

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport

TNO 2020 R11596

Een verkenning van het potentieel van CO₂-opslag bij houtbouw

Datum	18 januari 2021
Auteur(s)	Elisabeth Keijzer Stan Klerks Sanne van Leeuwen Rens Nijman Peter Fraanje
Aantal pagina's	20
Aantal bijlagen	1
Oprachtgever	Intern
Projectnaam	Kennis Investerings Programma Hout in de bouw 2020
Projectnummers	060.42736 & 060.42779

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Samenvatting

Hout staat als industrieel constructiemateriaal vol in de aandacht. Hout uit duurzaam beheerd bos is een hernieuwbare grondstof die binnen een of twee generaties bijgroeit. Tijdens de groei van bomen wordt CO₂ uit de lucht opgenomen en koolstof vastgelegd in hout. Dat is gunstig om klimaatverandering tegen te gaan; CO₂ is een broeikasgas. Het biogene koolstof telt niet mee in de duurzaamheidsprestatie van gebouwen en bouwwerken, zoals de MPG (Milieu Prestatie Gebouwen) en de MKI (Milieu Kosten Indicator). De opname van CO₂ vindt plaats buiten de scope van de levenscyclusanalyse (LCA) die ten grondslag ligt aan de MPG en de MKI.

Op Europees niveau is besloten om biogeen koolstof uitgedrukt in kg CO₂ equivalenten per 1-1-2021 expliciet zichtbaar te maken in LCA's. Het wordt een aparte milieu-effectcategorie in de EN 15804, de Europese norm voor LCA's van bouwproducten. Nederland gaat ook volgens deze methode werken. Deze declaratie betekent overigens nog niet dat het biogeen vastgelegde CO₂ meetelt in de MKI en MPG; daarvoor zou een wijziging in de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken nodig zijn.

Dit verkennende onderzoek baseert zich op een model waarin het biogene koolstof wel wordt meegenomen in de duurzaamheidsprestatie. Uit dit model volgt dat als de koolstofopslag in hout in een LCA over een periode van 100 jaar wel wordt meegerekend, er netto de helft minder wordt bijgedragen aan klimaatverandering (GWP, in kg CO₂ emissie equivalenten), dan in het scenario zonder CO₂-opname. Dit betekent dat de CO₂-footprint van hout wordt ondergewaardeerd in de huidige LCA-methode.

De impact op klimaatverandering uitgedrukt in kg CO₂ equivalenten is in dit rapport berekend voor twee woningcasco's, in houtskeletbouw (HSB) en in kruislaaghout (CLT) en afgezet tegen een referentie. Als de vastlegging van koolstof in hout meetelt, wordt de totale netto CO₂-emissie gerelateerd aan de productie van de houten woningcasco's veel lager. In het geval van CLT is de netto uitstoot zelfs negatief: er wordt over 100 jaar meer CO₂-uitstoot vermeden dan dat er wordt uitgestoten bij de productie.

Klimaatverandering (Global Warming Potential) is een van elf milieueffect-categorieën die na karakterisatie en weging samen leiden tot een MPG of MKI-score. Nader onderzoek is nodig om te bepalen hoe biogene koolstofopslag kan worden meegenomen in de MPG of MKI-prestatie.

Voor een verdiepende studie is het wenselijk te rekenen met voor duurzaamheid en circulariteit geoptimaliseerde casco's. Als houten casco's droog en demontabel worden ontworpen kan aannemelijk worden gemaakt dat koolstof langer dan 100 jaar opgeslagen blijft. Dit wordt in de huidige LCA-methodiek aangemerkt als permanent en wordt dan wel meegerekend.

De levenscyclusanalysemethode is ontwikkeld in een lineaire economie, waarbij producten aan het einde van de levensduur als afval vrijkomen. Nu we op weg zijn naar een circulaire economie is het aan te bevelen scenario's voor hergebruik te onderzoeken en eventuele aanpassingen in de LCA-methodiek door te voeren.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	4
1.1 Houtbouw & CO ₂	4
1.2 Houtskeletbouw (HSB) en houtbouw met kruislaaghout (CLT).....	5
1.2.1 HSB.....	5
1.2.2 CLT	6
2 Duurzaamheid, milieuprestatie en CO₂	7
2.1 Biogeen CO ₂ in de huidige LCA-methodiek	7
2.2 Model om de biogene CO ₂ -opname inzichtelijk te maken.....	8
3 Impactanalyse HSB en CLT casco's	10
3.1 Afbakening en opzet van de case studie.....	10
3.2 Resultaat van de case studies.....	11
4 Conclusies en Aanbevelingen	13
4.1 Conclusie	13
4.2 Aanbevelingen	13
Referenties	14
Ondertekening	16
BIJLAGE 1: Toelichting woningelementen voor impactvergelijking	17

1 Inleiding

1.1 Houtbouw & CO₂

Houtbouw staat in Nederland volop in de belangstelling sinds de 'herontdekking' van kruislaaghout (CLT) als constructiemateriaal. Dit CLT-hout kan dankzij de massieve opbouw en grote afmetingen op constructieve wijze worden toegepast in casco's voor woningen en flats. In Nederland is inmiddels ervaring opgedaan met CLT-hout in zowel grondgebonden woningen alsook in gestapelde bouw en utiliteitsbouw.

De gestapelde CLT-projecten in Amsterdam zoals Patch22, het Jakartahotel en de in aanbouw zijnde woontoren Haut springen in het oog. Verspreid over het land worden bovendien diverse woningbouwprojecten met CLT-hout gerealiseerd. Eind 2019 werd door Tegenlicht een uitzending gewijd aan de nieuwe trend om in hout te bouwen. CLT-hout wordt daarin het beton van de 21^{ste} eeuw genoemd (VPRO, 2019).

Hoogwaardig en langjarig houtgebruik leidt tot vermindering van de CO₂-uitstoot en kan daarmee een bijdrage leveren aan de klimaatdoelstellingen van Parijs. Hout uit duurzaam beheerde bossen is een hernieuwbare grondstof, die binnen een of twee generaties bijgroeit. Bomen nemen CO₂ op uit de atmosfeer en leggen tijdens de groei koolstof vast in hout. Met een ruime meerderheid in de Tweede Kamer werd in het najaar van 2019 een motie van Jessica van Eijs (D66) aangenomen met het verzoek om in kaart te brengen wat de bijdrage van grootschalige bouw in hout kan zijn voor klimaatverandering, het stikstofprobleem en het woningtekort (van Eijs, 2019).

In 2016 en 2019 hebben W/E adviseurs en NIBE onderzoek gedaan naar het potentieel van koolstofopslag in (biobased) houtskeletbouw woningen (HSB). Beide onderzoeken concluderen dat HSB woningbouw bij opschaling aanzienlijke klimaatwinst kan opleveren (W/E, 2016) (NIBE, 2019).

De milieu-impact van bouwmaterialen en bouwprojecten wordt berekend aan de hand van de levenscyclusanalyse-methode (LCA) op basis van de in Nederland vigerende Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken (NMD, 2020). Onderdeel hiervan is de bijdrage aan de klimaatverandering (GWP), uitgedrukt in CO₂-equivalenten. De Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken is gebaseerd op de Europese Norm 15804.

In de nieuwste versie van de EN 15804 (A2, 2019) is 'klimaatverandering – biogeen' per 1-1-2021 een aparte impactcategorie geworden. Hiermee ontstaat de mogelijkheid de vermeden CO₂-uitstoot door vastlegging van koolstof in biobased producten als hout expliciet te onderscheiden. In de vigerende LCA-methode wordt dit tijdelijk vastgelegde koolstof nog niet meegerekend bij het milieueffect klimaatverandering (GWP global Warming Potential). Men gaat uit van de veronderstelling dat hout binnen de standaardperiode van honderd jaar wordt afgedankt en verbrand.

In dit verkennende onderzoek wordt de uitgestelde / vermeden CO₂-uitstoot wel meegerekend. Hiertoe zijn woningcasco's in HSB en in CLT met elkaar vergeleken, afgezet tegen een referentiestandaard, een casco van beton.

Binnen de bestaande LCA-kaders is de CO₂-prestatie van de drie casco-varianten bepaald. In een eerste scenario wordt de (tijdelijke) CO₂-vastlegging niet meegenomen, in een tweede scenario wel.

De resultaten van dit eerste, verkennende onderzoek zijn eerder gepresenteerd tijdens het webinar over biobased bouwen '*Houtbouw van hype naar impact*' op 23 september 2020 tijdens de Dutch Green Building Week (TNO, 2020).

In de volgende paragraaf wordt de afbakening van dit onderzoek toegelicht en worden definities gegeven van gebruikte termen. In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de LCA-methodiek, de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken en wordt een model toegelicht waarin biogeen CO₂ in hout wordt meegerekend. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de impactanalyse weergegeven. In hoofdstuk 4 volgen enkele eerste conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

1.2 Houtskeletbouw (HSB) en houtbouw met kruislaaghout (CLT)

In dit rapport staan twee bouwsystemen in hout centraal: houtskeletbouw (HSB) en cross laminated timber (CLT).

1.2.1 HSB

Houtskeletbouw is een bouwsysteem van geprefabriceerde, al dan niet dragende constructieonderdelen, samengesteld uit diverse materialen, waaronder ten minste hout en/of houten plaatmaterialen met een aandeel in de sterkte, stabiliteit en stijfheid, en producten om daarmee een al dan niet compleet en gebruiksklaar gebouw te realiseren. In Nederland gaat het in de regel om een bouwsysteem opgebouwd uit stijl- en regelwerk van hout. Deze HSB-elementen bestaan uit een raamwerk van dunne houten balken, die aan beide zijden worden versterkt met beplating en waartussen isolatiemateriaal wordt geplaatst.



Figuur 1: Houtskeletbouw

De buitengevel kan in principe van elk materiaal zijn; in Nederland wordt vaak voor baksteen gekozen. Het aandeel houtskeletbouw in de woningbouw wordt door Centrum Hout geschat op ongeveer 3% in Nederland. Het gaat om ruwweg 1.500

woningen per jaar. HSB-elementen worden ook in andere woningen gebruikt, vaak voor de verdieping of de zolder.

1.2.2 CLT

CLT is een afkorting voor Cross Laminated Timber ofwel kruislaaghout. CLT is niet speciaal nieuw – een patent hierover dateert van 1923 – maar de opschaling van de industriële productie in Europa is dat wel. CLT bestaat uit ten minste drie kruislings ten opzichte van elkaar verlijmde lamellen, veelal samengesteld uit vurenhout. Door de kruislingse verlijming ‘werkt’ het hout nagenoeg niet meer en is het geschikt als constructiemateriaal voor dragende wanden en vloeren en kunnen grote overspanningen worden gerealiseerd.

CLT wordt geproduceerd uit vurenhout uit PEFC of FSC gecertificeerde bossen in plaatvorm bij een standaardbreedte van 3,50 m, een dikte tot 400 mm en een lengte van 6 tot 17,80 meter (Derix, 2020). CLT is te combineren met andere bouwmaterialen zoals beton en staal. De prefab CLT-panelen worden in de fabriek op maat gemaakt en direct op de bouwplaats geleverd en gemonteerd.

In Nederland is bouwen met CLT relatief nieuw. Er zijn op het moment van schrijven enkele tientallen projecten in de woning- en utiliteitsbouw gerealiseerd en er staan nieuwe projecten op stapel.



Figuur 2: CLT-kern van de Triodos Bank in Driebergen (JP v Eesteren)

2 Duurzaamheid, milieuprestatie en CO₂

2.1 Biogeen CO₂ in de huidige LCA-methodiek

Een belangrijke aanleiding voor dit onderzoek is de toegenomen interesse in industriële houtbouw en de mogelijkheid om daarmee voor langere tijd koolstof vast te leggen. Koolstofopslag in bouw hout kan, mits toegepast op grote schaal, klimaatverandering vertragen: er worden CO₂ emissies vermeden of tenminste voor langere tijd uitgesteld.

In de wetenschappelijke literatuur wordt een overzicht gegeven van de mogelijke opties om CO₂ opname in hout te meten en te waarderen in de levenscyclusanalyse methode (Hoxha et al., 2020) (Brandão et al., 2013). Tijdens de groei van bomen en planten zoals vlas en hennep wordt koolstof vastgelegd. Men spreekt hier van biogeen CO₂; in hout of andere biobased materialen opgeslagen koolstof.

De in Nederland gehanteerde LCA methode wordt de 0/0 methodiek genoemd. In de -1/+1 LCA methode wordt de vastlegging van CO₂ expliciet zichtbaar gemaakt. Aan het einde van de levensduur komt het tijdelijk vastgelegde CO₂ alsnog vrij. Per saldo maakt het over de voor klimaatverandering gehanteerde periode van honderd jaar niet uit welke methode wordt gehanteerd.

Op Europees niveau is besloten om biogeen CO₂ expliciet zichtbaar te maken in LCA's, door het als een aparte milieu-effectcategorie op te nemen in de Europese norm voor LCA's van bouwproducten (EN15804 + A2). Hiermee is ook afgesproken om zowel in de grondstoffenfase (module A1) als in de eindelevensfase (module C & D) dit biogene CO₂ te benoemen.

Per 1-1-2021 wordt het biogene CO₂ apart worden gedeclareerd in LCA's. De nieuwe rekenregels van de Europese Norm 15804, die doorwerken in de Nederlandse Bepalingsmethode sinds 2020, maken hiermee de (tijdelijke) rol van biogene CO₂-vastlegging inzichtelijk voor wie inzoomt op de productiefase, module A.

Over 100 jaar bezien is het netto klimaateffect van biogeen vastgelegd koolstof in de huidige LCA methodiek nul, omdat er van wordt uitgegaan dat het vastgelegde koolstof binnen honderd jaar weer vrijkomt als CO₂.

2.2 Model om de biogene CO₂-opname inzichtelijk te maken

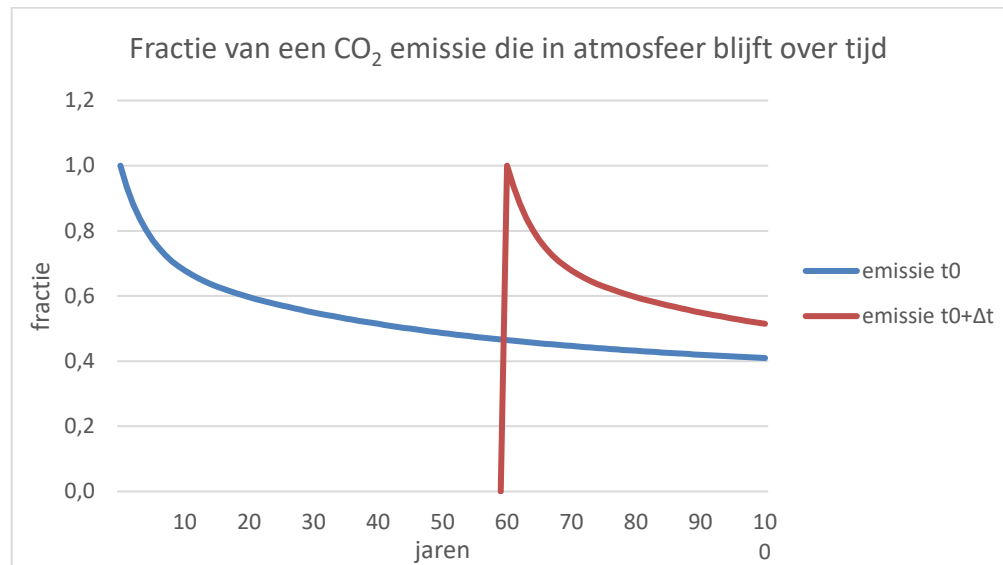
In dit verkennende onderzoek is een model opgezet om het effect van koolstofopslag in hout inzichtelijk te maken voor de Nederlandse bouwsector. De kern van dit model is om te beschouwen hoeveel CO₂ er in de komende 100 jaar in de atmosfeer terecht komt wanneer er nu (t=0) een biobased bouwproduct ingezet wordt, wat pas na een aantal decennia (bijv. t=60 jaar) wordt afgedankt en dat af te zetten tegen een CO₂-emissie op t=0. Een biobased bouwproduct houdt gedurende zijn levensduur koolstof vast, en kan daarmee een uitstel van CO₂-emissies veroorzaken.

Duurzaam bosbeheer is een belangrijk uitgangspunt voor dit onderzoek. Alleen als de hoeveelheid koolstof opgeslagen in een productiebos van jaar-tot-jaar constant is of stijgt kan de koolstof in het hout gezien worden als een netto vastlegging van koolstof. Bij duurzaam bosbeheer zou dit altijd het geval moeten zijn.

Er wordt uitgegaan van een periode van 100 jaar, omdat de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken voorschrijft om klimaatveranderingseffecten te berekenen aan de hand van de IPCC-methode met een tijdsperspectief van 100 jaar. Deze periode wordt in LCA's gehanteerd als de standaard (JRC, 2010 EPA, 2020).

Een complicerende factor bij de berekening van de relatieve bijdrage van CO₂-emissie door de tijd is de natuurlijke verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer door interactie met oceanen en de biosfeer (bomen, planten). Dit leidt tot een verschil in de aanwezigheid van CO₂ in de atmosfeer over tijd, zoals weergegeven met de blauwe lijn in figuur 3. De oppervlakte onder de blauwe lijn komt overeen met een bijdrage van 1 kg CO₂-eq (per kg CO₂ uitstoot) aan het broeikasgaseffect in de vigerende LCA-methodologie. Hierbij is de CO₂-emissie 1,0 op t=0, maar neemt af over tijd als gevolg van de afbraak van CO₂ in de atmosfeer.

Wanneer tijdelijke CO₂-opslag wel mee wordt gerekend, bijvoorbeeld door hout te beschouwen dat de komende 60 jaar in gebruik is en pas na die periode de CO₂ doet vrijkomen, ontstaat er een ander beeld: de rode lijn in figuur 3. De oppervlakte onder deze rode lijn is de helft kleiner dan de oppervlakte over de blauwe lijn, wat betekent dat er de komende 100 jaar netto de helft minder broeikasgevoel optreedt in het scenario met CO₂-vastlegging.



Figuur 3: Fractie van CO₂ in de atmosfeer door emissie over 100 jaar, bij emissie op t=0 (blauwe lijn) en emissie op t=60 indien een koolstofhoudend product langer in gebruik wordt gehouden (rode lijn).

Uit dit model komt naar voren dat tijdelijke koolstofopslag in producten wel degelijk effect heeft, ook wanneer er naar een tijdsschaal van 100 jaar wordt gekeken. Dit betekent dat de CO₂-footprint (uitgedrukt in CO₂-emissie equivalenten) van biobased producten wordt ondergewaardeerd in de vigerende LCA-standaard.

3 Impactanalyse HSB en CLT casco's

3.1 Afbakening en opzet van de case studie

Dit onderzoek naar de klimaatimpact van CO₂-opslag richt zich op het gebruik van CLT en HSB als constructief materiaal in een casco van een tussenwoning en een appartement. Voor de details wordt verwezen naar bijlage 1 van dit rapport. Uitgangspunt voor de bouwkundige opbouw van de casco's zijn de BENG referentiewoningen (DGMR, 2016).

In deze vergelijking is uit praktische overwegingen toch gekozen voor dezelfde afmetingen van vloeren en dragende wanden, op basis van twee BENG-referentiegebouwen, zoals opgesteld door DGMR in 2016, in opdracht van BZK en gecoördineerd door RVO.

Om tegemoet te komen in de verwachte ontwerpverschillen zijn voor HSB en CLT scenario's met een laag en hoog materiaalgebruik gedefinieerd, om zo bandbreedte op de resultaten inzichtelijk te maken. De uitgangspunten voor het materiaalgebruik in de scenario's is samengevat in bijlage 1.

Voor CLT is in deze analyse 60 jaar gekozen als levensduur. In dit theoretische scenario wordt het casco daarna afgedankt en komt de CO₂ vrij. Andere scenario's en levensduren zijn hier natuurlijk ook denkbaar, maar deze zijn niet meegenomen in deze analyse.

Voor deze case studie is een indicatieve LCA-analyse uitgevoerd, waarbij wel de principes van de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken gevolgd zijn, maar geen uitgebreide dataverzameling heeft plaatsgevonden. In de analyses is alleen gekeken naar de materialen (productie van materialen, module A1-A3) en de gebruiksfase B (waarin de CO₂ vast ligt), om de vergelijking zo eenvoudig mogelijk te houden. Dit betekent dat overige levenscyclusfases buiten beschouwing zijn gelaten, zoals bijvoorbeeld de constructiefase en de einde levensfase. Voor een volledige MPG-berekening is deze analyse nog te beperkt; het is alleen bedoeld om een beeld te geven van de gevolgen van tijdelijke CO₂-opslag.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de standaard LCA-software SimaPro versie 9.0.0 en achtergronddata uit de Nationale Milieu Database versie 3.1. Er is gebruik gemaakt van categorie 3 data. Hierbij is niet de 30% opslag gehanteerd die in aanbestedingen vereist is, omdat het hier enkel gaat om een verkennend onderzoek en geen aanbesteding. De in SimaPro aanwezige LCIA-methode is gebruikt (NMD3.1 nov. 2019) om de CO₂-emissies / carbon footprint te berekenen. Dit is niet exact dezelfde versie als de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken 1.0, maar dat maakt voor de berekening van broeikasgasemissies volgens de klassieke set aan karakterisatiefactoren geen verschil. Andere milieueffecten dan CO₂ zijn voor dit onderzoek niet beschouwd.

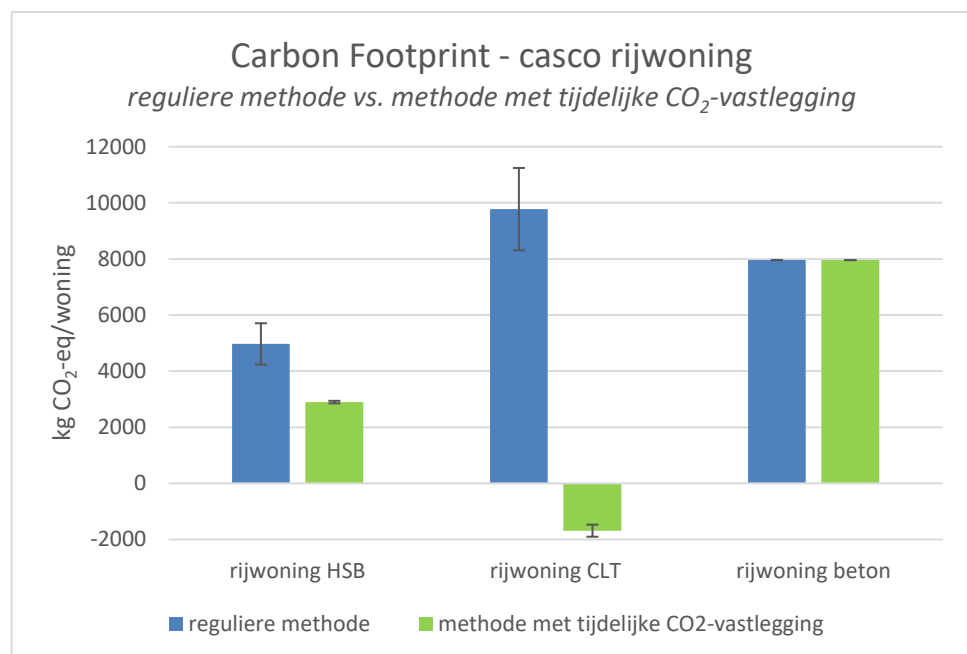
3.2 Resultaat van de case studies

In figuur 4 en figuur 5 zijn de CO₂-emissies van de drie verschillende bouwwijzen voor het casco van respectievelijk een rijwoning en appartementswoning weergegeven, volgens de reguliere Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken en een alternatieve rekenmethode waarbij CO₂-opname in hout wordt meegenomen, zoals gepresenteerd in hoofdstuk 2.

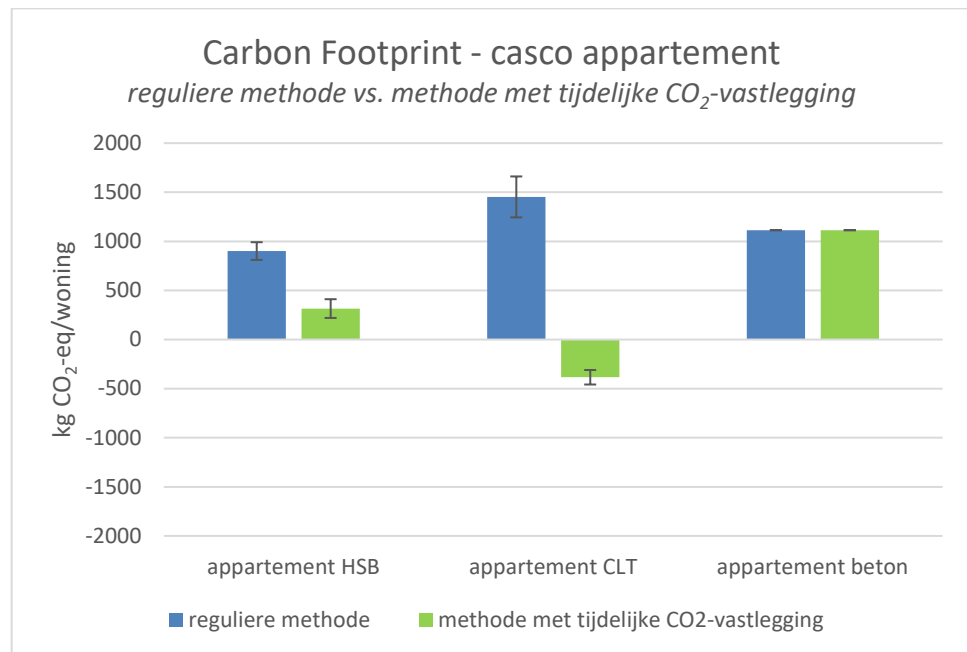
Wanneer wordt gerekend met de standaard LCA, zijn de CO₂-emissie equivalenten (ook wel carbon footprint genoemd) als gevolg van de productie van de rijwoning en de appartementswoning het laagst voor HSB. CLT heeft op basis van deze methode de hoogste carbon footprint, hoger ook dan het referentie casco o.b.v. beton.

In de huidige versie van de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken 1.0 wordt de vermeden bijdrage aan het broeikas effect van CO₂-opname in biobased materialen (biogene koolstofopslag) niet meegerekend (blauwe balken). Wanneer CO₂-opname wel meegerekend wordt op basis van de duur van de opslag, zoals in hoofdstuk 2 voorgesteld wordt, komt een duidelijk ander beeld naar voren.

Zoals aan de groene balken te zien is in de figuren 4 en 5, is de carbon footprint van de standaardgebouwen uitgevoerd in HSB of CLT bij de benadering met de alternatieve methode lager dan die van de referentie, en in sommige scenario's zelfs negatief. Dit laatste is een gevolg van het feit dat er relatief veel hout gebruikt wordt bij CLT. De netto carbon footprint van CLT is dan negatief doordat de vermeden emissies door koolstofopslag in het hout over honderd jaar gemeten groter zijn dan overige emissiebronnen bij productie.



Figuur 4: Carbon footprint voor het casco van een rijwoning, op basis van de reguliere rekenmethode en de alternatieve methode met tijdelijke CO₂-vastlegging. De foutbalken geven de spreiding aan qua materiaalgebruik.



Figuur 5: Carbon footprint voor het casco van een appartement, op basis van de reguliere rekenmethode en de alternatieve methode met tijdelijke CO₂-vastlegging. De foutbalken geven de spreiding aan qua materiaalgebruik.

4 Conclusies en Aanbevelingen

4.1 Conclusie

Op Europees niveau is besloten om biogeen CO₂ expliciet per 1-1-2021 zichtbaar te maken in LCA's, door het als een aparte milieu-effectcategorie op te nemen in de EN 15804, de Europese norm voor LCA's van bouwproducten. Hiermee wordt inzichtelijk wat het belang is van biogene CO₂-vastlegging.

Uit dit verkennende onderzoek komt naar voren dat als koolstofopslag in hout (biogene CO₂-vastlegging) in een LCA over een periode van 100 jaar wel wordt meegerekend, er netto sprake is van een halvering van de CO₂-emissie equivalenten (bijdrage aan klimaatverandering) in vergelijking met het gangbare scenario. Dit betekent dat de CO₂-footprint van hout wordt ondergewaardeerd in de vigerende LCA-standaard.

Als de vastlegging van koolstof in hout wordt meegerekend is de totale CO₂-emissie gerelateerd aan de productie van de houten casco's veel lager. In het geval van CLT is de netto uitstoot over 100 jaar zelfs negatief: er wordt meer koolstof opgeslagen dan dat er wordt uitgestoten bij de productie.

4.2 Aanbevelingen

Een verdiepend onderzoek is gewenst. In deze verkenning is de analyse beperkt gebleven tot de productiefase en gebruiksfase. Voor een MPG-berekening is dit onvoldoende en dienen ook de verdere levensfasen beschouwd te worden. Daarnaast is gebruik gemaakt van categorie 3 data. Inmiddels zijn er meer specifieke categorie 1 data voor CLT beschikbaar en zou het wenselijk zijn om de berekeningen daarmee te verrijken.

De MPG en MKI zijn in Nederland belangrijke instrumenten om de duurzaamheid van bouwwerken te bepalen. Verder onderzoek is nodig hoe biogene CO₂-opslag kan worden meegenomen in de MPG-berekening.

Er is in deze studie gerekend met standaard casco's. Voor een verdiepende studie is het aan te bevelen te rekenen met voor duurzaamheid en circulariteit geoptimaliseerde casco's. Als houten casco's droog en demontabel worden ontworpen kan aannemelijk worden gemaakt dat koolstof langer dan 100 jaar opgeslagen blijft. Dan wordt dit ook in de huidige LCA-methodiek aangemerkt als permanent. Bouwen met hout is dan een manier is om CO₂ langdurig op te slaan en draagt zo bij aan het terugbrengen van CO₂-uitstoot als gevolg van bouwactiviteiten;

De levenscyclusanalyse methode is ontwikkeld in een lineaire economie, waarbij producten aan het einde van de levensduur worden afgedankt. In het kader van het streven naar een circulaire economie is het aan te bevelen nader onderzoek te doen naar scenario's voor hergebruik en eventuele aanpassingen in de LCA-methodiek.

Referenties

Brandao, M. et al. (2013): *'Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting'*; in: *Journal of Life Cycle Assessment* 2013 (18); pp. 230-240.

Belzen, T. van (2020): *'Hout flink benadeeld in overheidseisen duurzaam bouwen'*; in: *Cobouw*, 4 december 2020.

DERIX (2020): CLT https://www.derix.de/data/DERIX_X_Lam_Brosch_NL_2019_03_WEB.pdf

DGMR (2016): *'Referentie gebouwen BENG (Bijna Energie Neutrale Gebouwen)'*; E.2015.1371.00.R0019; DGMR; Den Haag, 2016

Eijs, J. van (2019): *Motie over houtbouw als mogelijkheid om klimaatverandering tegen te gaan* <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2019Z20573&did=2019D43029>

EPA (2010): *'Understanding global warming potentials'*; Webartikel EPA 09-09-2020, www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials.

Fouquet, M. et al. (2015): *'Methodological challenges and developments in LCA of low energy buildings: application to biogenic carbon and global warming assessment'*; in: *Buildings & Energy* 90 2015; pp.50-59

Hoxha, E. (2020) et. al.: *'Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods'*; in: *Buildings and Cities*, 1(1), pp. 504–524.

JRC (2010): *'Analysis of existing Environmental Impact Assessment Methodologies for use in Life Cycle Assessment'*; ILCD Handbook European Commission – JRC, Ispra, 2010.

NIBE (2019): *'Potentie van biobased materialen in de bouw'*; NIBE Bussum, juli 2019

NMD (2020): *'CO2 opname in bouwmaterialen'*; webartikel NMD 16-11-2020 <https://milieudatabase.nl/co2-opname-in-bouwmaterialen/>

NMD (2020): *'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken 1.0'*; Stichting Nationale Milieu Database; Rijswijk, juli 2020.

Penaloza, Diego et. al. (2016): *'Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings'*; in: *Construction & Buildings Materials* 2016 (125); pp.219-226.

Telness, L.G.F. et al. (2017): *'Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: a review study for construction materials based on forest products'*; in: *iForest : Biogeosciences and Forestry*, 10:815-823.

TNO (2020): Webinar Biobased '*Houtbouw van Hype naar Impact*'; 23 september 2020 https://channel.royalcast.com/tnowebcasts/#!/tnowebcasts/20200923_1

VPRO (2019): '*Houtbouwers*'; <https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/kijk/afleveringen/2019-2020/houtbouwers.html>

W/E (2016): '*Klimaatwinst door bouwen in hout*'; W/E Adviseurs; Utrecht, 2016.

Ondertekening

Delft/Utrecht, 18 januari 2021



Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager

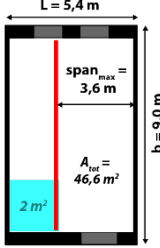
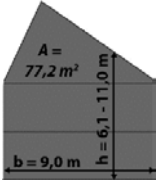


Elisabeth Keijzer
Auteur

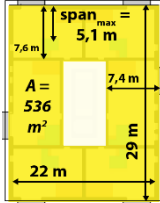
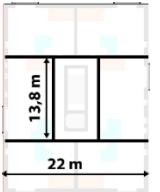
BIJLAGE 1: Toelichting woningelementen voor impactvergelijking

In onderstaande tabellen staan de scenario's uitgewerkt zoals gebruikt in de LCA-berekeningen. Twee scenario's zijn uitgewerkt in HSB, CLT en beton. Dit is zowel gedaan voor een rijtjeswoning (woning S tussen) als een appartementswoning (woongebouw M). In de tabellen zijn de materialen en hoeveelheden aangegeven voor de verdiepingvloeren en woning scheidende wanden.

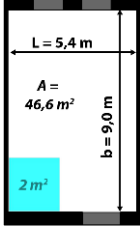
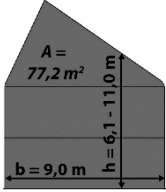
Tabel 1: Input data scenario 1 – Woning S tussen

Elementen	HSB	CLT	Beton
Verdiepingsvloer (x2 verdiepingen) 	Balklaag - Vuren 44 x 219, h.o.h. 488 L = 5,4 m (x20 pcs) V = 1,0 m³ (x2) Ondervloer Triplex/OSB 18mm V = 0,83 m³ (x2) Isolatie Minerale wol 80mm V = 3,7 m³ (x2) Plafond Gipskartonplaat 12,5mm V = 0,58 m³ (x2)	140 mm CLT - Vuren V = 6,5 m³ (x2) Drukvastе harde isolatie 50 mm (steenwol geperst) V = 2,3 m³ (x2) Gipsvezelplaat 12,5 mm V = 0,58 m³ (x2)	180 mm beton V = 8,4 m³ (x2)
wsw (dragend) (0,5 wand x2) 	Balklaag - Vuren 2 x 38 x 89 mm h.o.h. 400 L = 8,6 m (x23 pcs) V = 1,3 m³ (x1) Gipsvezelplaat 2 x 15 mm V = 2,3 m³ (x1) Minerale wol 2 x 90mm V = 14 m³ (x1)	2 x 80 mm CLT - Vuren V = 12 m³ (x1) Minerale wol 30 mm V = 2,3 m³ (x1) 2 x 12,5 mm gipsplaat V = 1,9 m³ (x1)	250 mm beton V = 19 m³ (x1)

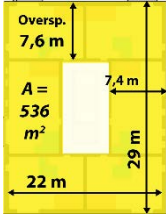
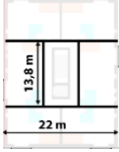
Tabel 2: Input data scenario 1 - Woongebouw M woningen

Elementen	HSB	CLT	Beton
<p>Vloeren, wsv (1 verdieping, / 6 woningen)</p> 	<p>69 x 269 h.o.h 305 – Vuren L = 7,5 (x235 pcs) V = 33 m³ (/6)</p> <p>24 mm triplex ondervloer V = 13 m³ (/6)</p> <p>Op de vloer 20 mm minerale wol steenwol geperst V = 11 m³ (/6)</p> <p>Plafond 2 x 15 mm gipsvezelplaat V = 16 m³ (/6)</p> <p>Isolatie Minerale wol 80 mm V = 43 m³ (/6)</p>	<p>200 mm CLT - Vuren V = 107 m³ (/6)</p> <p>Drukvaste harde isolatie 50 mm (steenwol geperst) V = 26,8 m³ (/6)</p> <p>Gipsvezelplaat 12,5 mm V = 6,7 m³ (/6)</p>	<p>210 mm beton V = 113 m³ (/6)</p> <p>25 mm isolatie (steenwol geperst) V = 13 m³ (/6)</p>
<p>Dragende wsv (h= 3,1 m)</p>  <p>Totale lengte = 72 m Totale oppervlakte = 223 m²</p>	<p>Balklaag - Vuren 2 x 38 x 89 mm h.o.h. 400 L = 3,1 m (x180 pcs) V = 3,8 m³ (/6)</p> <p>Gipsvezelplaat 2 x 15 mm V = 6,7 m³ (/6)</p> <p>Minerale wol 2 x 90mm V = 40 m³ (/6)</p>	<p>2 x 80 mm CLT - Vuren V = 36 m³ (/6)</p> <p>Minerale wol 30 mm V = 6,7 m³ (/6)</p> <p>2 x 12,5 mm gipsplaat V = 5,6 m³ (/6)</p>	<p>Beton 250 mm V = 56 m³ (/6)</p>

Tabel 3: Input data scenario 2 - Woning S tussen

Elementen	HSB	CLT	Beton
Verdiepingsvloer <i>(x2 verdiepingen)</i> 	Balklaag - Vuren 69 x 244, h.o.h. 305 L = 5,4 m (x30 pcs) V = 2,7 m³ (x2) Ondervloer Triplex/OSB 18mm V = 0,83 m³ (x2) Isolatie Minerale wol 80mm V = 3,7 m³ (x2) Plafond Gipskartonplaat 12,5mm V = 0,58 m³ (x2)	200 mm CLT - Vuren V = 9,3 m³ (x2) Drukvaste harde isolatie 50 mm (steenwol geperst) V = 2,3 m³ (x2) Gipsvezelplaat 12,5 mm V = 0,58 m³ (x2)	180 mm beton V = 8,4 m³ (x2)
wsw (dragend) <i>(0,5 wand x2)</i> 	Balklaag - Vuren 2 x 2 x 38 x 89 mm h.o.h. 600 L = 8,6 m (x16 pcs) V = 1,9 m³ (x1) Gipsvezelplaat 2 x 2 x 15 mm V = 4,6 m³ (x1) Minerale wol 2 x 90mm V = 14 m³ (x1)	2 x 100 mm CLT - Vuren V = 15 m³ (x1) Minerale wol 30 mm V = 2,3 m³ (x1) 2 x 2 x 12,5 mm gipsplaat V = 3,9 m³ (x1)	250 mm beton V = 19 m³ (x1)

Tabel 4: Input data scenario 2 - Woongebouw M woningen

Elementen	HSB	CLT	Beton
<p>Vloeren, wsv (1 verdieping, /6 woningen)</p> 	<p>Constructief 69 x 269 h.o.h 305 – Vuren L = 7,5 (x235 pcs) Extra volume oversp.: 200% V = 66 m³ (/6)</p> <p>24 mm triplex ondervloer V = 13 m³ (/6)</p> <p>Op de vloer 20 mm minerale wol steenwol geperst V = 11 m³ (/6)</p> <p>Plafond 2 x 15 mm gipsvezelplaat V = 16 m³ (/6)</p> <p>Isolatie Minerale wol 80 mm V = 43 m³ (/6)</p>	<p>280 mm CLT - Vuren V = 150 m³ (/6)</p> <p>Drukvastе harde isolatie 50 mm (steenwol geperst) V = 26,8 m³ (/6)</p> <p>Gipsvezelplaat 12,5 mm V = 6,7 m³ (/6)</p>	<p>210 mm beton V = 113 m³ (/6)</p> <p>25 mm isolatie (steenwol geperst) V = 13 m³ (/6)</p>
<p>Dragende wsv (1 verdieping: h= 3,1 m)</p>  <p>Totale lengte = 72 m</p> <p>Totale oppervlakte = 223 m²</p>	<p>Balklaag - Vuren 2 x 2 x 38 x 89 mm h.o.h. 600 L = 3,1 m (x120 pcs) V = 5,0 m³ (/6)</p> <p>Gipsvezelplaat 2 x 2 x 15 mm V = 13 m³ (/6)</p> <p>Minerale wol 2 x 90mm V = 40 m³ (/6)</p>	<p>2 x 100 mm CLT - Vuren V = 45 m³ (/6)</p> <p>Minerale wol 30 mm V = 6,7 m³ (/6)</p> <p>2 x 2 x 12,5 mm gipsplaat V = 11 m³ (/6)</p>	<p>Beton 250 mm V = 56 m³ (/6)</p>