0378	48	5,4	1,4430	7,9	stone wool production, packed, RoW
Steenwol	0,0378	48	5,4	1,3850	7,5	market for stone wool, GLO
Gemiddeld				1,42	7,7	
Glaswol	0,034	25	2,6	1,167	3,0	glass wool mat production, CH
Glaswol	0,034	25	2,6	1,327	3,4	glass wool mat production, CA-QC (Canada, Quebec)
Glaswol	0,034	25	2,6	2,791	7,1	glass wool mat production, RoW
Gemiddeld				1,76	4,5	
EPS 100	0,04	15	1,8	4,642	8,4	polystyrene foam slab production, RER
EPS 100	0,04	15	1,8	4,642	8,4	polystyrene foam slab production, RoW
Gemiddeld				4,64	8,4	
Cellenbeton (800)	0,23	800	552,0	0,4651	256,7	autoclaved aerated concrete block production, RoW,
Cellenbeton (800)	0,23	800	552,0	0,3724	205,6	autoclaved aerated concrete block production, CH
Gemiddeld				0,42	231,2	
PIR	0,023	33	2,3	4,643	10,6	polyurethane production, rigid foam, RoW
PIR	0,023	33	2,3	4,512	10,3	polyurethane production, rigid foam, RER
Gemiddeld				4,58	10,4	
PUR	0,025	33	2,5	4,643	11,5	polyurethane production, rigid foam, RoW
PUR	0,025	33	2,5	4,512	11,2	polyurethane production, rigid foam, RER
Gemiddeld				4,58	11,3	
Resolschuim/ PF	0,02	41	2,5	4,6895	11,5	Phenolic resin production, RER
Resolschuim/ PF	0,02	41	2,5	4,8022	11,8	Phenolic resin production, RoW
Resolschuim/ PF	0,02	41	2,5	4,846	11,9	Phenolic resin production, GLO
Gemiddeld				4,78	11,8	

Tabel B1.1: berekening meest gebruikte isolatiematerialen & bouw materiaal cellenbeton

*Rc-waarde 3: deze is in tabel 2 in hoofdstuk 3 omgerekend naar Rc-waarde 4,5.

Bijlage 2: Methodebeschrijving

In hoofdstuk 4 is beschreven dat systeemgrens ligt bij cradle-to-gate. Dit betekent dat de gehele productieketen wordt meegenomen in deze methodologie. De ketenschakels die daarin worden onderscheiden zijn de hennepsteelt, de verwerking van hennepstro tot grondstoffen en de verwerking van de grondstoffen tot het eindproduct. Voor deze ketenschakels is voorgeschreven welke parameters moeten worden meegenomen, zie tabel B2.1

Teelt	Verwerking tot grondstof	Verwerking tot eindproduct
Gebruik dierlijke mest	Gebruik hennepstro per eenheid vezel (grondstof isolatie) of scheven (grondstof voor hempcrete)	Gebruik vezel of scheven per eenheid isolatiemateriaal of hempcrete
Gebruik overige organische mest	Transport t.b.v. aanvoer hennepstro	Transport t.b.v. aanvoer vezel of houtkern
Gebruik N-, P- en K-kunstmest	Gebruik overige grondstoffen	Gebruik overige grondstoffen
Gebruik brandstoffen en elektriciteit	Gebruik brandstoffen en elektriciteit	Gebruik brandstoffen en elektriciteit
Transport t.b.v. aanvoer inputs (kunstmest, dierlijke en overige organische mest, brandstoffen, zaaizaad)		
Oogst hennepstro		
Biogene koolstof opslag in hennepstro		
Effect gewasresten op het land		

Tabel B2.1: de parameters die moeten worden meegenomen in de analyse van de carbon footprint van hennepproducten voor de fase teelt, verwerking tot grondstof en verwerking tot eindproduct.

Bij het indienen van een projectvoorstel heeft de indiener de keuze om uit te gaan van:

- **Optie 1:** Voor optie 1 moet voor het teeltproces een vaste uitgangswaarde worden gebruikt (-1,10 kg CO₂eq, zie bijlage 4 voor de berekening), aangevuld met primaire data voor het productieproces van grondstoffen en eindproducten.
- **Optie 2:** Voor optie 2 geldt dat voornamelijk gebruik gemaakt wordt van primaire data, aangevuld met secundaire data voor alle drie de processen (teelt, productie grondstoffen en productie eindproducten).

Primaire en secundaire data

Primaire data zijn voorgronddata die direct betrekking hebben op de specifieke productieketen, bijvoorbeeld oogst hennep in ton/ha, dieselgebruik in hennepsteelt per ha, elektriciteitsgebruik bij verwerking hennep.

Secundaire data zijn defaults/gemiddelden die worden gebruikt indien primaire data ontbreken of niet beschikbaar zijn. Dus als er bijvoorbeeld van een project geen dieselverbruik per ha hennepsteelt bekend is, dan kan worden teruggevallen op het dieselverbruik volgens KWIN. Dat laatste is dan de secundaire data.

Bij gebruik van optie 1 maakt de projecthouder voor het gehele project gebruik van secundaire data, behalve voor de verwerking van hennep tot halffabricaat en eindproduct. Bij deze optie is het voor bepaalde parameters niet vereist om specifieke data aan te leveren (zie tabellen B1.2 t/m B1.5). In dat geval is het wel vereist om gebruik te maken van de in dit methodedocument voorgeschreven secundaire data. Deze data zijn deels gebaseerd op openbare bronnen zoals de Kwantitatieve Informatie Akkerbouw (KWIN-AGV), Kwantitatieve Informatie Veehouderij (KWIN-V) CO₂-vastlegging hennep

en CBS-Statline. De secundaire data die vereist zijn voor optie 1 zijn weergegeven in tabel B1.2 t/m 5.

Achtergronddata

Achtergronddata zijn data over de milieu impact van zogenoemde achtergrondprocessen. Dus bijvoorbeeld de CO₂-footprint van de productie van kunstmest die in de hennep teelt wordt gebruikt. Dergelijke achtergronddata zijn beschikbaar in database Agrifootprint, Ecoinvent(wetenschappelijke) literatuur of andere publicaties aangegeven bronnen.

Parameter	Bruikbare databases	Opmerking
N, P en K kunstmest	Agrifootprint	
Dierlijke mest	NVT	Hier geldt een cut-off: de impact vanwege productie dierlijke mest wordt geheel gealloceerd aan het dierlijk product
Diesel, elektriciteit, overige brandstoffen, transport	Website CO2emissiefactoren.nl,	Ga bij CO2emissiefactoren.nl uit van WTW (well to wheel)
Overige grondstoffen bij verwerking	Ecoinvent, DEFRA conversion factors ¹	

Tabel B2.6: Literatuurbronnen voor achtergronddata

¹[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/891106/Conversion Factors 2020 - Full set for advanced users .xlsx](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/891106/Conversion_Factors_2020_-_Full_set_for_advanced_users_.xlsx))

Bijlage 3: Teeltproces

Parameter	Eenheid	Optie 1	Optie 2
Opbrengst hennepstro	Ton/ha	CBS-statline	Primair
Vastlegging CO ₂ in hennepstro	Kg CO ₂ /kg hennepstro	1,38 (zie paragraaf 1.1)	Secundair, zie optie 1
Inputs:			
N-kunstmest	Kg N/ha	KWIN-AGV	Primair
P-kunstmest	Kg P/ha	KWIN-AGV	Primair
K-kunstmest	Kg P/ha	KWIN-AGV	Primair
Hoeveelheid dierlijke mest	Ton/ha	KWIN-AGV	Primair
N in dierlijke mest	Kg N/ha	KWIN-V	Secundair, zie optie 1
Aanvoer afstand dierlijke mest	Km	200 km ¹	Secundair, zie optie 1
N in overige organische mest	Kg N/ha	KWIN-V	Secundair, zie optie 1
Aanvoer afstand overige organische mest	Km	150 km ²	Secundair, zie optie 1
Diesel	L/ha	KWIN-AGV	Primair
Elektriciteit	KWh/ha	KWIN-AGV	Primair
Overige brandstoffen			Primair
Aanvoer afstand zaad	Km	1000 km ³	Secundair, zie optie 1
Effect gewasresten op het land	Kg N/ha	Bruggen et al. 2020, zie verderop	Secundair, zie optie 1
Aanvoer kunstmest en brandstoffen	Km	150 km ²	Secundair, zie optie 1

Tabel B3.1 Een overzicht van de parameters m.b.t. fase 1 de hennepsteelt, met de voor optie 1 voorgeschreven secundaire data (gebaseerd op KWIN-AGV, KWIN-V, CBS-Statline en literatuur) en voor optie 2 de eis of er gebruik gemaakt dient te worden van primaire data of gebruik van secundaire voldoende is.

¹ Aanvoer dierlijk mest komt met name uit Brabant; teelt vindt voornamelijk plaats in Groningen, Friesland, Drenthe. Een gemiddelde transportafstand bedraagt daarmee ± 200 km.

² Deze producten komen doorgaans uit de (brede) regio, waarbij een standaardwaarde van 150 km wordt gekozen.

³ Zaaizaad komt doorgaans uit Frankrijk, een gemiddelde transportafstand bedraagt daarmee ± 1000 km.

Emissiemodellering:

Op verschillende plaatsen in de productieketen kunnen, naast verbranding van brandstoffen, emissies van broeikasgassen ontstaan. Vooral bij de hennepsteelt is dat relevant waarbij in de bodem en bij mesttoediening emissies van vooral lachgas (N₂O) vrijkomen. Voor de bepaling van die emissies worden de rekenregels en emissiefactoren zoals toegepast van de NIR (Nederlandse emissieregistratie) en IPCC gebruikt.

Directe N₂O emissie

De directe N₂O emissie wordt berekend door de N-aanvoer met verschillende posten te vermenigvuldigen met de betreffende emissiefactor (EF). Wat betreft N-aanvoerposten sluiten we aan bij de NIR (Bruggen et al., 2020): kunstmest, dierlijke mest, compost, zuiveringsslib, gewasresten en gebruik van veengrond. Voor die verschillende N-aanvoerposten gelden verschillende emissiefactoren, afhankelijk van grondsoort en aanwendingstechniek, zie tabel B1.7.

N-aanvoer	Grondsoort	Type aanwending	EF kg N-N ₂ O per kg N
Kunstmest,	Zand/ klei	Geen onderscheid	0,007
Kunstmest,	Veengrond	Geen onderscheid	0,030
Dierlijke mest	Zand/ klei	Bovengronds	0,006
Dierlijke mest	Zand/ klei	Injecteren	0,013
Dierlijke mest	Veengrond	Bovengronds	0,005
Dierlijke mest	Veengrond	Injecteren	0,010

Compost	Geen onderscheid	Geen onderscheid	0,004
Zuiveringsslib	Geen onderscheid	Bovengronds	0,004
Zuiveringsslib	Geen onderscheid	Injecteren	0,009
Gebruik veengrond	n.v.t.	n.v.t.	0,020
Gewasresten	n.v.t.	n.v.t.	0,010

Tabel B3.2: De N-aanvoerposten die in beschouwing moeten worden genomen en de bijbehorende

Voor de N-aanvoer in kunstmest, dierlijke mest en overige organische mest (compost en slib) dient te worden uitgegaan van de primaire of secundaire data zoals voorgeschreven in paragraaf primaire en secundaire data.

Voor de N-aanvoer bij gebruik van veengrond en voor gewasresten dient te worden uitgegaan van de default waarde van resp. 233,5 kg N per ha veengrond, 23 kg N per ha uit bovengrondse gewasresten en 3 kg N per ha uit ondergrondse gewasresten (Bruggen et al., 2020).

Indirecte N₂O

Uit de N-emissies ammoniak en NO en nitraatuitspoeling ontstaat een klein deel lachgas, de zgn. indirecte lachgasemissie. Voor de berekening van ammoniak- en NO-emissie, nitraatuitspoeling en de daaruit voorkomende lachgas hanteren we de rekenregels van de Nationale emissieregistratie (NIR). Van Bruggen et al. (2020) geven uiteenlopende NH₃ emissiefactoren voor de verschillende typen N-kunstmest en aanwendingsmethodes voor dierlijke mest.

N-aanvoer		EF Kg NH ₃	EF Kg N-NO
Kunstmest,	Uitgaande van KAS	2,5 als % van N	0,012 kg N-NO per kg N-aanvoer
Dierlijke mest	Gewogen gemiddelde van injecteren, sleufjes en in 1 werkgang onderwerken	5 als % van TAN	0,012 kg N-NO per kg N-aanvoer
Compost	Geen onderscheid	9,8 als % van N	0,012 kg N-NO per kg N-aanvoer
Slib	Voor zowel dun als dik slib	9,8 als % van N	0,012 kg N-NO per kg N-aanvoer
Gewasresten		0,73% als % N in bovengrondse gewasrest	0,012 kg N-NO per kg N-aanvoer

Tabel B3.3: Emissiefactoren voor verschillende bemestingsproducten

Voor nitraatuitspoeling wordt in de NIR (RIVM, 2021) uitgegaan van een vaste factor van 0,13 kg N-NO₃ per kg N aangewend. Voor N-aanwending wordt uitgegaan van de N-aanvoerbronnen zoals beschreven in Tabel B1.7. De emissiefactor voor N-N₂O uit ammoniak en NO samen en daarnaast nitraat is resp. 0,01 en 0,0075 kg N-N₂O per kg N uit ammoniak/NO of nitraat.

N₂O uit bewerking land

In wetenschappelijke literatuur is in het verleden beschreven dat niet-kerende grondbewerking (NKG) sprake is van een potentiële CO₂-vastlegging van 0,6 ton/ha/jaar (Lesschen et al., 2012). Bij NKG wordt de bodem niet dieper dan 12 centimeter bewerkt. Gewasresten worden dus alleen oppervlakkig met de bodem vermengd. Indien nodig wordt de ondergrond losgemaakt (gewoeld) zonder deze te vermengen met andere bodemlagen. Door NKG toe te passen wordt het bodemleven gespaard, worden natuurlijke processen zo min mogelijk verstoord en wordt een maximale opbouw van de bodemstructuur bereikt. Dit betekent in principe ook meer organische stof (OS, koolstof) in de toplaag van de bodem. NKG levert daarnaast een energiebesparing op. CO₂ -vastlegging hennep

Ook dit draagt bij aan de klimaatopgave. Resultaten van recente studies in Nederland zijn echter enigszins teleurstellend: experimenten laten geen significante toename in organische stof zien door NKG in akkerbouwrotaties (Folkersma et al., 2021). Om deze reden nemen we een vermindering van N₂O als gevolg van een andere vorm van landbewerking vooralsnog niet mee in dit document. Mocht er in latere onderzoeken blijken dat technieken beschikbaar zijn die wel leiden tot CO₂-vastlegging, dan kunnen die eventueel alsnog worden meegenomen.

Impact assessment:

De impact assessment omvat de vertaling van de emissie van verschillende broeikasgassen tot 1 totaalimpact voor broeikasgasemissies. Hiervoor hanteren we de GWP's conform de NIR (RIVM, 2021). Voor CO₂ is de GWP altijd 1, voor lachgas is de GWP 298, voor methaan is het 25 kg CO₂ eq. per kg.

Bijlage 4: Berekening teeltproces optie 1

Parameter	Aanduiding formule	Eenheid	Bron/ uitgangswaarde	Waarde
Opbrengst hennepstro	Opbr	Ton/ha	CBS-statline (gem. 2018-2021)	7,5
Percentage hennepstro geschikt voor producten langdurige opslag	Glo	%	84%	84%
Vastlegging CO ₂ in hennepstro		Kg CO ₂ /kg hennepstro	1,38 (zie paragraaf 1.1)	1,38
N-kunstmest	Emprod Embem	Kg N/ha	KWIN-AGV	120
P-kunstmest	Emprod Embem	Kg P/ha	KWIN-AGV	-
K-kunstmest	Emprod Embem	Kg K ₂ O/ha	KWIN-AGV	160
Aanvoer kunstmest	Emtrans	Km	150 km ²	150
Diesel	Litdies Emdies	l/ha Emissiefactor/l	KWIN-AGV CO ₂ emissiefactoren.nl	54 3,262
Zaaizaad		Kg/ha	KWIN-AGV	35
Aanvoer afstand zaad	Emtrans	Km	1000 km ³	1000
Gewasresten op het land, bovengronds	Emgewr	Kg N/ha	Velthof et al, 2000	23
Gewasresten op het land, ondergronds	Emgewr	Kg N/ha	Velthof et al, 2000	3

Tabel B4.1 Een overzicht van de parameters mbt fase 1 de hennepsteelt, met de voor optie 1 voorgeschreven secundaire data (gebaseerd op KWIN-AGV, KWIN-V, CBS-Statline en literatuur).

Waarbij THennep als volgt wordt bepaald:

$$THennep = (((Emprod + Embem + Emtrans + Emgewr + (Litdies \cdot Emdies)) / ((Opbr \cdot Glo) \cdot Biogperc)) - 1,38) \cdot Grondmet$$

- THennep = Teelt hennep (incl. biogene koolstofopslag) (kg CO₂ eq./ m²)
- Emprod = Emissie bij de productie kunstmest (kg CO₂ eq./ha)
- Embem = Emissie bij bemesting (kg CO₂ eq./ha)
- Emtrans = Emissie bij transport van productiemiddelen (kg CO₂ eq./ha)
- Emgewr = Emissie gewasresten (kg CO₂ eq./ha)
- Litdies = Gebruik diesel (l/ha)
- Emdies = Emissie gebruik diesel (kg CO₂ eq./l)
- Opbr = Opbrengst hennepstro (kg/ha)
- Glo = Percentage hennepstro geschikt voor langdurige opslag (%)
- Grondmet = Benodigde hoeveelheid grondstof (kg vezel/scheef per m² product)

$$T_{Hennep} = (((966,0 + 468,9 + 21,5 + 135,9 + (54 \times 3,262)) / (7500 \times 84\%) - 1,38) \times \text{Grondmet}$$

$$T_{Hennep} = -1,10 \times \text{Grondmet}$$

-1,10 CO₂eq/kg is de waarde die moet worden gebruikt in de keuze voor optie een. De hoeveelheid grondstof die wordt gebruikt moet worden ingevuld voor het specifieke project.

Opbouw berekening optie 1

Parameter	Betekenis	Eenheid	Waarde
Nkm	N-kunstmest	Kg N	
% Nkm	N-gehalte in kunstmest	%	27% (uitgaande van KAS)
EF Nkm	Emissiefactor Nkm	eq. / kg N	7,383 kg CO ₂
Pkm	P-kunstmest (Kg P	
% Pkm	P-gehalte in kunstmest	%	19,7% P (uitgaande van triple super fosfaat)
EF Pkm	Emissiefactor Pkm (kg CO ₂ eq.)	CO ₂ eq. / kg P	2,742 kg
Kkm	K-kunstmest (kg K)		24,9% K (uitgaande van patentkali)
% Kkm	K-gehalte in kunstmest	%	
EF Kkm	Emissiefactor Kkm (kg CO ₂ eq.)	kg CO ₂ eq. / kg K	0,500
EF trans	Emissiefactor transport	Kg CO ₂ eq./tkm	0,105
Sgdies	Soortelijk gewicht diesel	Kg/l	0,84
Zz	Zaaizaad	Kg/ha	35
Afstzz	Transportafstand zaaizaad	Km	1000

Tabel B4.2 Uitwerking parameters formule

Emissie productie kunstmest

Formule: $Em_{prod} = Nkm \times EF_{Nkm} + Pkm \times EF_{Pkm} + Kkm \times EF_{Kkm}$

$Em_{prod} = 120 \times 7,383 + 0 \times 0 + 160 \times 0,500 = 966 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

Emissie transport kunstmest & zaaizaad

Formule: $Em_{trans} = ((Nkm/\% Nkm + Pkm/\% Pkm + Kkm/\% Kkm + Litdies \times Sgdies) \times 150 + Zz \times Afstzz) \times EF_{trans}/1000$

$Em_{trans} = ((120/27\% + 0/19,7\% + 160/24,9\% + 54 \times 0,84) \times 150 + 35 \times 1000) \times 0,105 / 1000 = 21,5$

Berekening emissie bemesting

Formule: $Em_{bem} = Em_{bem}(\text{dir}) + Em_{bem}(\text{indir NH}_3) + Em_{bem}(\text{indir NO}) + Em_{bem}(\text{indir NO}_3)$

$Em_{bem} = 393,4 + 14,0 + 6,7 + 54,8 = 468,9 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

$Em_{bem}(\text{dir}) = 0,007 \times 120 \times 44/28 \times 298 = 393,4 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

$Em_{bem}(\text{indir NH}_3) = 2,5\% \times 120 = 3 \text{ kg N-NH}_3 \times 0,01 \times 44/28 \times 298 = 14,0 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

$Em_{bem}(\text{indir NO}) = 0,012 \times 120 = 1,4 \text{ kg N-NO}_3 \times 0,01 \times 44/28 \times 298 = 6,7 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

$Em_{bem}(\text{indir NO}_3) = 0,13 \times 120 = 15,6 \text{ kg N-NO}_3 \times 0,0075 \times 44/28 \times 298 = 54,8 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

$Em_{gewr} = Em_{gewr}(\text{dir}) + Em_{gewr}(\text{indir NH}_3) + Em_{gewr}(\text{indir NO}) + Em_{gewr}(\text{indir NO}_3)$

Berekening emissie gewasresten

Emgewr = $121,8 + 0,8 + 1,3 + 11,9 = 135,7$ kg CO₂-eq.

Emgewr (dir) = $0,010 \times 26 \times 44/28 \times 298 = 121,8$ kg CO₂-eq.

Emgewr (indir NH₃) = $0,73\% \times 23 = 0,17$ kg N-NH₃ $\times 0,01 \times 44/28 \times 298 = 0,8$ kg CO₂-eq.

Emgewr (indir NO) = $0,012 \times 23 = 0,28$ kg N-NO₃ $\times 0,01 \times 44/28 \times 298 = 1,3$ kg CO₂-eq.

Emgewr (indir NO₃) = $0,13 \times (23+3) = 3,4$ kg N-NO₃ $\times 0,0075 \times 44/28 \times 298 = 11,9$ kg CO₂-eq.

Bijlage 5: Productieproces grondstoffen en eindproducten

Productieproces grondstoffen

Parameter	Eenheid	Optie 1	Optie 2
Aanvoerafstand hennepstro	Km	Primair	Primair
Input hennepstro per eenheid grondstof (vezel of houtkern)	Kg/kg	Primair	Primair
Overige grondstoffen	Kg/kg	Primair	Primair
Elektriciteit	KWh/kg	Primair	Primair
Aardgas	M ³ /kg	Primair	Primair
Diesel	l/kg	Primair	Primair
Overige brandstoffen		Primair	Primair

Tabel B5.1: Een overzicht van de parameters mbt fase 2 tbv verwerking van hennepstro tot grondstof voor isolatiemateriaal en hempcrete, met de voor optie 1 voorgeschreven secundaire data (gebaseerd op literatuur) en voor optie 2 de eis of er gebruik gemaakt dient te worden van primaire data of gebruik van secundaire voldoende

Productieproces eindproducten

Hennepisolatie

Parameter	Eenheid	Optie 1	Optie 2
Aanvoerafstand vezel	Km	Primair	Primair
Input grondstof vezel per eenheid isolatiemateriaal	Kg/m ²	Primair	Primair
Overige grondstoffen	Kg/kg	Primair	Primair
Verpakkingsmateriaal	Kg/kg	Primair	Primair
Elektriciteit	KWh/kg	Primair	Primair
Aardgas	M ³ /kg	Primair	Primair
Diesel	L/kg	Primair	Primair
Overige brandstoffen		Primair	Primair

Tabel B5.2: Een overzicht van de parameters mbt fase 2 tbv verwerking van grondstof tot isolatiemateriaal, met de voor optie 1 voorgeschreven secundaire data (gebaseerd op literatuur) en voor optie 2 de eis of er gebruik gemaakt dient te worden van primaire data of gebruik van secundaire voldoende is.

Eenheid isolatiemateriaal is gesteld op 1 m² met een levensduur van minimaal 50 jaar en een Rc-waarde van 4,5.

Hempcrete

Parameter	Eenheid	Optie 1	Optie 2
Aanvoerafstand scheven	Km	Primair	Primair
Input grondstof scheven per eenheid hempcrete	Kg/m ²	Primair	Primair
Overige grondstoffen	Kg/kg	Primair	Primair
Verpakkingsmateriaal	Kg/kg	Primair	Primair
Elektriciteit	KWh/kg	Primair	Primair
Aardgas	M ³ /kg	Primair	Primair
Diesel	L/kg	Primair	Primair
Overige brandstoffen		Primair	Primair

Tabel B5.3: *Een overzicht van de parameters m.b.t. fase 2 t.b.v. verwerking van grondstof tot hempcrete, met de voor optie 1 voorgeschreven secundaire data (gebaseerd op literatuur) en voor optie 2 de eis of er gebruik gemaakt dient te worden van primaire data of gebruik van secundaire voldoende is.*

Eenheid hempcrete is gesteld op 1 m² met een levensduur van minimaal 50 jaar en een Rc-waarde van 4,5.

Bij optie 2 dienen de primaire data in het projectvoorstel gebaseerd te zijn op zo recent mogelijke cijfers. Bij oplevering van het project dient te worden gerekend met voor dat jaar gerealiseerde resultaten.