

SNK Methodedocument
voor bermvegetatie en stam- en tophout
in opdracht van Rijkswaterstaat

Finaal herwerkte versie

Juli 2023

Kristiaan Tetteroo

Dries Vansteenkiste

BioGrowth Development B.V.

Inhoud

1.	Inleiding	4
1.1	Doel	4
1.2	Onderscheid tussen kort-cyclische en lang-cyclische producten.....	5
1.3	Structuur van het Methodedocument	6
2.	Additionaliteit aan beleid	7
3.	Projectgrens.....	9
3.1	Processtappen in de productiefase	9
3.1.1.	Productiefase van bermvegetatieproducten	10
3.1.2.	Productiefase van houtproducten.....	11
3.2	De functionele eenheid.....	13
3.3	Systeemgrens en brongegevens.....	14
4.	Baseline-emissies binnen de projectgrens	14
4.1.	Baseline vermeden emissies	14
4.1.1.	Vermeden emissies door bermvegetatie niet te composteren	14
4.1.2.	Vermeden emissies door stam- en tophout niet te verbranden.....	15
4.2.	Baseline emissies van referentieproducten voor bermvezelproducten	15
4.2.1.	Aluminium coil coated verkeersbord	15
4.2.2.	Klassiek betonmengsel voor productie van wegverharding (tegels)	15
4.3.	Baseline emissies van referentieproducten voor houtproducten	16
4.3.1.	Betonnen verdiepingsvloer uit kanaalplaten	16
4.3.2.	Betonnen geluidsscherm	17
5.	Opslag en -emissies binnen de projectgrens.....	17
5.1.	CO ₂ -vastlegging.....	17
5.2.	CO ₂ -opslag en -emissies van bermvegetatieproducten	17
5.2.1.	Hennep-/bermvezelcomposiet (HGC) verkeersbord.....	17
5.2.2.	Tegel van grasvezelbeton	18
5.3.	CO ₂ -opslag en -emissies van houtproducten	19
5.3.1.	Verdiepingsvloerelement uit gezaagde balken (CLS/SLS) en OSB-platen	19
5.3.2.	Verdiepingsvloerelement uit CLT	20
5.3.3.	Geluidsscherm van houtvezelbeton	20
6.	Emissiereducties.....	22
6.1.	Emissiereducties van bermvezelproducten	22

6.1.1.	Hennep-/Bermvezel Compositiet (HGC) verkeersbord (tabel 4).....	22
6.1.2.	Tegel van bermvezelbeton (tabel 5).....	22
6.2.	Emissiereducties van houtproducten.....	23
6.2.1.	Houten verdiepingsvloer uit CLS-balken en OSB-platen (tabel 6).....	23
6.2.2.	Houten verdiepingsvloer uit CLT-panelen (tabel 7)	24
6.2.3.	Geluidsscherm van houtvezelbeton (tabel 8)	25
7.	Plan voor monitoring van projectvoortgang	26
8.	Uitgifte van certificaten, hertoetsing baseline en additionaliteit	28
9.	Risico's.....	29
10.	Literatuurlijst	30
	Bijlage 1: Parameters en basisformules voor berekening van emissies en opslag.	32
	Bijlage 2: Achtergronddata houtproducten	37
	Bijlage 3: Indicatie EOS uit compost afkomstig uit bermvegetatie	39
	Bijlage 4: CO ₂ emissiereductie van houtverbranding in een biomassaketel t.o.v. aardgas (voor warmteproductie).	41

1. Inleiding

1.1 Doel

Voorliggend Methodedocument werd opgesteld volgens de richtlijnen van Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK). Het SNK Methodedocument vormt een basis voor het proces van CO₂-certificering van vrijkomende bermvegetatie en houtstromen uit het droge beheersgebied van Rijkswaterstaat (RWS), met het oog op biomateriaaltoepassingen die langdurig CO₂ vastleggen. Deze reststromen bestaan uit bermmaaisel, stamhout en houtsnippers voortkomende uit de jaarlijkse onderhoudswerkzaamheden langs wegen en kanalen van RWS.

RWS is bij het beheer van het groene areaal gehouden aan verplichtende Kaders (RWS 2021) en richtinggevende Leidraden (RWS 2022). Deze schrijven o.a. voor dat de verkeersveiligheid en doorstroming van het verkeer bepalend zijn voor het beheer, naast een aantal boomziekten (w.o. iepziekte, Essentaksterfte, Roetschorsziekte) die tot houtkap nopen. Zo is voorgeschreven dat wegbermen tenminste eenmaal per jaar moeten worden gemaaid teneinde wegmeubilair (verkeersborden, reflectorpaaltjes, bewegwijzering, bakens, geleiderails etc.) voor de weggebruiker zichtbaar te houden. Daarnaast wordt het maaien van de wegberm noodzakelijk geacht vanuit de waterhuishoudkundige functie ervan (snelle afvoer van afstromend regenwater van het wegdek door korte vegetatie) en de wegenbouwkundige functie ervan (opvang voor van de weg-zonder-geleiderail geraakte voertuigen d.m.v. een lage (<40 cm) vegetatie zorgt voor een stevige ondergrond). Voorts kan wegverbreding leiden tot houtkap dan wel het verleggen – en daarmee eerst maaien – van de wegberm (RWS 2021, 2022).

Uitgangspunt voor het Methodedocument is dat de koolstof tenminste 10 jaar opgeslagen blijft in de hierna genoemde gekozen toepassingen. De materiaaltoepassingen komen voort uit voorafgaand onderzoek door RWS naar de potentie van de genoemde reststromen voor koolstofopslag in materialen en de mogelijkheden om CO₂-uitstoot te vermijden door substitutie van klassieke (niet-biogebaseerde) referentieproducten met deze (deels) biogebaseerde materialen.

Toepassingen voor hout:

- Stamdeel: *Oriented Strand Board* (OSB), constructief zaaghout (type *Canadian Lumber Standard*, CLS) en kruislings gelaagd hout (*Cross-Laminated Timber*, CLT)
- Tak- en tophout: snippers als betonvulstof (filler) in blok- of plaatvorm

Toepassingen voor bermmaaisel:

- Biovezelbeton (in tegelvorm voor wegverharding)
- Biocomposiet (bermvzels in combinatie met hennepvezels geperst in een driehoekige plaat)

De houttoepassingen (OSB, CLT, CLS) van het stamdeel worden courant gebruikt in bouwtoepassingen en infrastructuurwerken, zoals houten bruggen (zie ook: [Houtproductie en -gebruik in Nederland \(probos.nl\)](https://www.probos.nl)). Biocomposiet is een materiaal dat lijkt op geperste houtvezelplaat, vlasleemplaat, spaanplaat of ook als palletklossen bijvoorbeeld, maar wordt gemaakt met samengeperste grasvezels en een hars als bindmiddel. Biovezelbeton is een relatief nieuw product, bestaande uit een betonmengsel waarin berm- of houtvezels toegevoegd worden.

In elk van deze toepassingen wordt CO₂ opgeslagen onder de vorm van biogene koolstof, in het hout en de bermvegetatie die gebruikt worden om de producten te vervaardigen. Bij de ontginning van de grondstoffen, het transport ervan en de vervaardiging van de eindproducten in een fabriek, ontstaan evenwel emissies van broeikasgassen die in dit Methodedocument berekend worden.

Door de geoogste bermvegetatie en houtgrondstof in te zetten in materiaaltoepassingen i.p.v. ze te storten, te composteren of voor energieopwekking te gebruiken, wordt vermeden dat er koolstof van de beide

stromen sneller terugkomt in de atmosfeer. Via vervanging of substitutie van (niet-biogebaseerde) producten die met staal, minerale delfstoffen en/of fossiele grondstoffen werden vervaardigd door bovenstaande producten kunnen bovendien emissies worden vermeden. Deze additionele emissiebesparingen (vandaar “additionaliteit”) worden in dit Methodedocument eveneens benoemd en gekwantificeerd.

In het Methodedocument worden de systeemgrenzen, de invloedfactoren en de methode voor berekening van de netto koolstofvastlegging in de bovengenoemde eindproducten beschreven. Hiermee is het op termijn mogelijk om te komen tot verhandelbare koolstofcertificaten voor de vastgestelde netto hoeveelheden koolstof (en dus CO₂) die in de bovenstaande toepassingen worden vastgelegd.

Kortom, het doel van dit Methodedocument is om een goed onderbouwde berekeningswijze van deze CO₂-effecten vast te leggen, als grondslag voor het toekennen van koolstofcertificaten door SNK. Bij de verkoop van deze certificaten ontstaat er mogelijk een extra inkomstenbron voor degene die birmvezels en hout vastlegt in bouwmaterialen. Het beoogde effect is dat biobased bouwproducten op het gebied van prijs beter te kunnen laten concurreren in de markt ten opzichte van standaard fossiele bouwproducten. 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 Grondstoffenakkoord en het Klimaatakkoord. Hiermee kunnen naar verwachting biobased bouwmaterialen op den duur op zowel prijs, kwaliteit als duurzaamheid een beter alternatief vormen in de markt.

De mate waarin de CO₂ in birmvezels en rondhout ook daadwerkelijk blijft opgeslagen in de producten en CO₂-emissies worden voorkomen is afhankelijk van de manier waarop birmvegetatie en houtgrondstoffen worden geoogst en verwerkt in producten alsmede hoe lang deze in gebruik blijven. Hier wordt in paragraaf 2.2 dieper op ingegaan.

1.2 Onderscheid tussen kort-cyclische en lang-cyclische producten

Lang-cyclische producten (koolstofvastlegging minstens 10 jaar)

Certificaten worden door SNK uitsluitend verstrekt aan projecten waarbij in landgebruik en/of biomaterialen CO₂ langdurig wordt opgeslagen, d.w.z. voor minstens 10 jaar. Dit zijn lang-cyclische producten. Voor biomaterialen geldt bovendien dat producten die langdurig CO₂ opslaan daarnaast moeten kunnen worden ingezet als vervangingsproduct voor een conventioneel materiaal (of referentieproduct) waarmee netto beschouwd de totale CO₂-emissies nog extra worden gereduceerd.

Lang-cyclische materialen waarin CO₂-opslag voor minstens 10 jaar is gegarandeerd zijn bijvoorbeeld:

- Bouwmaterialen (vb. houten balken, plaatmateriaal), bouwelementen (vb. houtskeletwanden, dragende vloer- en dakstructuren) en gehele constructies (vb. gebouwen, bruggen);
- Biocomposietmaterialen (vb. biocomposiet plaatmateriaal in verkeersborden, ter vervanging van aluminium);
- Producten en elementen voor wegverharding (vb. biovezelbeton).

Veel bouwmaterialen en composietmaterialen hebben een veel langere functionele levensduur dan 10 jaar. Met name bij massieve, duurzame houtproducten in binnentoepassingen en betonvervangers kan die tot 100 jaar oplopen (Boutin et al 2006; Bouwcampus 2023).

Kort-cyclische producten (koolstofvastlegging gedurende minder dan 10 jaar):

Kort-cyclische producten komen in hun levenseindfase vaak in het afvalcircuit terecht - worden verbrand (geoxideerd), afgebroken, gecomposteerd, gestort, etc. – en hebben een korte levenscyclus van enkele maanden tot een paar jaar (minder dan 10 jaar). De hoeveelheid CO₂ die eventueel is opgeslagen in deze

producten komt zo weer snel vrij, relatief kort nadat ze zijn gebruikt. Deze producten zijn bijvoorbeeld biomassa voor stalbedding, compost, mulch, papier, karton, houten pallets, houtpellets en bioplastics met een korte gebruiksduur.

1.3 Structuur van het Methodedocument

Hierna wordt de productiefase van de grondstoffen en van de geselecteerde nieuwe en bestaande eindproducten beschreven, ter onderbouwing van de gehanteerde methoden om emissiereducties te berekenen. Na een bespreking van de samenstelling van de biomaterialen en de referentieproducten wordt uit de doeken gedaan hoe de massabalans en de koolstofbalans van elk eindproduct wordt berekend, met name via de kwantificering van de biogene koolstofopslag, de emissies in elke processtap en de additionaliteit t.o.v. emissies van gekozen referentiematerialen. Het sluitstuk is een gedetailleerde bespreking van de formule die toelaat om de netto CO₂-emissiereductie te berekenen, die verkregen wordt via de vervanging van de referentieproducten door de gekozen biomaterialen.

Het SNK Methodedocument dient als voorbereiding op het proces van CO₂-certificering van de gekozen materialen en producten. Daarom is het enkel opgesteld voor de lang-cyclische producten genoemd onder 1.1. Buiten de berekening van CO₂-opslag en -emissies - noodzakelijk om de potentiële impact op de klimaatopwarming in te schatten - worden geen andere milieu-impactindicatoren behandeld. De genormeerde milieu-impactindicator *Global Warming Potential* (afgekort tot GWP) is hierna uitgedrukt in kilogram of ton CO₂-equivalent, afgekort tot kg of ton CO₂-eq.

2. Additionaliteit aan beleid

In Nederland wordt jaarlijks rond 1,4 miljoen m³ rondhout geoogst en verwerkt. Hiervan is geschat dat er 64% naar industriële rondhouttoepassingen gaat (gemiddeld 900.000 m³ jaarlijks). De resterende 36% procent van het geoogste rondhout heeft als eindtoepassing energie (gemiddeld 500.000 m³). Als gerekend wordt met een gemiddelde oventroge houtdichtheid van 500 kg/m³ en een gemiddeld koolstofgehalte van 50% kan het potentieel voor koolstofopslag in materialen van 1,4 miljoen m³ geoogst hout ruw geschat worden op ca. 1,28 miljoen ton CO₂-eq.

Het totale droge areaal van Rijkswaterstaat beslaat 15.281 ha. Hiervan is 2.348 ha houtopstand en 12.933 ha grasland en heide. De totale geschatte jaarlijkse koolstofopslag in de houtopstanden is geschat op 4.000 à 10.000 ton. De jaarlijkse hoeveelheid koolstof opgeslagen in graslanden bedraagt ca. 2.300 ton (bron: Koolstofopslag Rijkswaterstaat droog areaal, 2020, CBS). De 'graslanden' (CBS) van Rijkswaterstaat bevatten naast bermvegetatie meerdere vegetatietypen, waaronder veel 'houtige' typen (Aziatische duizendknoop, schermbloemigen, akkerdistel e.a.). Corré (2008) schatte het totale jaarlijkse oogstpotentieel van "bermgras" (wellicht bermmaaisel) in Nederland op 250.000 ton droge stof. Het grootste deel daarvan wordt gecomposteerd. RWS mikt voorshands op een verwerking van 5.000 à 10.000 ton droge stof per jaar van de eigen geoogste bermvegetatie in vezelproducten.

De CO₂-emissies van de omzetting naar compost en energie worden dus vermeden indien de biograndstoffen van Rijkswaterstaat worden gebruikt in bermvezel- en houtproducten (bron: Meer hoogwaardig gebruik van Nederlands hout, Probos, 2020, pagina 60).

Bermvegetatie en houtopstanden van RWS kunnen op drie manieren aan CO₂-reductie en -vastlegging bijdragen:

- 1) Enerzijds wordt CO₂ opgeslagen in bermvegetatie en in stam-, tak- en tophout dankzij fotosynthese. Er wordt zowel bovengronds als ondergronds CO₂ vastgelegd. Enkel bovengrondse biomassa wordt geoogst.
- 2) Geoogste bermvegetatie en stam- en tophout van bomen kan worden verwerkt in producten waar de gecapteerde CO₂ langdurig in opgeslagen blijft. Bij het oogsten, het verwerken en het vervoeren van de bermvegetatie en het hout en tijdens het fabricageproces van de biobased materialen komt anderzijds CO₂ vrij. Deze uitstoot is afhankelijk van het type brandstof (en smeermiddelen) voor trekkers, machines en vrachtwagens, de mate waarin zelfopgewekte groene stroom wordt gebruikt en van de emissies van de hulpgrondstoffen (lijmen, harsen, cement, kalk, zand, etc.). Per saldo is er sprake van een CO₂-emissiereductie – d.w.z. een netto onttrekking van CO₂ aan de atmosfeer – indien de opname van CO₂ door de plant en de opslag in het product hoger is dan de CO₂-uitstoot in de keten. Dit resulteert dan in een negatieve CO₂ balans.
- 3) Het inzetten van bermvegetatie en hout in materiaaltoepassingen (en ook als energiebron) vermijdt tenslotte ook CO₂-emissies van materialen die het vervangt die anders met fossiele grondstoffen en/of minerale delfstoffen en de benodigde energie worden gemaakt (vb. klassieke bouwmaterialen gemaakt uit staal, zand, cement, kunststoffen, etc.). Deze indirecte, netto emissiereducties worden gerealiseerd door substitutie van conventionele grondstoffen en producten met biogebaseerde grondstoffen en producten, of ook door vermeden emissies t.o.v. de reguliere, laagwaardige toepassingen (vb. mulch, compostering, stalbedding, verbranding).

Additionele, vermeden impacts mogen aan een project worden toegerekend wanneer de projecteigenaar invloed heeft op de processtappen. De netto positieve effecten dienen een verdienste van het project te zijn en ze moeten tot additionele emissiereducties leiden in vergelijking met de referentietoepassingen.

De emissies gegenereerd tijdens de aanplanting van bomen en de aanleg van bermen worden niet in beschouwing genomen. De droge beheersgebieden van RWS zijn indertijd niet primair aangelegd voor de productie van biomaterialen maar als landschapselementen langs wegen en kanalen. Het vigerende

oogstbeleid van bermvegetatie en houtopstanden wordt aangestuurd vanuit het optimaal bewaken van de verkeersveiligheid. Het gaat in dit project om de verlenging van de vastlegging van koolstof door toepassing van de gewassen als bio-based materiaal.

Tabel 1. Vermeden laagwaardige toepassingen en substitutie van referentieproducten door biobased producten op basis van bermvegetatie en stam- en tophout.

Grondstof	Vermeden laagwaardige toepassing	Substitutie van referentietoepassing	Biobased toepassing
Gezaagd stamhout	verbranden	Betonnen verdiepingsvloer	Zaaghoutroostering (CLS)
Gezaagd stamhout	verbranden	Betonnen balk, wand, verdiepingsvloer	Massieve CLT-vloerplaat
Verspaand stamhout	verbranden	Betonnen vloer of wand	OSB-plaat op CLS-roostering in houtskeletbouw vloertoepassing
Versnipperd tophout	verbranden, composteren	Betonnen blokken, geluidschermen	Houtvezelbetonblok of -geluidscherm
Gemalen bermvegetatie	composteren	Betonnen straattegel	Betonnen straattegel met grasvezels
Gemalen bermvegetatie	composteren	Aluminium verkeersbord	Hennep-Bermvezelcomposiet verkeersbord

Het gebruik van bermgras- en rondhoutproducten in biobased materialen is op dit moment geen onderdeel van het vigerende klimaatbeleid in Nederland. De baseline situatie is dus dat de in dit document behandelde biobased producten (tabel 1) niet regulier op de markt komen. Hierbij wordt uitgegaan van het huidige gebruik van nu gangbare conventionele producten in de markt als referentie. Toepassing van deze producten is niet verplicht op basis van regelgeving, noch is het onderdeel van de afspraken die vallen onder het klimaatakkoord of enig ander akkoord. Vanuit het huidige klimaatbeleid is het dus additioneel. Daarnaast kan het ook als additioneel worden aangemerkt omdat het geen gangbare praktijk is. De toepassing ervan is beduidend minder dan 20%¹ van de relevante situaties in Nederland (de door de SNK gehanteerde drempelwaarde hiervoor).

3. Projectgrens

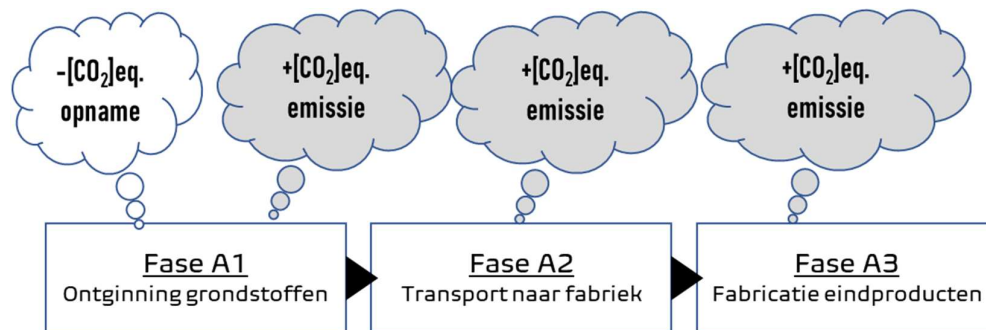
Het doel van het project is de bermvegetatie en het stam- en top hout van bomen, die jaarlijks geoogst worden door Rijkswaterstaat binnen zijn droge areaal, in te zetten als grondstof voor bouw- en infraproducten. De grondstoffen doorlopen daarbij een aantal processtappen in de productiefase. Het beschreven proces in dit Methodedocument begint vanaf de oogst van bermmaaisel en stam- en top hout van bomen uit het droge areaal van Rijkswaterstaat, zijnde het Hoofdwegennet, en eindigt bij de geselecteerde afgewerkte eindproducten (d.w.z. een levenscyclusanalyse “van wieg tot fabriekspoort”).

De productiefase vormt de systeemgrens waarbinnen voor elk eindproduct en elk referentieproduct een massabalans en een koolstofbalans wordt berekend om de netto-emissiereductie te bepalen. Voor elk eindproduct vermeld in de inleiding wordt een aparte berekening gemaakt, al is een aantal stappen voor bepaalde producten identiek.

3.1 Processtappen in de productiefase

De productiefase omvat drie deelfasen (zie figuur 1):

- A1: het oogsten en verzamelen van (hulp)grondstoffen
- A2: het transport van (hulp)grondstoffen naar de fabriek
- A3: fabricage van eindproducten in de fabriek



Figuur 1. Productiefase in een levenscyclusanalyse van wieg tot fabriekspoort.

In elke deelfase van de productiefase worden de hoeveelheden koolstof berekend die resulteren in koolstofopslag (negatieve CO₂-emissies) alsook de hoeveelheden die tijdens de procesactiviteiten worden uitgestoten (positieve CO₂-emissies). De som van deze hoeveelheden is de CO₂-balans uitgedrukt in kg CO₂-eq. Het eindtotaal is de netto potentiële bijdrage van het materiaal of product aan klimaatopwarming (GWP).

De netto hoeveelheid grondstoffen die in de productiefase nodig zijn (uitgedrukt in kg of ton, op droge stof basis of in verse toestand, d.w.z. met water) wordt in elke processtap bijgehouden. Hoeveelheden reststromen die niet in het eindproduct terecht komen vallen buiten de systeemgrens en worden niet meegenomen (vb. wortels van bomen en bermvegetatie, stamvoet van bomen) of afgetrokken (vb. zaagresidu's, procesverliezen) van de bruto hoeveelheid die in elke fase wordt berekend. Dit hoort bij het opmaken van de massabalans binnen de systeemgrenzen. Een accurate massabalans opstellen is essentieel voor de correcte berekening van de koolstofbalans.

De specifieke processtappen die door RWS worden gehanteerd in de drie deelfasen van de productiefase zijn in figuren 2, 3 en 4 afgebeeld, respectievelijk voor rondhoutproducten (OSB, CLT en CLS), houtvezelbeton en bermvezelproducten. Daarbij is schematisch weergegeven waar de koolstofopslag en koolstofemissies zich situeren in de productiefase.

3.1.1. Productiefase van bermvegetatieproducten

De oogst (A1) en het transport (A2) van bermmaaisel verloopt identiek in de productiefase van beide groepen van eindproducten op basis van bermvegetatie: bermvezelcomposieten en bermvezelbetonproducten. De eigenlijke fabricage van de eindproducten (A3) en de inname van de hulpgrondstoffen (A1-A3) wordt per eindproduct apart besproken, omdat de processtappen daar wel enigszins verschillen. Het globale proces is schematisch weergegeven in figuur 3.

Gemeenschappelijke stappen in de productiefase van grasvezelcomposiet en grasvezelbeton

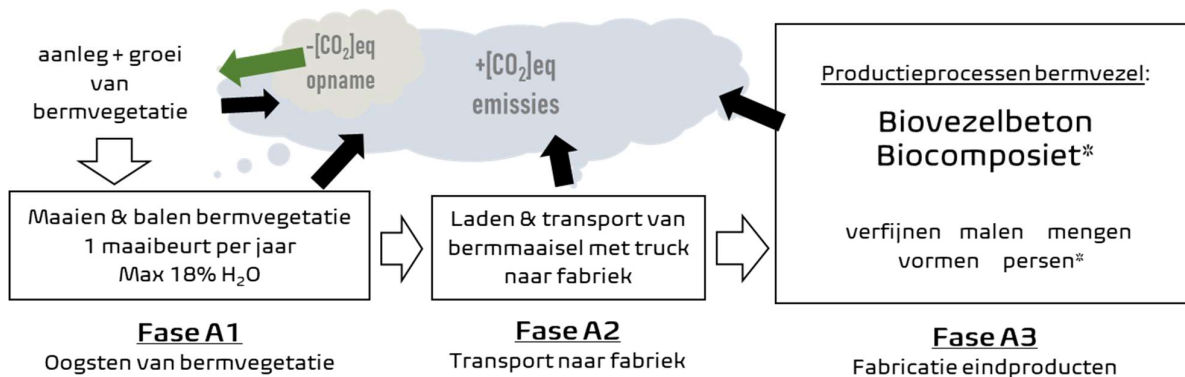
Bermvegetatie legt tijdens het groeiseizoen een zekere hoeveelheid koolstof vast in zowel bovengrondse als ondergrondse plantendelen, dankzij fotosynthese. Het bovengrondse deel wordt jaarlijks gemaaid en afgevoerd door RWS. Dit gebeurt meestal met een combi tractor met maaibalk en een gesloten aanhangwagen erachteraan zoals afgebeeld in figuur 2. RWS hanteert standaard één maaibeurt per jaar op een optimaal gekozen tijdstip, nl. wanneer het vochtgehalte van de vegetatie maximaal 18% (natte basis) bedraagt.



Figuur 2. Maaibeheer in opdracht van RWS.

Voorafgaand aan het transport naar de verwerkingslocatie is het aangewezen de geoogste verse bermvegetatie tot balen te persen. Dit verhoogt de totale massa van één lading gemaaid bermmaaisel aanzienlijk. Los ingeblazen gemaaid bermmaaisel heeft nl. een heel lage bulkdensiteit en vaak een hoog vochtgehalte.

Op de verwerkingsite (deelfase A3) wordt de bermvegetatie verfijnd door het voor te behandelen ("haybusteren", capaciteit 10 ton per uur) en vervolgens fijn te malen m.b.v. een hamermolen (1.5-2.0 ton per uur).



Figuur 3. Productiefase van vezelproducten op basis van bermvegetatie.

Onderscheiden processtappen in de productiefase van grasvezelproducten

Voor de productie van bermvezelbetontegels wordt 5-7 vol% (in de toekomst 12 vol%) van de fijne bermvezels (partikels) aan een betonmengsel toegevoegd en in de vorm van een tegel of klinker gegoten (voor wegverharding). Hierna dient het bermvezelbeton uit te harden. Daarbij verdwijnt een deel van het water uit het product.

Voor de productie van een driehoekig verkeersbord van hennep-bermvezelcomposiet wordt een mengsel van 11% bermvezelpartikels, 46% hennepvilt en 43% biohars geperst tot een 1-cm dikke plaat. Na het persen hardt het mengsel uit (via "curing" van het hars).

De ontginning van minerale grondstoffen (cement, zand, grind) nodig voor de vervaardiging en de levering van het betonmengsel en de ontginning van grondstoffen voor het vervaardigen van biohars voor het HGC biocomposiet leiden hier eveneens tot milieu-impacts in de productiefase, met name in termen van GWP. De CO₂-emissies worden verrekend in deelfasen A1, A2 en A3 (niet afgebeeld in figuur 3).

3.1.2. Productiefase van houtproducten

In de berekening van de emissiereductie van houtproducten zal een onderscheid worden gemaakt tussen de producten op basis van rondhout, afgeleid van stamdelen (massieve houtproducten, zie figuur 5), en producten op basis van houtsnippers, afgeleid van tophout (houtvezelbeton, zie figuur 6).

Processtappen in de productiefase van OSB, CLT en CLS

Bij de drie gekozen massieve houtproducten (figuur 5) verlopen de processtappen in de deelfasen A1 en A2 identiek: van kaprijpe bomen die een zekere hoeveelheid koolstof hebben vastgelegd in bovengrondse en ondergrondse delen wordt (A1):

1. Het bovengrondse deel (vanaf de stamvoet) in de ontginningsfase m.b.v. een kraan met grijparm en een mobiele kettingzaag geveld en omgelegd (zie links in figuur 4).
2. De geveldde bomen worden vervolgens opgedeeld in een stamdeel en tak- en tophout. Het stamdeel wordt ontdaan van takken en verdeeld in sortimenten met een typische lengte van 2.6 tot 4 meter.
3. Een forwarder (zie rechts in figuur 4) sleept deze verse (lees natte) boomdelen uit en stapelt ze aan de weg voor het laden en transporteren naar de verwerkingsite. Het laden gebeurt met een kraan, het transport per truck met aanhangwagen.

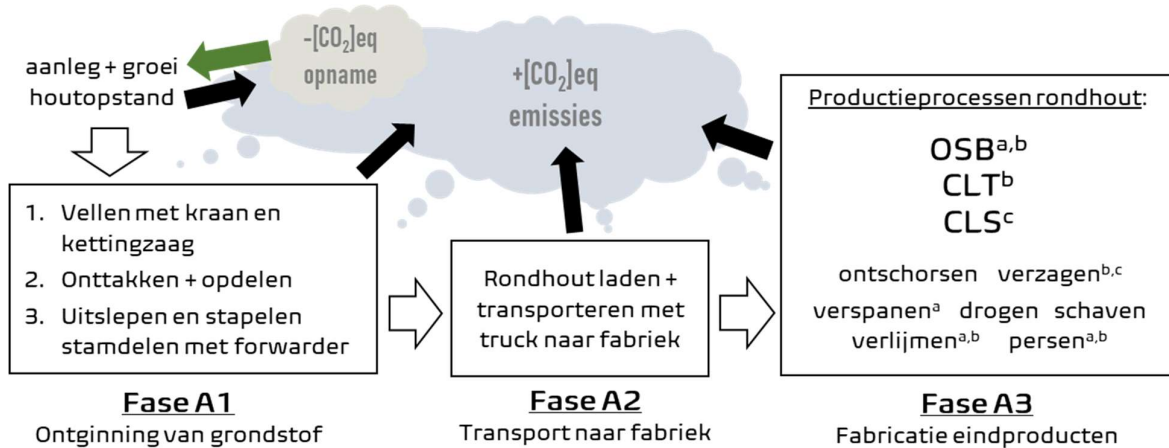


Figuur 4. Boomoogstwerkzaamheden in opdracht van RWS. Links: Kraan met grijpklauw (Volvo CE300) en kettingzaag gebruikt voor het vellen van bomen; Rechts: forwarder (Komatsu 865) voor het uitrijden van geveldde bomen (Foto's: Coos Aalbers, RWS).

In de eigenlijke productiestap (deelfase A3):

1. Worden de stamdelen op de verwerkingsite ontschorst.
2. Voor CLT en CLS productie worden de ontschorste stamdelen vervolgens verzaagd tot planken die gedroogd en geschaafd worden.
3. Verder worden de planken in de CLT fabricage kruislings gestapeld en gelijmd (eventueel d.m.v. kopse en zijdelingse vingerlassen) voorafgaand aan de persing tot panelen of balken (Stora Enso 2021).
4. Voor de verwerking in OSB worden de stamdelen verspaand, de spanen worden gedroogd, voorzien van lijm en uitgestrooid op de perslijn waar ze bij verhoogde temperatuur en druk tot een plaat worden geperst.

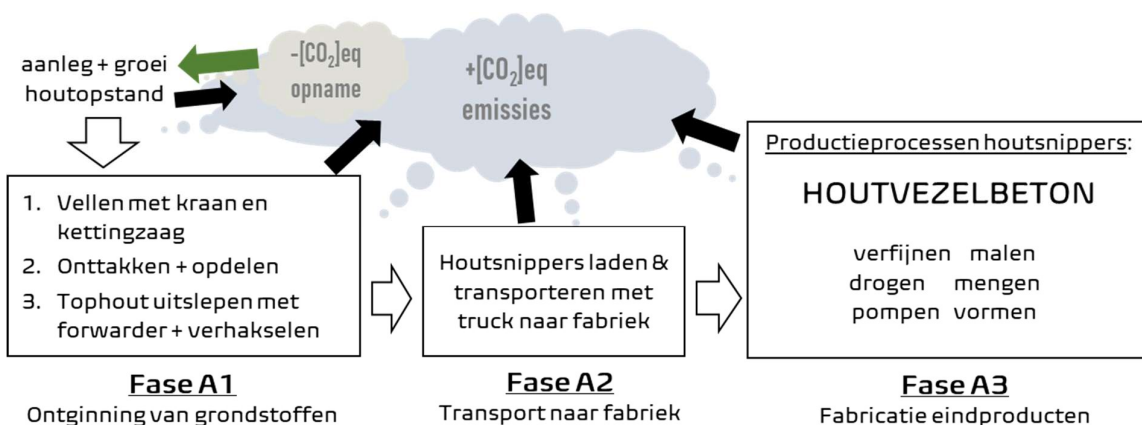
Het vers gezaagd hout en de verse houtspanen vereisen meestal een droging tot een houtvochtgehalte van maximaal 12% (op droge basis) aangezien de verse stamdelen bij levering tot wel 60% water kunnen bevatten (op natte basis). Kunstmatig, versneld drogen van hout is een processtap die veel energie vereist. Verder hebben de ontginning van (fossiele) grondstoffen, nodig voor de vervaardiging en de levering van harsen en lijmen gebruikt in de productie van OSB en CLT, een significante milieu-impact in de productiefase. De CO₂-emissies die ermee gepaard gaan worden eveneens verrekend in deelfasen A1, A2 en A3. In de productie van zaaghout (CLS) zijn geen lijmen en harsen vereist maar is drogen wel een cruciale en noodzakelijke stap om een goede kwaliteit te garanderen.



Figuur 5. Productiefase van rondhoutproducten (houtfractie).

Processtappen in de productiefase van houtvezelbeton

De eerste stappen in de productiefase van houtvezelbeton (zie figuur 6), tot aan het uitslepen met een forwarder, verlopen op dezelfde manier als voor de massieve houtproducten. Er wordt in het finale productieproces evenwel geen gebruik gemaakt van rondhout en harsen maar van het gehakselde tak- en tophout van geveldde bomen ("houtsnippers") en verder minerale bindmiddelen.



Figuur 6. Productiefase van houtvezelbeton (houtfractie).

Het bovengrondse deel van bomen (vanaf de stamvoet) wordt in de ontginningsfase A1 dus eveneens m.b.v. een kraan met grijparm en een mobiele kettingzaag geveld en omgelegd. De geveldde bomen worden

vervolgens opgedeeld in een stamdeel en tak- en tophout. Het tak- en tophout wordt verchipt en gehakseld en de houtsnippers (met schors) komen in één beweging in een laadbak van een truck terecht. Het verse (lees natte) versnipperde materiaal bevat zowel hout als schors van tak- en tophout en wordt met een truck met aanhangwagen naar de verwerkingssite gebracht.

Op de verwerkingssite (deelfase A3) worden de snippers verder verfijnd door ze te malen. Vervolgens worden de partikels gemengd met cement, hydraulische kalk en eventueel een pigment. Het mengsel wordt in een (plaat- of blok)vorm gegoten, ontworpen in functie van het eindproduct (vb. stootbanden of -blokken, geluidschermen, tegels voor wegverharding). Hierna dient het houtvezelbeton uit te harden. Daarbij verdwijnt een deel van het water uit het product.

Net zoals bij de ontginning en aanvoer van harsen en lijmen (bindmiddelen nodig voor OSB en CLT productie) leidt de ontginning van minerale grondstoffen (cement, kalk, erts) nodig voor de vervaardiging en de levering van de bindmiddelen tot een significante milieu-impact in de productiefase, met name in termen van GWP. De CO₂-emissies die ermee gepaard gaan worden eveneens verrekend in deelfasen A1, A2 en A3 (niet afgebeeld in figuur 6).

3.2 De functionele eenheid

Per project en per toepassing van bermvegetatie en hout dient een functionele eenheid te worden gedefinieerd. Waar de massabalans van de grondstoffen en de eindproducten in een massa-eenheid (kg of ton) wordt uitgedrukt zal als functionele eenheid 1 ton grondstof of 1 ton eindproduct worden aangenomen op droge stof (DS) basis. Waar kan aangenomen worden dat het biobased product het referentieproduct in zijn geheel vervangt zal als functionele eenheid 1 stuk gehanteerd worden. Voor bermvezelbetonproducten wordt gerekend met 1 m³ beton voor uitharding.

Om een correcte vergelijking en berekening van de additionaliteit mogelijk te maken dienen het biobased product en het referentieproduct voorts dezelfde technische levensduur (van minstens 10 jaar) te hebben, alsook eenzelfde functie en een gelijke functionele waarde (vb. dezelfde mechanische sterkte, hetzelfde draagvermogen, een vergelijkbare levensduur). De functionele eenheid is de eenheid op basis waarvan de vergelijking tussen emissies van conventionele- en bermvezel- en houtvezelproducten 1 op 1 opgaat.

Tabel 2: Functionele eenheid en levensduur van de referentieproducten en biobased producten

Productvergelijking	Functionele eenheid	Levensduur	Bron
HGC verkeersbord / Aluminium coil coated verkeersbord	1 verkeersbord	12 jaar	NIBE 2020, Ecochain 2021
bermvezelbetontegel / Klassieke betontegel	1 m ³ tegel	25 jaar	Alba concepts/Biobound
Verdiepingsvloer uit CLS en OSB / Betonnen kanaalplaatvloer	1 m ² verdiepingsvloer	100 jaar	Stora Enso 2021, Norbord 2021, VBI 2020a
Verdiepingsvloer uit CLT / Betonnen kanaalplaatvloer	1 m ² verdiepingsvloer	100 jaar	Stora Enso 2022, VBI 2020a
Betonnen geluidscherm, met / zonder houtvezels	1 m ³ geluidscherm	40 jaar	Isotex 2021, Agresta 2018, Fedbeton 2021

In de berekening van de emissiereductieberekening dient rekening te worden gehouden met de technische levensduur van het biobased product en die van het referentieproduct. Er wordt in dit Methodedocument aangenomen dat bij elke set van referentieproduct en biobased vervangproduct dezelfde technische levensduur geldt voor beide producten. Zo dit niet geldt, is het nodig om de footprint van twee producten

die ingezet worden in dezelfde toepassing met elkaar te vergelijken, de CO₂-opslag en CO₂-emissies om te rekenen naar kg CO₂-eq. per functionele eenheid en per jaar.

Het is mogelijk om binnen een project een andere functionele eenheid te gebruiken, mits duidelijk onderbouwd met omrekenfactoren (vb. van ton grondstofinput naar m³ eindproductoutput, en andersom).

3.3 Systeemgrens en brongegevens

Zoals eerder in dit hoofdstuk is beschreven werd een systeemgrens eigen aan een LCA van wieg tot fabriekspoort (met opties) gekozen: uitsluitend de productiefase wordt geanalyseerd. De constructiefase, de gebruiksfase en de levenseindfase zijn meestal sterk onderhevig aan scenario's en vallen in dit project buiten de systeemgrens. Voor elk biobased product worden de emissies dus vergeleken met die van het gekozen referentieproduct in de deelfasen A1, A2 en A3.

Scenario-afhankelijke emissiereductiewinsten (of -verliezen) in de distributie van biobased producten of het transport naar de werf (LCA-deelfase A4) en in het transport van (sloop)afval naar een afvalverwerkingsite aan het einde van de functionele levensduur (LCA-deelfase C2 in de levenseindfase) werden niet berekend.

Voor de bepaling van de emissiewaarden werd gekozen voor het gebruik van specifieke data van het eigen project (d.w.z. primaire data van RWS), eventueel aangevuld met default waarden (secundaire data) voor specifieke parameters die niet bekend zijn vanuit het eigen project.

In Europa wordt voor milieuprestatieberekeningen van bouwproducten gebruik gemaakt van de EN 15804. Ook in Nederland is de MPG methode op deze Europese norm gebaseerd. Als uitgangspunt van deze verkenning is gekozen voor aansluiting op de EN 15804 en is gekeken naar methoden en onderzoeken die op de EN 15804 gebaseerd zijn of in lijn zijn met deze norm, zoals EPD (Environmental Product Declarations) voor de productcategorie bouwmaterialen.

4. Baseline-emissies binnen de projectgrens

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 tussenfasen). Voor elk gekozen product zal de berekening voor de aanvraag van het certificaat met deze gegevens worden onderbouwd.

Het baseline scenario is dat de bestaande conventionele (referentie)producten in de markt niet vervangen worden. De baseline emissies zijn in dat geval afhankelijk van het beschouwde product.

Anderzijds wordt geoogst bermmaaisel nu standaard gecomposteerd. Emissies vermijden die veroorzaakt worden door compostering (CO₂, methaan, lachgas) is het baseline scenario dat in dit Methodedocument genomen is voor bermvegetatie. Niet oogsten van bermvegetatie is ook een mogelijk baseline scenario. Maar dit is niet realistisch, alleen al omwille van de verkeersveiligheid.

4.1. Baseline vermeden emissies

4.1.1. Vermeden emissies door bermvegetatie niet te composteren

Bermmaaisel van RWS wordt na de oogst standaard afgevoerd naar een composteringsinstallatie. Zou dit in de toekomst niet gebeuren maar bermvegetatie ingezet worden als grondstof in biomaterialen (zoals de in dit Methodedocument beschreven bermvezelbetontegels en het HGC composiet verkeersbord), dan zullen emissies van broeikasgassen vermeden worden. RWS heeft becijferd dat per ton DS bermvegetatie gemiddeld 108 kg CO₂-uitstoot kan worden vermeden doordat er geen lachgas-, methaan- en CO₂-emissies plaatsvinden die eigen zijn aan het composteringsproces (incl. energieverbruik van het materieel).

Anderzijds moet de emissiewinst (d.w.z. een negatieve emissie) die gerealiseerd kan worden door het gebruik van compost eveneens in rekening worden gebracht daar die evengoed CO₂-opslag bevordert - nl. in de bodem. Door het ontbreken van rechtstreeks toepasbare literatuurgegevens hierover heeft RWS zelf een schatting gemaakt van de effectieve organische stof (EOS) die rest in groencompost na 1 jaar, 12 jaar en 25 jaar in de bodem (zie bijlage 3). RWS becijferde dat er per ton DS bermvegetatie met een asgehalte van 9%, 6% en 3% respectievelijk ca. 286, 295 en 305 kg CO₂ opgeslagen blijft als EOS na 12 jaar in de bodem. Na 25 jaar rest respectievelijk ca. 220, 227 en 234 kg CO₂ van de compost als EOS in de bodem. In de emissiereductieberekeningen wordt per ton DS van de verwerkte bermvegetatie 295 kg CO₂ afgetrokken van de bijdrage aan de CO₂ opslag in het HGC verkeersbord en 227 kg CO₂ voor de betontegel met bermvezels. D.w.z. dat een gemiddeld anorganisch stofgehalte van 6% wordt aangenomen.

4.1.2. Vermeden emissies door stam- en tophout niet te verbranden

Bij verbranding van de door bomen vastgelegde biogene C in geogoste componenten – elk jaar leggen bomen tijdens het groeiseizoen een hoeveelheid CO₂ vast via het fotosyntheseproces – komt een equivalente hoeveelheid CO₂ vrij door oxidatie van C tot CO₂. De netto broeikasgasbalans is dan in principe een nuloperatie (Groeneveld en Brinkmann 2015). Door geogoste houtige biomassa aan te wenden als grondstof voor biomaterialen wordt evenwel een biobrandstofstroom afgeleid die het potentieel heeft om aardgas te vervangen in warmte-opwekking.

In bijlage 4 is berekend dat er per geogoste ton stam- of tophout (met een vochtgehalte van 50%) die in een hoogrenderende biomassaketel wordt verbrand voor warmte-opwekking, een fossiele uitstoot van 8,8 kg CO₂ afkomstig van aardgasverbranding kan worden vermeden. Dit betekent dat er per ton DS stam- of tophout die niet ingezet wordt als biobrandstof een fossiele emissie van 17,6 kg CO₂ als opportuniteitskost afgetrokken moet worden van eventuele emissiereductiewinsten. Energieverbruik en CO₂-uitstoot verbonden met het voorbereiden van hout en schors voor biobrandstofdoeleinden – verchippen en/of vermalen – worden gelijk beschouwd als de voorbereidingsstappen van de houtproducttoepassingen. Ze genereren m.a.w. geen extra emissies.

4.2. Baseline emissies van referentieproducten voor bermvezelproducten

4.2.1. Aluminium coil coated verkeersbord

Er wordt in dit Methodedocument een vergelijking gemaakt tussen enerzijds een standaard categorie III aluminium (ALU) coil coated verkeersbord dat bevestigd is op een metalen paal met metalen bindingen en, anderzijds, een hennep-/bermvezelcomposiet (HGC) verkeersbord met dezelfde driehoekige vorm en afmetingen (zijden van 1100 mm), dat bevestigd is op eenzelfde type paal en op dezelfde manier afgewerkt is als het ALU verkeersbord, nl. met een bedrukte folie ('sign face'). De milieu-impacts van de paal, de bevestiging en de afwerking mogen dus genegeerd worden in de vergelijking, daar er voor deze onderdelen geen wijziging plaatsvindt. De levensduur van het verkeersbord wordt bepaald door de levensduur van de coating/folie (12 jaar; NIBE 2021).

Een driehoekig ALU bord van coil coated 2 mm dik aluminium weegt 3,36 kg en emitteert 40,2 kg CO₂-eq in fasen A1 tot A3 (van wieg tot fabriekspoort, tabel 5.12 in NIBE 2020).

4.2.2. Klassiek betonmengsel voor productie van wegverharding (tegels)

Als referentieproduct voor bermvezelbeton wordt een volle klassieke betontegel beschouwd. De eigenlijke vervaardiging (in een fabriek of in-situ) van een tegel(element) wordt tot de constructiefase gerekend en wordt hier niet beschouwd, i.e. het basis referentieproduct is een klassiek betonmengsel dat voor diverse bouwtoepassingen geschikt is en waarin natuurlijke of kunststofvezels kunnen worden bijgemengd.

Als referentiedocument wordt een EPD gebruikt die van toepassing is op meer dan 120 Belgische betonproducenten, opgesteld voor de Belgische vzw FEDBETON en geldig tot 20.12.2024. De fasen A1 tot A3

werden hierin geanalyseerd en de EPD wordt als representatief beschouwd voor de Nederlandse betonmarkt. Het betreft een LCA van wieg tot fabriekspoort (met opties). De functionele eenheid is 1 m³ nat betonmengsel met de volgende samenstelling vóór de uitharding: 13% cement, 35% zand, 44% gravel, 7% water en <1% additieven (Fedbeton 2021).

De productie van 1 m³ klassiek betonmengsel met een droog gewicht van 2370 kg emitteert 201,95 kg CO₂ eq in fasen A1 tot A3 (Fedbeton 2021).

4.3. Baseline emissies van referentieproducten voor houtproducten

4.3.1. Betonnen verdiepingsvloer uit kanaalplaten

Als referentieproduct en -toepassing voor enerzijds CLT-panelen en anderzijds gezaagde houten balken (CLS of SLS) en OSB-platen wordt een vergelijking op elementniveau in gebouwen beschouwd, door een verdiepingsvloer opgebouwd uit een roostering van CLS-balken en OSB-platen (erop bevestigd met houten nagels van Lignoloc™ - Nova 2019) te vergelijken met een verdiepingsvloer opgebouwd uit betonnen kanaalplaten van 150 mm dik. Op dezelfde manier wordt zo'n betonnen verdiepingsvloer gemaakt uit aan elkaar gevoegde kanaalplaten als referentie-element gebruikt voor CLT-panelen toegepast in verdiepingsvloerelementen, wat reeds courant gebeurt in de massieve houtbouw.

Kanaalplaatvloeren zijn vrijdragende systeenvloeren van voorgespanssen prefab beton, gewapend met staal. De elementen zijn voorzien van holle kanalen waarmee circa 40% gewichtsreductie kan worden bereikt (t.o.v. massieve betonvloeren). Kanaalplaatvloeren zijn geschikt voor het overbruggen van overspanningen van 5 tot 18 meter (afhankelijk van de dikte). De werkende breedte van de vloerelementen is standaard 1200 mm. (VBI-)kanaalplaten van 150 mm dik hebben een massa van 268 kg/m² en behoren tot de sterkteklasse C40/50 (VBI 2020b). Voor overspanningen met een relatief beperkte lengte (van 4 tot 6 meter) kunnen de houtproductelementen als evenwaardig bouw materiaal aangenomen worden voor een verdiepingsvloer in zowel houtskeldebouw als in massieve houtconstructies. CLT-panelen worden gefabriceerd in lengtes tot 16 m.

Als functionele eenheden worden aldus beschouwd:

- 1 m² verdiepingsvloer bestaande uit de twee houtproducten, nl. CLS van 38 mm x 285 mm x 4500 mm en OSB-platen van 18 mm dikte, verbonden met behulp van houten nagels;
- 1 m² verdiepingsvloer opgebouwd uit CLT-platen van 160 mm dik en een overspanning van 4500 mm;
- 1 m² verdiepingsvloer gemaakt uit kanaalplaten van 150 mm dik - inclusief wapening en voegvulling - en een overspanning van 4500 mm;

Alle beschouwde elementen kennen hun toepassing in Nederland en worden beschouwd met een technische levensduur van 100 jaar (Stora Enso 2020, VBI 2020a).

In de productiefase wordt volgens VBI (2020a) 37,54 kg CO₂-eq uitgestoten per m² gefabriceerde kanaalplaatvloer van 150 mm dik: 31,2 kg CO₂-eq in de ontginningsfase (A1), 1,56 kg CO₂-eq in de transportfase (A2) en 4,78 kg CO₂-eq tijdens de fabricage (A3). De CO₂-uitstoot neemt in de productiefase toe naarmate de dikte van de kanaalplaatvloer toeneemt: per m² vloeroppervlakte nemen de emissies gemiddeld toe met ca. 0,215 kg CO₂-eq voor elke toename van de dikte van de kanaalplaten met 1 mm.

Het gebruik van lichtere houtbouwmaterialen en -(vloer)elementen vereist minder fundering waardoor direct en indirect bespaard kan worden op emissies geassocieerd met de productiefase van cement, stenen en zand. Voorts is tijdens de distributiefase (in A4, van de fabriek of van de materiaalleverancier naar de werf) de getransporteerde belasting van biomaterialen (CLS en OSB) doorgaans lager dan die van klassieke betonproducten. Lichtere transporten gelden ook voor het afvoeren van (sloop)afval in de LCA-deelfase C2 in de levenseindfase. Emissiereducties in andere LCA-deelfasen zijn mogelijk maar hangen af van het

beschouwde scenario in de eindtoepassing. Dit betreffen allemaal directe en indirecte emissiereducties buiten de systeemgrenzen, ze worden derhalve niet in rekening gebracht. Emissiereducties door lichtere transporten en lichtere biobased constructies zijn sterk onderhevig aan scenario's en het type constructie waardoor ze moeilijk te kwantificeren zijn en hier eveneens (voorlopig) buiten beschouwing gelaten worden.

4.3.2. Betonnen geluidscherm

Voor de productie van betonnen geluidschermen worden dezelfde aannames gevolgd als beschreven in 4.2.2 (4.2.2. Klassiek betonmengsel voor productie van betontegels). De productie van 1 m³ klassiek betonmengsel met een droog gewicht van 2.370 kg emitteert 201,95 kg CO₂-eq in fasen A1 tot A3 (Fedbeton 2021).

5. Opslag en -emissies binnen de projectgrens

5.1. CO₂-vastlegging

Zowel bermvegetatie als hout zijn natuurlijke lignocellosematerialen. Tijdens de groei van bermvegetatie en bomen wordt CO₂ gecapteerd en vastgelegd onder vorm van koolstof in lignine, cellulose en hemicellulose, dankzij het fotosyntheseprocess. Deze opgeslagen "biogene" koolstof vloeit na de oogst van bermvegetatie en hout door de productieketen heen en een deel ervan komt in het eindproduct terecht. Deze hoeveelheid koolstof staat in rechtstreekse verhouding tot de hoeveelheid droge stof (bermvegetatie of houtgrondstof) die nodig is om een eindproduct te vervaardigen. Bij lang-cyclische producten blijft CO₂ voor minstens 10 jaar opgeslagen in de producttoepassing.

De hoeveelheid biogene koolstof (C) - en het afgeleide CO₂-equivalent - die wordt opgenomen door de plant is via wetenschappelijk onderzoek en d.m.v. labanalyses vastgesteld en kan in databanken worden opgezocht voor verschillende types van plantenbiomassa (bijvoorbeeld in phyllis.nl).

Tabel 3. Gemiddeld koolstofgehalte en CO₂-opslagpotentieel van de gebruikte biogroundstoffen.

biogroundstof	C-gehalte (% DS)	CO ₂ -opslag (kg CO ₂ /kg DS)	bron
hout	47,5	1,74	Phyllis, Dryad
bermvegetatie	43,5	1,60	Phyllis
hennepvilt	49,0	1,80	Phyllis

De typische waarden in tabel 3 zijn bepaald op droge stof basis en houden rekening met het asgehalte (vooraf afgetrokken van het totaal, de zogenaamde asvrije samenstelling). Met name bij bermvegetatie kan het (minerale) asgehalte hoog zijn (typisch 3 tot 10%, soms meer). Hoe hoger het asgehalte, hoe lager het koolstofgehalte van een hoeveelheid droge biomassa. Het koolstofgehalte van hennepvilt is hoger dan dat van hout en bermvegetatie, o.a. omdat het asgehalte van bastvezels laag is (<1%).

5.2. CO₂-opslag en -emissies van bermvegetatieproducten

5.2.1. Hennep-/bermvezelcomposiet (HGC) verkeersbord

Een driehoekig HGC verkeersbord weegt 5,5 kg en emitteert 11,58 kg CO₂-eq in fasen A1 tot A3 (van wieg tot fabriekspoort, tabel 11 in Ecochain 2021).

Elke kg bermvegetatie en elke kg hennepvilt die verwerkt worden in het HGC verkeersbord leggen respectievelijk 1,6 kg en 1,8 kg CO₂ vast voor minstens 10 jaar. Ook het (biobased) hars legt 1,234 kg CO₂ vast per kg hars, op droge stof basis. Dit komt neer op een totale CO₂-opslag van 7,94 kg per HGC verkeersbord van 5,5 kg (4,633 kg in hennepvilt, 1,030 kg in bermvezels en 2,278 kg in het hars).

5.2.2. Tegel van grasvezelbeton

Bermvezelbeton wordt al op commerciële schaal toegepast in Nederland, met name in toepassingen waarin vezels van Miscanthus (Olifantsgras) bijgemengd worden in betonproducten voor infrastructuur en wegen, o.a. voor semipermeabele versteviging van bermen. Dergelijk uitgehard vezelbeton heeft een typische dichtheid van 1.850 tot 1.900 kg/m³. Er is vastgesteld dat bijmenging tot 4% DS olifantsgrasvezelpartikels (ca. 75 kg/m³) het vezelbetonproduct niet alleen lichter maakt – wat voordelen biedt wanneer het product getransporteerd wordt naar de eindbestemming - maar ook resulteert in een hogere druk-, trek- en buigsterkte (Acikel 2011). Biobound betonproducten zouden volgens Alba Concepts en Mandel (2022) tot 50% Miscanthus bevatten.

RWS voorziet voor toepassing in bermvezelbetontegels tot 12 vol% van de fijne vezels (of -partikels) aan het betonmengsel toe te voegen, o.a. bruikbaar voor weg- of bermverharding (Morssinkhof Beton, 2022). Voor de omrekening van volumeprocent naar massaprocent wordt voor compacte bermvezelpartikels een basisdichtheid van 750 kg/m³ aangenomen: 12 vol% stemt dan overeen met 90 kg droge bermvezels per m³ bermvezelbeton.

Met een koolstofgehalte van 1,596 kg CO₂-eq. per kg DS bermvegetatie (tabel 3) wordt een C-opslag in 90 kg droge bermvegetatie aangenomen van 143,68 kg CO₂-eq. per m³ bermvezelbeton.

Verwerking van bermvegetatie tot partikels van 5-20 mm (verwerking = oogst, balen, 52 km transport, Haybuster + vermalen met een hamermolen op elektrische energie) emitteert 25,0 kg CO₂-eq. per ton DS bermvezel. Dit herleidt zich tot een uitstoot in de productiefase (A1 tot A3) van 2,25 kg CO₂-eq. per m³ bermvezelbeton (= 25 x 0,09).

Een kubieke meter klassiek betonmengsel heeft een droog gewicht van 2.370 kg (Fedbeton, 2021). Er wordt per m³ beton 284,4 kg van de minerale fractie (12% van 2.370 kg) vervangen door 90 kg bermvezelpartikels. De niet-vezelfractie in 1 m³ van het bermvezelbetonproduct bestaat dus uit 2.085,6 kg minerale componenten. Een kubieke meter bermvezelbeton en daarvan gemaakte tegels heeft dus een massa van 2.175,6 kg, wat een gewichtsreductie van ruim 8% betekent t.o.v. het klassieke product zonder bermvezels.

Er is vastgesteld dat toevoeging van bermvezel de sterkte van het beton verhoogt, zodat er minder cement nodig is in het product: 1 ton grasvezels bespaart ca. 0,9 ton cementklinker, met behoud van de sterkte (Morssinkhof Beton, 2022). Per kubieke meter bermvezelbeton is zo 81 kg minder cementklinker nodig (90 kg grasvezel x 0,9 kg cementklinker per kg grasvezel). De ontginningsfase van cementklinker emitteert 30,0 kg CO₂ eq., tijdens het transport van de grondstoffen naar de fabriek wordt 1,38 kg CO₂ eq. uitgestoten en in de productie van cementklinker, tenslotte, wordt de hoofdmoot van de gehele productiefase 877,0 kg CO₂ eq. geëmitteerd (Mercem 2021). De productiefase van 1 ton cementklinker emitteert dus in totaal ca. 900 kg CO₂-eq. (Xavier en Oliveira 2021). De CO₂-emissie van 1 m³ bermvezelbeton kan daarom met 72,9 kg CO₂-eq. verminderd worden (81 kg cementklinker x 0,9 kg CO₂-eq. per kg cementklinker). In Nederland bevat cement gemiddeld 46% cementklinker (Xavier en Oliveira 2021). Beton met 12 vol% bermvezel bevat na de substitutie van 81 kg nog 73,4 kg cementklinker. De rest van het door bermvezels vervangen beton (203,4 kg) bestaat uit andere cementfracties, zand, gravel en additieven met een emissiebijdrage - op basis van eigen berekeningen en gegevens van Fedbeton 2021 en Xavier en Oliveira 2021 - van 0,028 kg CO₂ per kg in de productiefase (dus 5,79 kg CO₂ in totaal).

De productie van 1 m³ klassiek betonmengsel met een droog gewicht van 2.370 kg emitteert 201,95 kg CO₂ eq. in fasen A1 tot A3 (Fedbeton 2021). De totale emissie van 1 m³ bermvezelbeton bedraagt 125,52 kg CO₂ eq. (201,95 - 72,9 - 5,79 + 2,25).

5.3. CO₂-opslag en -emissies van houtproducten

5.3.1. Verdiepingsvloerelement uit gezaagde balken (CLS/SLS) en OSB-platen

Voor de emissiereductieberekeningen t.o.v. conventionele referentieproducten wordt voor gezaagde houten balken (CLS of SLS) en OSB-platen een vergelijking op elementniveau beschouwd in woningen, door een verdiepingsvloer opgebouwd uit een roostering van CLS-balken en OSB-platen erop bevestigd met houten nagels (Lignoloc™) – typisch voor houtskeletbouw - te vergelijken met een verdiepingsvloer opgebouwd uit betonnen kanaalplaten van 150 mm dik.

De houten balken (CLS) en OSB-platen worden gefabriceerd uit stamhout. De aangenomen ratio stamhout : tophout is 67 : 33. Het stamhout is met behulp van een kettingzaag, kraan met grijpklaauw en een forwarder geoogst. Het transport naar de zagerij en OSB-fabriek gebeurt per truck (> 32 ton) over een instelbare afstand. De harsen gebruikt in de fabricage van OSB zijn van fossiele oorsprong. De emissies van ontginning en transport van lijm werden in rekening gebracht. De Lignoloc nagels worden gefabriceerd in Oostenrijk en zijn gemaakt uit gecompriemd gelamelleerd beukenhout. Rondhoutstammen worden geladen en getransporteerd met een truck met aanhangwagen (32 ton laadvermogen), met een laadfactor van 50% over een gemiddelde transportafstand van 75 km. Voor het laadgewicht (32 ton verse stammen) is een variabel instelbaar vochtgehalte voorzien. De emissies zijn inclusief emissies van transport van kraan en forwarder op een truck en emissies van personenvervoer met bestelwagen (diesel), maar exclusief emissies van intern transport op de verwerkingssite (op basis van data van CO₂emissiefactoren.nl). Fabricage in de zagerij, inclusief emissies door energieverbruik voor zaag- en schaafmachines, het droogproces, etc. (uit EPD). De emissies berekend voor de productie van OSB in de fabriek zijn inclusief emissies door energieverbruik voor ontschorsen, verspaning, het droogproces, etc. (uit EPD Norbord, 2020).

De koolstofopslag in de houtfractie van gezaagde houten balken en OSB is geschat op 1,74 kg CO₂-eq. per kg DS (tabel 3). De biogene CO₂-opslag bedraagt -720,4 kg CO₂-eq. per m³ CLS en -829,30 kg CO₂-eq. per m³ OSB. Hierbij is aangenomen dat naaldhout met een dichtheid van 470 kg/m³ is gebruikt voor de productie van CLS-balken en naaldhout met een dichtheid van 500 kg/m³ voor de OSB-productie.

De totale CO₂-emissie bedraagt in de productiefase (A1 tot A3) 166,05 kg CO₂-eq. per m³ CLS en 92,93 kg CO₂ eq. per m³ OSB.

De dikte-, breedte- en lengte-afmetingen van de CLS-balken in de roostering bedragen 38 mm x 285 mm x 4.500 mm. Een CLS-balk heeft aldus een volume van 0,04874 m³. Bij een hart-op-hart afstand van 400 mm zijn per m² verdiepingsvloer gemiddeld 2,5 CLS balken nodig. Dat brengt het volume van de CLS-balken in 1 m² verdiepingsvloer op 0,027 m³.

De OSB-platen hebben een dikte van 18 mm. In een stapel OSB-platen van 1.000 mm hoog passen 55,56 platen. Dit is de omrekenfactor nodig voor conversie van CO₂-emissies en -opslag uitgedrukt per m³ naar per m².

De OSB-platen zullen bevestigd worden op de roostering van houten balken met houten nagels van het merk Lignoloc. Volgens een LCA van het Nova Instituut (NOVA 2019) bedraagt het GWP in de productiefase van één Lignoloc nagel 0,00297 kg CO₂-eq. Er wordt om de 15 cm een houten nagel met een nagelpistool ingeschoten. Per m² worden aldus 16,7 houten nagels gebruikt.

Met deze gegevens kunnen de volgende basiscijfers berekend worden op het niveau van de functionele eenheid, 1 m² houten verdiepingsvloerelement uit CLS en OSB met een technische levensduur van 100 jaar:

- De biogene CO₂-opslag bedraagt in totaal -34,38 kg CO₂-eq. per m² (-19,51 kg in de CLS-balken; -14,93 kg in de OSB-platen; -0,05 kg in de Lignoloc nagels).
- Het totale broeikaseffect (GWP) gecreëerd in de productiefase (A1 tot A3) bedraagt 21,95 kg CO₂-eq. per m² (4,50 kg door de CLS-balken en 1,67 kg door de OSB-platen, 0,05 kg door de houten nagels).

5.3.2. Verdiepingsvloerelement uit CLT

Op dezelfde manier als beschreven in 4.2.1 zal de betonnen verdiepingsvloer gemaakt uit aan elkaar gevoegde kanaalplaten als referentie-element gebruikt worden voor de vergelijking met een verdiepingsvloer uit CLT-panelen. CLT-panelen worden in Europa (en ook daarbuiten) reeds courant toegepast als vloer-, wand- en dakelementen in de massieve houtbouw. CLT-panelen bestaan uit 3, 5 of 7 lagen kruislings op elkaar gelijmde balkjes en kunnen worden geleverd met verschillende diktes, op lengtes tot 16 meter en breedtes tot 4 meter. De beschouwde functionele eenheid in het Methodedocument is 1 m² CLT van 160 mm dik gebruikt als massief houten vloerelement, met een vochtgehalte op droge basis van 12%.

De koolstofopslag in de houtfractie van CLT is geschat op 1,74 kg CO₂-eq. per kg DS (tabel 3). De biogene CO₂-opslag bedraagt -712,2 kg CO₂-eq. per m³ CLT. Hierbij is aangenomen dat naaldhout met een ovendroge dichtheid van 470 kg/m³ is gebruikt (CLT 2021).

De totale CO₂-emissie bedraagt in de productiefase (A1 tot A3) 146,64 kg CO₂-eq. per m³ CLT.

Er wordt gekozen voor een 5-laagse CLT met een dikte van 160 mm (CLT 2021). In een stapel CLT-platen van 1000 mm hoog zitten gemiddeld 6,67 platen. Dit is de omrekenfactor nodig voor conversie van CO₂-emissies en -opslag uitgedrukt per m³ naar m².

Met deze gegevens kunnen de volgende basiscijfers berekend worden op het niveau van de functionele eenheid, 1 m² houten verdiepingsvloerelement uit CLT met een technische levensduur van 100 jaar:

- De biogene CO₂-opslag bedraagt in totaal -106,83 kg CO₂-eq. per m².
- Het totale broeikas effect (GWP) gecreëerd in de productiefase (A1 tot A3) bedraagt 22,00 kg CO₂ eq. per m².

5.3.3. Geluidsscherm van houtvezelbeton

Volgens een EPD van de Italiaanse producent van Isotex geluidschermen, type S20, zitten er 38,25% DS gemalen houtvezels in het uitgeharde kalk-betonproduct. De technische levensduur van zo'n geluidsscherm wordt op 40 jaar geschat. De volledige samenstelling (in massa%) is als volgt: 55,72% Portland cement, 5,7% hydraulische kalk, 38,25% (naald)houtvezels en 0,32% FeO pigment (Isotex 2021). De beoogde betonnen geluidsschermen met houtvezels van RWS zullen evenwel minder houtvezels bevatten. Omdat er in de EPD van Isotex voorts geen detailcijfers gegeven worden over het GWP in deelfasen A1, A2 en A3 en ook niet voor het hout en de minerale componenten afzonderlijk worden verder de emissiecijfers van Fedbeton (2021) gebruikt (zie 4.2.2). Het droge Fedbeton-mengsel bevat geen hydraulische kalk, 14% cement, 38% zand, 47% stenen en >1% additieven. De productiefase van 1 m³ klassiek betonmengsel met een droog gewicht van 2370 kg emitteert 201,95 kg CO₂-eq in fasen A1 tot A3 (Fedbeton 2021).

RWS voorziet voor toepassing in grasvezelbetontegels tot 12 vol% van de fijne grasvezels (of -partikels) aan het betonmengsel toe te voegen, o.a. bruikbaar voor weg- of bermverharding (Ijzerman 2022). Er wordt hier hetzelfde vervangingspercentage aangenomen voor het houtvezelbeton geluidsscherm. Voor de omrekening van volumeprocent naar massaprocent wordt voor compacte houtpartikels een basisdichtheid van 1.100 kg/m³ aangenomen: 12 vol% stemt dan overeen met 132 kg DS per m³ houtvezelbeton. De niet-houtfractie in 1 m³ van het houtvezelbetonproduct bestaat uit 2.085,6 kg minerale componenten (88% van 2370). Een kubieke meter houtvezelbeton en daarvan gemaakte geluidschermen hebben dus een massa van 2.217,6 kg, wat een gewichtsreductie van ca. 6% betekent t.o.v. het klassieke product zonder houtvezels.

De emissie van de minerale component wordt geschat op 177,72 kg CO₂-eq. per m³ geluidsscherm gemaakt van houtvezelbeton (88% van 201,95 kg).

Met een koolstofgehalte van 1,743 kg CO₂-eq. per kg DS tophout (tabel 3) wordt de C-opslag in 132 kg DS geschat op 230,1 kg CO₂-eq. per m³ houtvezelbeton. Hierbij is aangenomen dat hout met een dichtheid van 500 kg/m³ is gebruikt.

De houtvezels worden bekomen uit tophout. De aangenomen ratio stamhout : tophout is 67 : 33. Het GWP van verchipt en gemalen tophout voor verwerking in houtvezelbetontoepassingen wordt geschat op 310 kg CO₂-eq. per ton DS tophout. Dit resulteert in bijdrage tot het broeikaseffect door de houtcomponent in het droge houtvezelbetonproduct van 40,92 kg CO₂-eq. per m³ geluidscherm gemaakt van houtvezelbeton (12 vol%).

Er is vastgesteld dat toevoeging van bermvegetatievezel de sterkte van het beton verhoogt, zodat er minder cementklinker nodig is in het product: 1 ton grasvezels bespaart ca. 0,9 ton cementklinker met behoud van de sterkte (Morssinkhof Beton, 2022). De productie van 1 ton cementklinker emitteert ca. 900 kg CO₂-eq. (Xavier en Oliveira 2021). De (extra) emissiereductie als gevolg van cementklinkerbesparing kan met dezelfde aannames als voor de bermvezeltegels geschat worden op 106,9 kg CO₂ eq. per m³ maar wordt – voorlopig – niet meegenomen. Dit zal (beter) op projectbasis worden berekend en geverifieerd.

De productie van 1 m³ klassiek betonmengsel met een droog gewicht van 2.370 kg emitteert 201,95 kg CO₂ eq. in fasen A1 tot A3 (Fedbeton 2021). De totale emissie van 1 m³ houtvezelbeton bedraagt 218,64 kg CO₂ eq. (177,72 + 40,92).

6. Emissiereducties

In de vorige paragraaf is beschreven welke aspecten moeten worden meegenomen bij de bepaling van de baseline (oogsten, 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.

6.1. Emissiereducties van bermvezelproducten

6.1.1. Hennep-/Bermvezel Composiet (HGC) verkeersbord (tabel 4)

1. Bermvegetatie heeft een C-gehalte van 43,5%. De CO₂:C ratio is 3,667. Dit resulteert in een C-opslagpotentieel van 435 kg/ton bermmaaisel, ofwel een CO₂-opslagpotentieel van 1.610 kg per ton droog bermmaaisel. Er wordt zo 1,030 kg CO₂ vastgelegd in bermvezels per HGC verkeersbord. Daarnaast wordt er ook 4,633 kg CO₂ vastgelegd in hennepvilt en 2,278 kg in het hars. Per HGC verkeersbord wordt in totaal 7,94 kg CO₂ vastgelegd voor minstens 10 jaar.
2. Bij compostering van bermmaaisel komt veel lachgas (N₂O) en methaan (CH₄) vrij. De vermeden emissie bij niet-composteren bedraagt voor lachgas en methaan en voor het energieverbruik samen -108 kg CO₂-eq. per ton DS bermvegetatievezel (PwC/RWS, 2021). Een HGC verkeersbord van 5,5 kg bevat 0,644 kg DS bermvezels. De vermeden emissie door niet te composteren is dus 0,07 kg CO₂-eq. per HGC verkeersbord.
3. Toevoeging van compost draagt bij tot de opbouw van de koolstofvoorraad in bodems. Bij niet-composteren gebeurt dit niet en dient de emissiereductiewinst verminderd te worden. De emissie van de bodems ten gevolge van het niet-composteren en het niet toevoegen van compost aan de bodem is 295 kg CO₂ per ton DS bermvezels na 12 jaar (zie 4.1.1 en bijlage 3). Een HGC verkeersbord van 5,5 kg bevat 0,644 kg DS bermvezels. De bodememissie bedraagt dus 0,19 kg CO₂-eq. per HGC verkeersbord.
4. Verwerking van bermvegetatie vanaf de oogst tot het afgewerkte HGC bord emitteert 11,58 kg CO₂-eq. per HGC verkeersbord.
5. Een 3,36 kg coil-coated aluminium verkeersbord emitteert 40,2 kg CO₂ (in fasen A1 tot A3).

Tabel 4. Emissiereductie van een verkeersbord gemaakt uit hennep-/bermvezelcomposiet (HGC) i.p.v. uit coil coated aluminium (ALU).

verkeersbord uit Hennep-/Bermvezel Composiet (HGC)	kg CO ₂ -eq. per HGC verkeersbord
1. Koolstofvastlegging in het product	-7,94
2. Vermeden emissies t.o.v. composteren	-0,07
3. Emissie van de bodem t.g.v. niet-composteren	+0,19
4. Emissie in productie van één HGC bord (A1 tot A3)	+11,58
5. Vermeden emissie in productiefase van één ALU bord (A1-A3)	-40,20
TOTAAL	-36,44

6.1.2. Tegel van bermvezelbeton (tabel 5)

1. Bermvegetatie heeft een C-gehalte van 43,5% (tabel 3). De CO₂:C ratio is 3,667. Dit resulteert in een C-opslagpotentieel van 435 kg/ton bermvegetatie, ofwel een CO₂-opslagpotentieel van 1.610 kg per ton

droog bermmaaisel. Per m³ tegels uit bermvezelbeton wordt 143,68 kg CO₂ vastgelegd voor minstens 10 jaar.

2. Bij composteren van bermmaaisel komt veel lachgas (N₂O) en methaan (CH₄) vrij. De vermeden emissie bij niet-composteren bedraagt voor lachgas en methaan en voor het energieverbruik samen -108 kg CO₂-eq. per ton DS bermvezel (PwC/RWS, 2021). Een m³ bermvezelbeton bevat 90 kg DS bermvezels (12 vol%). De vermeden emissie door niet te composteren bedraagt dus -9,72 kg CO₂-eq. per m³ bermvezelbeton.
3. Toevoeging van compost draagt bij tot de opbouw van de koolstofvoorraad in bodems. Bij niet-composteren gebeurt dit niet en dient de emissiereductiewinst verminderd te worden. De emissie van de bodem ten gevolge van het niet-composteren en het niet toevoegen van compost aan de bodem is 227 kg CO₂ per ton DS bermvezels na 25 jaar (zie 4.1.1 en bijlage 3). Een m³ bermvezelbeton bevat 90 kg DS bermvezels (12 vol%). De bodememissie bedraagt dus 20,43 kg CO₂-eq. per m³ bermvezelbeton.
4. In totaal leidt de productie van 1 m³ bermvezelbeton tot een emissie van 125,52 kg CO₂-eq., waarvan 2,25 kg gelinkt aan de oogst, het transport en de verwerking van bermmaaisel en 123,27 kg gelinkt aan de ontginning, het transport en de verwerking van grondstoffen voor de betonfractie in de tegels. Daarbij kon een emissiedaling van 72,9 kg CO₂ per m³ bermvezelbeton gerealiseerd worden door de vermindering van het aandeel cementklinker met 81 kg (x 0,9 kg cementklinker per kg DS bermvezel x 0,9 kg CO₂ per kg cementklinker).
5. De productie van 1 m³ beton zonder bermvezels resulteert in een uitstoot van 201,95 kg CO₂-equivalent In fasen A1 tot A3.

Tabel 5. Emissiereductie van 1 m³ tegels uit bermvezelbeton i.p.v. klassiek beton.

1 m ³ tegels van bermvezelbeton	kg CO ₂ -eq per m ³ bermvezelbeton
1. Koolstofvastlegging in het product	-143,68
2. Vermeden emissies t.o.v. composteren	-9,72
3. Emissie van de bodem t.g.v. niet-composteren	+20,43
4. Emissie in productie van 1 m ³ bermvezelbetontegels (A1 tot A3)	+125,52
5. Vermeden emissie in productiefase van 1 m ³ klassieke betontegel (A1 tot A3)	-201,95
TOTAAL	-209,40

6.2. Emissiereducties van houtproducten

6.2.1. Houten verdiepingsvloer uit CLS-balken en OSB-platen (tabel 6)

1. Stamhout (met schors) heeft een C-gehalte van 47,5% (tabel 3). De CO₂ : C ratio is 3,667. Dit resulteert in een C-opslagpotentieel van 475 kg/ton DS stamhout, ofwel een CO₂-opslagpotentieel van 1.743 kg/ton DS stamhout. Per m² houten verdiepingsvloer wordt 34,38 kg CO₂-eq. opgeslagen.
2. Het niet aanwenden van geogst stam- en tophout als biobrandstof voor warmte-opwekking, ter vervanging van aardgas, veroorzaakt een opportuiniteitskost van 17.6 kg CO₂ per ton DS (zie 4.1.2 en bijlage 4). Per m² verdiepingsvloer is 19,98 kg hout opgeslagen in OSB en CLS. De emissie van warmte-opwekking verkregen door de houtgrondstof niet te verbranden bedraagt 0,35 kg CO₂-eq. per m² verdiepingsvloer.
3. In de productiefase van CLS wordt 4,50 kg CO₂-eq. geëmitteerd per m² houten verdiepingsvloer.

4. In de productiefase van OSB en Lignoloc-nagels wordt 1,72 ton CO₂-eq. geëmitteerd per m² houten verdiepingsvloer.
5. De vermeden emissie gerealiseerd door het vervangen van 1 m² kanaalplaatvloer door 1 m² houten verdiepingsvloer uit CLS en OSB bedraagt -37,54 kg CO₂-eq. per m² verdiepingsvloer (productiefase A1-A3).

Tabel 6. Emissiereductie van 1 m² verdiepingsvloer uit gezaagde CLS-balken en OSB-platen i.p.v. uit betonkanaalplaat.

1 m ² verdiepingsvloer uit CLS en OSB	kg CO ₂ -eq. per m ² verdiepingsvloer
1. Koolstofvastlegging in het product	-34,38
2. Emissie van warmte-opwekking met aardgas	+0,35
3. Emissies productiefase CLS (A1-A3)	+4,50
4. Emissies productiefase OSB en Lignoloc (A1-A3)	+1,72
5. Vermeden emissies in de productiefase kanaalplaatvloer (A1-A3)	-37,54
TOTAAL	-65,35

6.2.2. Houten verdiepingsvloer uit CLT-panelen (tabel 7)

1. Stamhout (met schors) heeft een C-gehalte van 47,5% (tabel 3). De CO₂ : C ratio is 3,667. Dit resulteert in een C-opslagpotentieel van 475 kg/ton DS stamhout, ofwel een CO₂-opslagpotentieel van 1.740 kg/ton DS stamhout. Per m² houten verdiepingsvloer wordt 106,83 kg CO₂-eq. opgeslagen.
2. Het niet aanwenden van geoogst stam- en tophout als biobrandstof voor warmte-opwekking, ter vervanging van aardgas, veroorzaakt een opportuiniteitskost van 17,6 kg CO₂ per ton DS (zie 4.1.2 en bijlage 4). Per m² houten verdiepingsvloer is 12,63 kg hout opgeslagen in de CLT panelen. De emissie van warmte-opwekking door de houtgrondstof niet te verbranden bedraagt 0,22 kg CO₂-eq. per m² verdiepingsvloer.
3. In de productiefase van CLT wordt 22,00 kg CO₂-eq. geëmitteerd per m² houten verdiepingsvloer. Daarin zitten de emissies van de ontginning, het transport en de fabricage van houtgrondstof, lijm en de CLT zelf.
4. De vermeden emissie gerealiseerd door het vervangen van 1 m² kanaalplaatvloer door 1 m² houten verdiepingsvloer uit CLT bedraagt hier eveneens -37,54 kg CO₂-eq. per m² verdiepingsvloer (productiefase A1-A3).

Tabel 7. Emissiereductie van 1 m² verdiepingsvloer uit 5-laagse CLT-panelen i.p.v. uit betonkanaalplaat.

1 m ² verdiepingsvloer uit CLT	kg CO ₂ -eq. per m ² verdiepingsvloer
1. Koolstofvastlegging in het product	-106,83
2. Emissies van warmte-opwekking met aardgas	+0,22
3. Emissies productiefase CLT (A1-A3)	+22,00
4. Vermeden emissies in de productiefase van kanaalplaatvloer (A1-A3)	-37,54
TOTAAL	-122,15

6.2.3. Geluidsscherm van houtvezelbeton (tabel 8)

1. Tak- en tophout (met schors) heeft een C-gehalte van 47,5%. De CO₂ : C ratio is 3,667. Dit resulteert in een C-opslagpotentieel van 475 kg/ton DS houtsnippers, ofwel een CO₂-opslagpotentieel van 1.743 kg/ton DS houtsnippers. Per m³ geluidsscherm uit houtvezelbeton wordt 230,11 kg CO₂ vastgelegd voor minstens 10 jaar.
2. Het niet aanwenden van geoogst tophout als biobrandstof voor warmte-opwekking, ter vervanging van aardgas, veroorzaakt een opportuiniteitskost van 17,6 kg CO₂ per ton DS (zie 4.1.2 en bijlage 4). Per m³ betonnen geluidsscherm wordt 132,0 kg hout opgeslagen. De emissie van warmte-opwekking door de houtgrondstof niet te verbranden bedraagt 2,32 kg CO₂-eq. per m³ betonnen geluidsscherm..
3. Voor de betonfractie wordt in de productiefase (A1-A3) 177,72 ton CO₂-eq. geëmitteerd per m³ geluidsscherm uit houtvezelbeton. Daarin zitten de emissies van de ontginning van de grondstoffen, het energieverbruik, het transport en de fabricage van beton (Fedbeton 2021).
4. In de productiefase van de houtgrondstof wordt 40,92 ton CO₂-eq. geëmitteerd per m³ geluidsscherm uit houtvezelbeton. Daarin zitten de emissies van de ontginning, het transport en de verwerking van het tophout tot bruikbare houtvezels.
5. De vermeden emissie gerealiseerd door het vervangen van 1 m³ geluidsscherm uit volbeton door 1 m³ houtvezelbeton bedraagt -201,95 kg CO₂-eq. per m³ geluidsscherm uit houtvezelbeton (productiefase A1-A3).

Tabel 8. Emissiereductie van 1 m³ geluidsscherm gemaakt uit houtvezelbeton i.p.v. uit klassiek beton zonder houtvezels.

1m ³ geluidsscherm uit houtvezelbeton	kg CO ₂ -eq per m ³ geluidsscherm
1. Koolstofvastlegging in het product	-230,11
2. Emissies van warmte-opwekking met aardgas	+2,32
3. Emissies in productiefase betonfractie (A1-A3)	177,72
4. Emissies in productiefase houtfractie (A1-A3)	40,92
5. Vermeden emissie in productiefase van klassiek betonnen geluidsscherm (A1-A3)	-201,95
TOTAAL	-211,10

7. Plan voor monitoring van projectvoortgang

Er dient in het projectplan een keuze te worden gemaakt tussen twee opties die elkaar uitsluiten. Bij het gebruik van de CO₂-waarde voor het oogstproces uit dit Methodedocument (optie 1) zal een controle op basis van de CO₂-footprint van het productieproces van rondhout en bermvegetatie en de oogstcijfers van de bermvegetatie- en rondhoutproducten 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, oogst, totale oogstvolumes voor zowel rondhout als bermvegetatie, productieproces en de afzetcijfers van beide eindproducten uit hout en bermmaaisel) in lijn zijn met de gehanteerde waarden binnen de berekeningen in het projectplan. Doordat er bij de rondhoutketen veel verschillende oogstmethodes zijn, is het beste te werken volgens een bijgeleverde Excel-schema met vooraf berekende standaardfactoren. Hierdoor kunnen oogstmethodes en exacte transportafstanden worden aangepast waardoor men kan komen tot de exacte CO₂-reductie per case. Dit kan over het gehele oogstjaar worden opgeteld om te komen tot de totale CO₂-reductie.

Het resultaat geeft handvatten om CO₂-reducerende maatregelen in te voeren in het proces (o.a. alternatieve brandstoffen, andere hernieuwbare componenten, elektrisch vervoer, zelfopgewekte duurzame energie, kortere transportroutes naar verwerkingslocaties).

De berekeningen dienen aan de volgende voorwaarden te voldoen

- Waarden en eenheden voor de genoemde variabelen in de formules voor oogst, transport, verwerking van bermmaaisel en fabricage van bermvezelproducten, moeten worden aangehouden zoals ze in bijlage 1 staan aangegeven.
- Waarden en eenheden voor de genoemde variabelen in de formules voor oogst, transport, verwerking van stamhout en tophout en de vervaardiging van OSB, CLT, CLS en houtchips moeten worden aangehouden zoals ze in bijlage 1 en 2 staan aangegeven.
- In de formule voor de oogst is de volledige emissie van de oogst en verwerking toegerekend aan de bermvezels en de houtproducten (%) die geschikt zijn voor de eindproducten.
- 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 berekeningen moeten transparant en dusdanig duidelijk dat men zelf alles kan herrekenen; hierbij dienen alle bronnen te worden vermeld. Om dit alles te vereenvoudigen zijn de standaard waarden voorberekend en gegeven in een Excel. Daartoe dient de gebruiker enkel de variabelen per oogstketen in te vullen, zoals de geoogste massa (of het volume), de basiseigenschappen van de grondstoffen (vochtgehalte, asgehalte, bulk- en basisdichtheid), de fracties hout en bermvezels in het eindproduct en de transportafstanden.
- De berekening dient onderdeel te zijn van het ingediende projectplan.
- De administratie van het project dient controleerbaar te zijn.

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 producten 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 (aannemers van Rijkswaterstaat die alle oogst werkzaamheden uitvoeren) in de keten om te komen tot langdurige opslag in bermvezelproducten en rondhoutproducten.

Bewijsmateriaal dat in de verificatieprocedure dient te worden aangeleverd is:

- Hoeveelheid (kg) ton grondstof die is geleverd ten behoeve van de eindproducten.
- Productiecijfers ten aanzien van het product.
- Bewijsmateriaal waaruit blijkt dat de ex-post berekende en gebruikte CO₂-footprint van het biobased product overeenkomt en is gebaseerd op gemonitorde data over het oogstproces (alleen optie 2), productieprocessen en transportbewegingen die hebben plaatsgevonden.
- Overeenkomst met de verwerkings- en productiepartners van de bermvezel- en rondhoutproducten 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 oogstcontract worden hierover tussen de aannemer van het oogsten van rondhout resp. bermvegetatie en de afnemer van de ruwe biograndstoffen afspraken vastgelegd. De aannemer levert data uit reeds bestaande registratiesystemen aan. Naarmate aannemers en/of afnemers kiezen voor verdergaande duurzame maatregelen, zoals gebruik van biobrandstoffen, 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.

8. Uitgifte van certificaten, hertoetsing 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 bermvegetatie en het rondhout in de beheergebieden van RWS. Aangezien er verschillende stromen worden gebruikt zullen er ook verschillende waarden worden gebruikt als uitgangspunt. Voor bermvegetatie kan men een basis uitgangswaarde nemen en voor rondhout de geogste waarde. Hierdoor is het mogelijk om de exacte hoeveelheid CO₂ te berekenen per hectare/project of per ton droge stof van de geogste bermvezel- en houtproducten.

De hoeveelheid CO₂-eq. die per hectare is opgeslagen in de biomassa kan worden bepaald zodra de hoeveelheid bermmaaisel en rondhout per hectare vanuit de oogst bekend is of, in het geval van optie 1, er wordt uitgegaan van een standaardwaarde. Deze uitgangswaarden voor bermmaaisel zullen nagenoeg altijd hetzelfde blijven maar voor rondhout is het belangrijk bij het valideren te kiezen voor juiste houtsoorten bij de registratie.

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 bermvezel- en houtproducten 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, zie www.nationaleco2markt.nl).

9. Risico's

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

- Er is een risico dat het biobased rondhout- of bervezelproduct wel verkocht wordt maar uiteindelijk niet gebruikt. Het is echter vrij aannemelijk dat de afnemer gekochte producten ook gebruikt. Is dat niet het geval dan zal de productie van deze biobased producten snel stoppen. Met name de producten OSB, CLT en CLS worden reeds verkocht en gebruikt. Het is daarmee een verwaarloosbaar risico.
- Klimaatverandering – met name afwijking van het lang jaarlijkse gemiddelde in neerslaghoeveelheid - kan van invloed zijn op de aanwas en de beschikbaarheid van rondhout en bervegetatie, door bijvoorbeeld aanhoudende droogte of wateroverlast. In de afgelopen jaren is met name droogte een belangrijke stressfactor geweest in de groei van planten, die tot het lokaal afsterven van bomen en (tijdelijk) verschaalde bermen heeft geleid. Het is evenwel niet aannemelijk dat dit een probleem zal vormen met grootschalige impact.

10. Literatuurlijst

- Acikel H (2011). The use of miscanthus (Giganteus) as a plant fiber in concrete production. Scientific Research and Essays 6(13): 2660-266.
- Agostini A, Giuntoli J and Boulamanti A (2014). Carbon accounting of forest bioenergy - Conclusions and recommendations from a critical literature review. JRC scientific and policy reports, 88 p.
- Agresta (2018). Agreslith C – Mineralized wood aggregate, Agresta technologies, France, 14 p.
- Bogaart P. en Lof M. (2021). Koolstofopslag Rijkswaterstaat droog areaal - Nulmeting periode 2013–2020. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek, 28 p.
- Bostik (2022). Environmental Product Declaration of 1 kg adhesive based on polyurethane or silane-modified polymer, 14 p.
- Bouwcampus (2023). Wat is de levensduur van houttoepassingen?
<https://houtindegww.debouwcampus.nl/artikelen/item/wat-is-de-levensduur-van-houttoepassingen>, geconsulteerd op 14/07/2023.
- Corré WJ (2008). Biomassastromen voor bioraffinage in Nederland, WUR Plant Research BV, rapport 200, 22 p.
- Ecochain (2021). LCA report of road grass – hemp biocomposite (confidential), 33 p.
- FAO (2020). Forest product conversion factors. FAO, ITTO and United Nations, 70 p.
- Fedbeton (2021). EPD of typical belgian ready-mixed concrete. Fedbeton vzw, 23 p.
- Francescati V en Bergomi L (2008). Wood fuels handbook, AEBIOM, 83 p.
- Groeneveld B en Brinkmann A (2015). Warmte uit hout. Een handreiking voor initiatiefnemers van bio-energie installaties. Branche Vereniging Organische Reststoffen, 51 p.
- Ijzerman J (2022). Bermgras Rijkswaterstaat (RWS) - CO₂ reductie uit bermgrasvezel door substitutie. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 18 p.
- Isotex (2021). Environmental product declaration (EPD) for wood cement elements for acoustic barriers. Environdec The International EPD System, 15 p.
- Kienhuis A (2013). Onderzoek naar het oogsten van houtige chips uit lokale landschappelijke beplantingen het verstoken ervan in (lokale) verbrandingsinstallaties. Hogeschool Van Hall Larenstein. 53 p.
- Kühmaier M, Kral I and Christian Kanzian C (2022). Greenhouse Gas Emissions of the Forest Supply Chain in Austria in the Year 2018, MDPI sustainability, 18 p.
- Morssinkhof Beton, 2022. (Referentie in Ijzerman 2022)
- Medcem (2021). Environmental Product Declaration for Portland Cement Clinker. Environdec S-P-02229, 14 p.
- NIBE (2020). Categorie 3 LCA's – Wegmeubilair, Wegcategorie III RVV-borden, NIBE, 40 p.
- NMD (2022). Nationale milieudatabase, <https://milieudatabase.nl/>
- Norbord (2021). Environmental Product Declaration for OSB (Oriented Strand Board), 14 p.
- NOVA (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of the LignoLoc® wooden nail. NOVA institut, 8 p.
- Oldenburger J, Reichgelt JA, Boosten M, Penninkhof J, Teeuwen S, Kremers J en van Benthem M (2020). Meer hoogwaardig gebruik van Nederlands hout, pagina 60.

Phyllis (2022). Phyllis 2 Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar, TNO, www.phyllis.nl

Prinz R, Spinelli R, Magagnotti N, Routa J, Antti A (2018). Modifying the settings of CTL timber harvesting machines to reduce fuel consumption and CO₂ emissions. *Journal of Cleaner Production* 197, 11 p.

RWS (2022). Leidraad Beheer Groenvoorzieningen 2022 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, 153 p.

RWS (2021). Kader beheer groenvoorzieningen 2022 : eisen beheer groenvoorzieningen Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, 28 p.

Rüter S en Diederichs S (2012). Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz, Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie 1, Universität Hamburg, VTI, 316 p.

Sathre R, Gustavsson L and Haus S (2013). Chapter 11: Time Dynamics and Radiative Forcing of Forest Bioenergy Systems. *Forest BioEnergy Production*: 185–206.

Spinelli R and Conrado de Arruda Moura A (2019). Decreasing the Fuel Consumption and CO₂ Emissions of Excavator-Based Harvesters with a Machine Control System, *MDPI forests*, 13 p.

Stora Enso (2022). Environmental Product Declaration for CLT (Cross Laminated Timber), 22 p.

Stora Enso (2021). Environmental Product Declaration for Classic Planed Timber, 15 p.

VBI (2020a). EPD van A150 kanaalplaatvloer, EPD-NIBE-20200708-9313, 2 p.

VBI (2020b). Productdatablad van A150 kanaalplaatvloer, PDB06.012, 6 p.

Werner (2017). Background report for the life-cycle inventories of wood and wood-based products for updates of ecoinvent 2.2, *Environment & Development*, 255 p.

Xavier C and Oliveira C (2022) Decarbonisation options for the Dutch cement industry. *Manufacturing Industry Decarbonisation Data Exchange Network*, TNO, 44 p.

Zijlema PJ (2021). Vaststelling van de standaard CO₂-emissiefactor aardgas t.b.v. nationale monitoring 2022 en emissiehandel 2022. RVO, Utrecht, 9 p.

Bijlage 1: Parameters en basisformules voor berekening van emissies en opslag.

In deze bijlage worden alle variabele en vaste inputparameters, outputparameters en formules voor berekening van de baseline emissies, de opslag en de emissies binnen de projectgrens, en de emissiereducties per biograndstof en op het niveau van de functionele eenheid per biobased product en per referentieproduct opgesteld. Dit zijn de waarden en formules die gehanteerd zullen worden in het projectdocument.

- **M_{ds}**: massa van biograndstof of eindproduct op droge stof basis, in kg.
- **M_{nat}**: massa van biograndstof of eindproduct bij een opgegeven vochtgehalte, in kg.
- **VOL_{ds}**: volume van biograndstof of eindproduct op droge stof basis, in m³.
- **VOL_{nat}**: volume van biograndstof of eindproduct bij een opgegeven vochtgehalte, in m³.
- **bulkVM_{ds}**: bulkdichtheid van de geogste biograndstof op droge stof basis, in kg/m³.
- **bulkVM_{nat}**: bulkdichtheid van de geogste biograndstof bij een opgegeven vochtgehalte, in kg/m³.
- **VM_{ds}**: volumieke massa (dichtheid) van biograndstof en van massieve eindproducten op droge stof basis, in kg/m³, afhankelijk van de houtsoort.
- **VM_{nat}**: volumieke massa (dichtheid) van biograndstof en van massieve eindproducten bij een opgegeven vochtgehalte, in kg/m³.
- **C%_{ds}**: procentueel massa-aandeel van biogene koolstof in de biograndstof op droge stof basis (inclusief as).
- **AS%_{ds}**: procentueel massa-aandeel van anorganische asbestanddelen in de biograndstof op droge stof basis.
- **F_{hout}**: massafractie van massief hout of houtvezels in het eindproduct (droge stof).
- **F_{bermvezel}**: procentueel massa-aandeel van bermvezels in het eindproduct (droge stof).
- **kgC_{opslag}**: massa van biogene C opgeslagen in biograndstof of in het eindproduct.
- **kgCO₂eq_{opslag}**: massa van het biogene CO₂-equivalent opgeslagen in biograndstof of in het eindproduct.
- **H₂O%_{ds}**: procentueel vochtgehalte van de (verse of gedroogde) biograndstof of het eindproduct, relatief t.o.v. de massa van de droge stof.
- **H₂O%_{nat}**: procentueel vochtgehalte van de (verse of gedroogde) biograndstof of het eindproduct, relatief t.o.v. de totale (natte) massa.
- **H₂O%_{verschout_nat}**: procentueel vochtgehalte van vers geogst en getransporteerd hout, relatief t.o.v. de totale (natte) massa (50%).
- **H₂O%_{bermvezel_nat}**: procentueel vochtgehalte van vers geogste en getransporteerde bermvezels, relatief t.o.v. de totale (natte) massa (12%).
- **X_{sterem3_nh}**: omrekenfactor van m³ rondhout naar stere, voor naaldhout (1,55 stere per m³, FAO 2020)
- **X_{sterem3_lh}**: omrekenfactor van m³ rondhout naar stere, voor loofhout (1,70 stere per m³, FAO 2020)
- **VOL_{truck}**: maximaal laadvolume per trucktransport (100.00 m³ of 100.00 stere)
- **F_{tophout}**: fractie top hout (kruin, takken) in een boom op stam (0,33).

- **F_{stamhout}**: fractie rondhout (stam) in een boom op stam (0,67).
- **F_{oogstresidu}**: fractie procesresidu's die ontstaan bij onttakken en opdelen, na het vellen van bomen (0,015).
- **F_{schors}**: gemiddelde droge stoffractie van schors in stamhout en top hout (0,11).
- **F_{afgekeurdhout}**: fractie van het afgeleverd hout dat wordt afgekeurd aan de fabriekspoort (0,0175).
- **N_{trans}_{personeel}**: aantal personeelstransporten per 1000 ton vers geoogst hout (2 per 1000 ton)
- **N_{trans}_{machine}**: aantal oogstmachinetransporten per 1000 ton vers geoogst hout (2 per 1000 ton)
- **GWP_{A1}**: potentieel voor klimaatopwarming in de productie-deelfase A1 (ontginning)
- **GWP_{A2}**: potentieel voor klimaatopwarming in de productie-deelfase A2 (grondstoffentransport)
- **GWP_{A3}**: potentieel voor klimaatopwarming in de productie-deelfase A3 (fabricatie)
- **GWP_{A3}_{haybuster}**: emissies van broeikasgassen bij *haybusteren* van bermmaaisel (25,00 kg CO₂ eq/ton DS bermvezel)
- **GWP_{houtoogst}**: emissies van broeikasgassen bij vellen m.b.v. kraan en kettingzaag, per m³ rondhoutvolume (3,36 kg CO₂ eq/m³)
- **GWP_{forwarder}**: emissies van broeikasgassen bij uitrijden m.b.v. forwarder, per m³ rondhoutvolume (3,07 kg CO₂ eq/m³)
- **GWP_{opdelen}**: emissies van broeikasgassen bij opdelen van geveldde stammen m.b.v. kettingzaag, per m³ rondhoutvolume (0,26 kg CO₂ eq/m³)
- **GWP_{houtladen}**: emissies van broeikasgassen bij laden van hout op truck voor transport (5,00 kg CO₂-eq/m³)
- **GWP_{32tontruck}**: emissies van broeikasgassen bij trucktransport (0,105 kg CO₂-eq/ton.km)
- **GWP_{dieselvan}**: emissies van broeikasgassen bij personenvervoer met een dieselbestelwagen (0,198 kg CO₂-eq/km)
- **GWP_{A1-A3}_{CLT}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase A1 tot A3 van CLT (146,64 kg CO₂-eq/m³ CLT)
- **GWP_{A1-A3}_{CLS}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase A1 tot A3 van CLS (166,05 kg CO₂-eq/m³ CLS)
- **GWP_{A1-A3}_{OSB}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase A1 tot A3 van OSB (92,93 kg CO₂-eq/m³ OSB)
- **GWP_{A1-A3}_{Lignoloc}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase A1 tot A3 van 1 houten Lignoloc nagel (0,00297 kg CO₂-eq/nagel, NOVA 2019)
- **GWP_{A1-A3}_{fedbeton}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase A1 tot A3 van 1 m³ klassiek betonmengsel met een droog gewicht van 2.370 kg (201,95 kg CO₂-eq/m³, Fedbeton 2021)
- **GWP_{A1-A3}_{kanaalplaatvloer}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase A1 tot A3 van 1 m² kanaalplaatvloer van 150 mm dik met een droog gewicht van 268 kg/m² (37,54 kg CO₂-eq/m², VBI 2020a)
- **GWP_{A1-A3}_{HGCverkeersbord}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase fasen A1 tot A3 van een driehoekig HGC-verkeersbord van 10 mm dik (11,58 kg CO₂-eq, Ecochain 2021)
- **GWP_{A1-A3}_{ALUverkeersbord}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase fasen A1 tot A3 van een driehoekig aluminium coil coated verkeersbord van 2 mm dik (40,2 kg CO₂-eq, NIBE 2020)

- **GWP_A1-A3_{PURlijm}**: emissies van broeikasgassen in de productiefase (A1 tot A3) van een PUR lijmsysteem voor CLT-fabricage (4,79 kg CO₂ eq/kg PUR, Bostik 2022 / 4,1 kg CO₂ eq/kg PUR, Bostik 2020)
- **GWP_A3_{CLT}**: emissies van broeikasgassen in de productie-deelfase A3 van CLT (8,1 kg CO₂ eq/m³ CLT, Stora Enso 2022)
- **GWP_A3_{CLS}**: emissies van broeikasgassen in de productie-deelfase A3 van CLS (6,99 kg CO₂ eq/m³ CLS, Stora Enso 2021)
- **GWP_A3_{OSB}**: emissies van broeikasgassen in de productie-deelfase A3 van OSB (211 kg CO₂-eq/m³ OSB, Norbord 2021)
- **GWP_A3_{composteren}**: emissies van broeikasgassen in deelfase A3 van composteren (108,0 kg CO₂ eq/ton bermmaaisel, Ijzerman 2022)
- **GWP_{compostEOS_12jaar}**: koolstofopslag in effectieve organische stof afkomstig van compost gemaakt met bermvegetatie met 6% anorganische droge stoffractie, na 12 jaar in de bodem (295 kg CO₂ eq/ton DS bermmaaisel, zie bijlage 3)
- **GWP_{compostEOS_25jaar}**: koolstofopslag in effectieve organische stof afkomstig van compost gemaakt met bermvegetatie met 6% anorganische droge stoffractie, na 25 jaar in de bodem (227 kg CO₂ eq/ton DS bermmaaisel, zie bijlage 3)
- **GWP_{aardgas_hout}**: emissiereductie van broeikasgassen in de verbranding van houtbiomassa voor de opwekking van warmte, in vergelijking met energie-opwekking met aardgas (17,6 kg CO₂ eq/ton DS stam- en tophout, zie bijlage 4)
- **R_{houtOSB}**: conversierendement van rondhout naar OSB (1,18 m³ rondhout per m³ OSB, FAO 2020)
- **M_{truck}**: massa van een truck (18,00 ton)
- **M_{oplegger}**: massa van oplegger voor machinetransport (14,00 ton)
- **M_{kraan}**: massa van kraan met grijpklauw voor houtoogst (26,00 ton)
- **M_{forwarder}**: massa van forwarder voor houtoogst (19,00 ton)
- **M_{trucklading}**: maximale massa van lading per trucktransport (32,00 ton)
- **KM_{A1}**: totale transportafstand (heen en terug) afgelegd door de truck(s) met oogstmachines (*loadfactor* 100%), in km (2 x 70 km).
- **KM_{A2}**: totale afstand afgelegd door de biogroeststof, van de oogstplaats naar de verwerkingsite in deelfase A2 (heen en terug, d.w.z. trucktransport leeg en vol, gelijk aan een *load-factor* van 50%), in km (2 x 75 km).
- **KM_{A4}**: totale productdistributie-afstand in deelfase A4, de totale transportafstand afgelegd door het eindproduct, van de fabriek naar de constructiewerf of de plaats van gebruik, in km (niet berekend).
- **KM_{C2}**: totale afstand afgelegd door sloofafval in deelfase C2 (levenseindefase), van de afbraakwerf naar de afvalverwerkingsite (heen en terug, d.w.z. trucktransport leeg en vol, gelijk aan een *load-factor* van 50%), in km (niet berekend).
- **M_{fedbeton1m³}**: droge massa van 1 m³ klassiek betonmengsel (2.370 kg, Fedbeton 2021)
- **M_{ALUverkeersbord}**: massa van een driehoekig aluminium coil coated verkeersbord van 2 mm dik (3,36 kg, NIBE 2020)
- **M_{HGCverkeersbord}**: massa van een Hennep-Gras Composiet verkeersbord (5,50 kg, Ecochain 2021).

- **hennep%**_{HGC_ds}: procentueel droge stofaandeel van hennepvilt in een HGC-verkeersbord (45,8%, Ecochain 2021)
- **hars%**_{HGC_ds}: procentueel droge stofaandeel van biohars in een HGC-verkeersbord (42,8%, Ecochain 2021)
- **bermvazel%**_{HGC_ds}: procentueel droge stofaandeel van bermvezel in een HGC-verkeersbord (11,4%, Ecochain 2021)
- **bermvazel%**_{tegel}: procentueel volume-aandeel van bermvezel in 1 m³ betonnen straattegel (12,0 vol%, Ijzerman 2022)
- **houtvezel%**_{geluidschermer}: procentueel volume-aandeel van houtvezel in 1 m³ betonnen geluidschermer (12,0 vol%)
- **VM**_{houtCLT_ds}: volumieke massa (dichtheid) op droge stof basis van hout gebruikt in CLT, in kg/m³ (470 kg/m³)
- **VM**_{houtCLS_ds}: volumieke massa (dichtheid) op droge stof basis van hout gebruikt in CLS, in kg/m³ (470 kg/m³)
- **VM**_{houtOSB_ds}: volumieke massa (dichtheid) op droge stof basis van hout gebruikt in OSB, in kg/m³ (500 kg/m³)
- **VM**_{bermvazel_ds}: volumieke massa (dichtheid) van bermvezelpartikels op droge stof basis, in kg/m³ (750 kg/m³)
- **VM**_{houtvezel_ds}: volumieke massa (dichtheid) van houtvezelpartikels op droge stof basis, in kg/m³ (1.100 kg/m³)
- **water%**_{HGC_nat}: procentueel massa-aandeel van bermvezel in een HGC-verkeersbord op natte basis (8,00%)
- **hout%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van hout in OSB (88,60%, Rüter en Diederichs 2012)
- **schors%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van schors in OSB (1,00%, Rüter en Diederichs 2012)
- **water%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van water in OSB (4,17%, Rüter en Diederichs 2012)
- **MFhars%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van melamineformaldehydeshars in OSB (0,80%, Rüter en Diederichs 2012)
- **MDIhars%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van methyldi-isocyaanathars in OSB (2,90%, Rüter en Diederichs 2012)
- **LFhars%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van lignofenolformaldehyde-hars in OSB (0,59%, Rüter en Diederichs 2012)
- **PAR%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van paraffine in OSB (1,73%, Rüter en Diederichs 2012)
- **ADD%**_{OSB_nat}: procentueel massa-aandeel van additieven in OSB (0,21%, Rüter en Diederichs 2012)
- **D**_{CLS}: dikte van een CLS balk in mm (38 mm)
- **H**_{CLS}: hoogte van een CLS balk in mm (285 mm)
- **HoH**_{CLS}: hart-op-hart afstand tussen twee CLS balken in mm (400 mm)
- **HoH**_{Lignoloc}: hart-op-hart afstand tussen Lignoloc nagels, voor vasthechting van OSB-platen op CLS-balken (150 mm)
- **D**_{osb}: dikte van een OSB-plaat in mm (18 mm)

- **D_{clt}**: dikte van een CLT-plaat in mm (160 mm)
- **D_{kanaalplaat}**: dikte van een betonnen kanaalplaatvloerelement in mm (150 mm)
- **hout%_{CLT_nat}**: procentueel massa-aandeel van hout in CLT (87,00%, Stora Enso 2022)
- **water%_{CLT_nat}**: procentueel massa-aandeel van water in CLT (12,00%, Stora Enso 2022)
- **EPlijm%_{CLT_nat}**: procentueel massa-aandeel van emulsiepolymeerisocyaanlijm in CLT (0,10%, Stora Enso 2022)
- **PURhars%_{CLT_nat}**: procentueel massa-aandeel van melamineformaldehydehars in CLT (0,90%, Stora Enso 2022)

$$F_{\text{tophout}} + F_{\text{stamhout}} = 1$$

$$H_2O\%_{\text{droog}} = 100 * H_2O\%_{\text{nat}} / (100 - H_2O\%_{\text{nat}})$$

$$kgCO_2eq_{\text{opslag}} = 3,67 * kgC_{\text{opslag}}$$

Bijlage 2: Achtergronddata houtproducten

Dichtheid van courante houtsoorten, afgeleid en aangepast uit data gecompileerd door Hagauer D, Lang B en Nemestothy KP, klima:aktiv energieholz - Austrian Energy Agency (in Excel)

Boomsort	Boomtype	Botanische naam	Biogeen C-gehalte (kg CO ₂ -eq/m ³ DS)	Dichtheid (kg DS/m ³)	Bron
Alle (gemiddelde)	Alle		836	475	5)
Loofbomen (hout)	Loofbomen		1184	680	5)
Loofbomen (schors)	Loofbomen		1115	640	5)
Amerikaanse notelaar	Loofbomen	<i>Juglans nigra</i>	975	560	1)
Amerikaanse rode eik	Loofbomen	<i>Quercus rubra</i>	1150	660	1)
Berk	Loofbomen	<i>Betula sp.</i>	1115	640	1)
Beuk	Loofbomen	<i>Fagus sylvatica</i>	1184	680	1)
Buxus	Loofbomen	<i>Buxus sempervirens</i>	1602	920	1)
Eik	Loofbomen	<i>Quercus sp.</i>	1184	680	4)
Els	Loofbomen	<i>Alnus sp.</i>	853	490	1)
Elsbes	Loofbomen	<i>Sorbus torminalis</i>	1237	710	1)
Es	Loofbomen	<i>Fraxinus excelsior</i>	1167	670	1)
Esdoorn	Loofbomen	<i>Acer sp.</i>	1045	600	4)
Fladderiep	Loofbomen	<i>Ulmus effusa</i>	958	550	2)
Gewone vogelkers	Loofbomen	<i>Prunus padus</i>	888	510	1)
Gladde iep	Loofbomen	<i>Ulmus campestris</i>	1115	640	2)
Grijze els	Loofbomen	<i>Alnus incana</i>	853	490	1)
Grootbladige linde	Loofbomen	<i>Tilia platyphyllos</i>	906	520	1)
Haagbeuk	Loofbomen	<i>Carpinus betulus</i>	1306	750	1)
Hazelaar	Loofbomen	<i>Corylus avellana</i>	975	560	1)
Kleinbladige linde	Loofbomen	<i>Tilia cordata</i>	906	520	1)
Lijsterbes	Loofbomen	<i>Sorbus aucuparia</i>	1080	620	1)
Linde	Loofbomen	<i>Tilia sp.</i>	906	520	1)
Maple, Norway	Loofbomen	<i>Acer platanoides</i>	1080	620	1)
Meelbes	Loofbomen	<i>Sorbus aria</i>	1219	700	1)
Olm	Loofbomen	<i>Ulmus spp.</i>	1115	640	1)
Paardekastanje	Loofbomen	<i>Aesculus hippocastanum</i>	888	510	1)
Peer	Loofbomen	<i>Pyrus communis</i>	1219	700	1)
Plataan	Loofbomen	<i>Platanus sp.</i>	1045	600	1)
Populier	Loofbomen	<i>Populus sp.</i>	714	410	1)
Pruimenboom	Loofbomen	<i>Prunus domestica</i>	1202	690	1)
Robinia	Loofbomen	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1272	730	1)
Schietwilg	Loofbomen	<i>Salix alba</i>	906	520	1)
Tamme kastanje	Loofbomen	<i>Castanea sativa</i>	923	530	1)
Trilpopulier	Loofbomen	<i>Populus tremula</i>	784	450	1)
Veldesdoorn	Loofbomen	<i>Acer campestre</i>	1202	690	1)
Walnoot	Loofbomen	<i>Juglans regia</i>	1115	640	1)
Wilg	Loofbomen	<i>Salix Sp.</i>	906	520	1)
Wintereik	Loofbomen	<i>Quercus petraea</i>	1167	670	1)

Boomsort	Boomtype	Botanische naam	Biogeen C-gehalte (kg CO ₂ -eq/m ³ DS)	Dichtheid (kg DS/m ³)	Bron
Zachte berk	Loofbomen	<i>Betula pubescens</i>	1115	640	1)
Zilverberk	Loofbomen	<i>Betula pendula</i>	1115	640	1)
Zoete kers	Loofbomen	<i>Prunus avium</i>	993	570	1)
Zomereik	Loofbomen	<i>Quercus robur</i>	1167	670	1)
Zwarte els	Loofbomen	<i>Alnus glutinosa</i>	853	490	1)
Zwarte populier	Loofbomen	<i>Populus nigra</i>	714	410	1)
Naaldbomen (hout)	Naaldbomen		800	445	5)
Naaldbomen (schors)	Naaldbomen		800	445	5)
Ceder	Naaldbomen	<i>Cedrus deodara</i>	845	470	1)
Cypres	Naaldbomen	<i>Cypressus sempervirens</i>	809	450	1)
Douglasspar	Naaldbomen	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	845	470	1)
Fijnspar	Naaldbomen	<i>Picea abies</i>	773	430	2)
Grove den	Naaldbomen	<i>Pinus sylvestris</i>	916	510	1)
Hemlockspar	Naaldbomen	<i>Tsuga heterophylla</i>	791	440	3)
Levensboom	Naaldbomen	<i>Thuja plicata</i>	611	340	1)
Lork	Naaldbomen	<i>Larix decidua</i>	988	550	1)
Sitkaspar	Naaldbomen	<i>Picea sitchensis</i>	737	410	1)
Taxus	Naaldbomen	<i>Taxus baccata</i>	1150	640	3)
Zilverden	Naaldbomen	<i>Abies alba</i>	737	410	1)
Zwarte den	Naaldbomen	<i>Pinus nigra</i>	1006	560	1)

1) ÖNORM B 3012 Holzarten - Kennwerte zu den Benennungen und Kurzzeichen der ÖNORM EN 13556

2) Kollmann, F. (1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer Verlag.

3) Wagenführ, R. und Scheiber, C. (1985): Holzatlas, 2. Auflage. VEB Fachbuchverlag Leipzig. || Wagenführ, R. (2004): Bildlexikon Holz, 2. verb. u. erw. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig

4) Jonas, A. et al (2005): Energie aus Holz, Informationsbrochure der Landwirtschaftskammer, 9. überarbeitete Auflage, Landeslandwirtschaftskammer NÖ

5) Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency

Bijlage 3: Indicatie EOS uit compost afkomstig uit bermvegetatie

RWS maakte een schatting van de effectieve organische stof (EOS) in gemengde groencompost - waarvan een aannemelijke fractie is afgeleid van bermvegetatie – die na 12 jaar (referentieduur C-opslag in HGC verkeersbord) en na 25 jaar (referentieduur C-opslag in bermvezelbetontegel) opgeslagen blijft in de bodem.

Literatuurgegevens over het composteringsproces en effectieve organische stof (EOS) in groencompost

Genoemd in de literatuur wordt o.a. 193 kg EOS per ton (grove groencompost¹), 150 kg² en 161 kg³. Voor RAG Compost Attero geldt bijvoorbeeld dat de organische stof (t=0) 161 kg is en na 1 jaar 145 kg (dus 10% afbraak in jaar 1 na productie). Andere bronnen noemen 10% afbraak in het eerste jaar⁴ en vervolgens 2% per jaar afname. Attero noemt 210 kg CO₂ vastgelegd als EOS in groencompost⁵ na 10 jaar.

Er wordt aangenomen dat 10% van de organische massa van groencompost in de bodem in het eerste jaar verteert en dat die daarna jaarlijks met 2% verder afneemt. Verder nemen we aan dat de (asvrije) fractie bermvegetatie voorafgaand aan de compostering voor 47.5% uit koolstof bestaat.

Groencompost wordt geproduceerd uit een breed scala van groenstromen waarvan bepaalde typen (vanwege de grootte en samenstelling in suikers, eiwitten, cellulose, hemicellulose, lignocellulose, lignine) relatief sneller afgebroken worden tot met name CO₂ in het composteerproces. Hieronder is een overzicht afgebeeld van de totale massabalans van 12 Vlaamse groencomposteerders (we hebben geen beeld van de Nederlandse composteerders, maar er zijn geen redenen om aan te nemen dat dat beeld wezenlijk anders is).

Input gemiddeld (excl. Circulatie zeefoverloop)	
356035 totaal in (inclusief circulatie zeefoverloop)	
323565 ton per jaar (excl. Zeefoverloop circulatie)	
waarvan	
224802 ton gemengd groen	
54536 ton vers structuurmateriaal	haagscheersel, takken, wortels, stronken
32470 ton zeefoverloop (circulatie)	
44227 ton zacht materiaal	gras, maaisel en bladeren
356035 totaal	
Output	
158741 ton compost	
32470 ton zeefoverloop (circulatie)	
26540 ton zeefoverloop naar (extern) biomassa	
4711 ton zeefoverloop naar mulch	
17087 ton naar GFT	
2739 ton overige	
242288 ton totaal excl.	
75% massareductie (CO ₂ en water)	
(exclusief percolaat afgevoerd naar waterzuivering of riolering)	
https://www.vlaco.be/sites/default/files/generated/files/page/eindrapport-syneco.pdf	

Hier is te zien dat gemengd groen, dat veel hout en struikachtige delen bevat, een relatief groot aandeel heeft in de massabalans ten opzichte van zacht materiaal waaronder (berm)vegetatie. Het is dan ook feitelijk dat maaisels de facto minder bijdragen aan de effectieve organische stof in de compost. Dat is louter een gevolg van de aanvoer/massabalans (een samenhang, niet per sé een oorzaak-gevolg relatie). Het is vanuit de samenstelling van bermvegetatie echter wel aannemelijk.

Effectieve organische stof bevat vooral complexere verbindingen zoals cellulose en lignine, die moeilijker afbreken. Bermvegetatie bevat veel minder lignine en minder cellulose dan gemengd groen en vers

¹ <https://agrarischwaterbeheer.nl/content/inzet-van-compost-en-organische-mest-factsheet>

² (<https://www.nmi-agro.nl/wp-content/uploads/2020/08/De-waarde-van-compost-als-bodemverbeteraar-BVOR-nieuwsbulletin-okt.2015.pdf>)

³ <https://delphy.nl/wp-content/uploads/2021/04/Leaflet-Meerwaarde-compost-1.pdf>

⁴ <https://keurcompost.nl/economische-waardekaart/>

⁵ https://www.attero.nl/upload/docs/koolstofvastlegging-en-compost-22-06-2019-v2_001.pdf

structuurmateriaal. Vermoedelijk breekt het daardoor veel sneller af tijdens het composteerproces. Het is aannemelijk dat bermvegetatie leidt tot relatief lagere effectief organische stof per ton droge stof dan de gemiddelde input van een groencompostering. Uit literatuur (o.a.)⁶ blijkt dat een afbraak van de organische stof in groenafval van 50% reëel is (GFT zit lager), en dat die hoger dan 50% ligt als de houtige biomassa (de harde delen) van te voren onttrokken wordt. Aangezien er in bermvegetatie bovendien in verhouding tot de houtige fractie meestal minder lignine zit en ook een relatief kleiner aandeel cellulose (de meest recalcitrante componenten van biomassa), lijkt het aannemelijk dat de fractie bermvegetatie relatief sterker degradeert in gemengd groenafval dat composteert. Er wordt daarom een afbraakpercentage van 75% aangenomen in het composteeringsproces van bermvegetatie.

Schatting van de EOS van compost na 1 jaar, 12 jaar en 25 jaar in de bodem

Een belangrijke parameter in de berekeningen betreft de aanname over het asgehalte of de massa van de anorganische fractie in de te composteren bermvegetatie. Die is deels van endogene oorsprong (het asgehalte van de biomassa zelf) en kan ook door minerale vervuiling (aarde, zand, stof) een relatief hoog aandeel in de droge stofmassa vertegenwoordigen. Hier worden bij wijze van voorbeeld gemiddelde asgehalten van 3%, 6% en 9% aangenomen. De afbraak van organische stof en de opslag van EOS kan op deze manier bij elk asgehalte geschat worden.

	BGD 9% as	BGD 6% as	BGD 3% as	eenheid
afbraak tijdens compostering	75	75	75	%
afbraak in bodem EOS in jaar 1	10	10	10	%
jaarlijkse afbraak in bodem EOS, jaar 2 e.v.	2	2	2	%
EOS van compost na 1 jaar in bodem	357	368	380	kg CO ₂
EOS van compost na 12 jaar in bodem	286	295	304	kg CO ₂
EOS van compost na 25 jaar in bodem	220	227	234	kg CO ₂

Van elke ton DS bermmaaisel met een anorganische fractie (asgehalte en minerale contaminatie) van 6% - die na het composteren in de bodem wordt verwerkt - resteert na 1 jaar ca. 368 ton CO₂-eq. Na 12 jaar is dat ca. 295 kg CO₂ en na 25 jaar ca. 227 kg CO₂.

⁶ <https://www.vlaco.be/sites/default/files/generated/files/page/eindrapport-syneco.pdf>

Bijlage 4: CO₂ emissiereductie van houtverbranding in een biomassaketel t.o.v. aardgas (voor warmteproductie).

Waarde	Aanname
Stam- en tophout	50% droge stof
bruto verbrandingswaarde	19 GJ/ton droge stof (1) voor loofhout
netto verbrandingswaarde	8.0 GJ/ton bij 50% vocht
energetisch rendement biomassaketel	80%
calorische waarde energielevering	6.4 GJ/ton bij 50% vocht
energetisch rendement aardgas gestookte ketel	100%
vervanging aardgas	6.4 GJ/ton bij 50% vocht (202 m ³)
emissiefactor aardgas	56.5 kg CO ₂ /GJ
emissiereductie	8.8 kg CO₂ per ton hout bij 50% vochtgehalte 17.6 kg CO₂ per ton DS hout

Bronnen

1) zie <https://edepot.wur.nl/333081>

2) zie <https://edepot.wur.nl/251724>

3) zie <https://www.rvo.nl/files/file/2022-05/Vaststelling%20van%20de%20standaard%20CO2-emissiefactor%20aardgas%20t.b.v.%20nationale%20monitoring%202022%20en%20emissiehandel%202022.pdf>

<https://www.voederbomen.nl/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/energiewaarden-hout-en-houtchips.pdf>

https://houtinfo.nl/sites/default/files/Bos-en-Milieu_Biomassa_dec2013_0.pdf