



# Bouwen met hout of beton?

## Een vergelijking tussen hout en beton op basis van feiten

*Beton draagt wereldwijd meer dan 7% bij aan de totale CO<sub>2</sub>-emissie, terwijl in hout als bouw materiaal juist CO<sub>2</sub> is vastgelegd. Hout lijkt daarmee wat CO<sub>2</sub> betreft een ideaal bouw materiaal. Maar in werkelijkheid leidt met name het gebruik van CLT (verlijmd gelamineerd hout) in plaats van beton niet tot minder maar tot méér CO<sub>2</sub>-emissie.*

*In dit artikel leggen we uit hoe dat zit.*

auteur



IR. EDWIN VERMEULEN MBA

Sectorsecretaris cement  
Betonhuis

## CLT

CLT is verlijmd gelamineerd hout, ook wel kruislaaghout genoemd of in het Engels cross laminated timber. De bouwelementen zijn opgebouwd uit kruislings verlijmde planken (foto 1). Voor balken worden de planken in dezelfde richting verlijmd en het materiaal wordt dan gelamineerd hout of in het Engels glue laminated timber of glulam genoemd.



## Beton

De relatief hoge CO<sub>2</sub>-emissie van beton, voornamelijk veroorzaakt door het in beton toegepaste cement, is niet te wijten aan een ongunstig CO<sub>2</sub>-profiel, maar het directe gevolg van de enorme vraag naar beton. Beton is zó populair dat er wereldwijd meer beton wordt geproduceerd dan alle andere materialen bij elkaar. In Nederland draagt beton zo'n 1,6% bij aan de totale CO<sub>2</sub>-emissie, inclusief wapeningsstaal en inclusief de emissies die in het buitenland plaatsvinden bij de productie van cement en wapeningsstaal [3]. En dat terwijl ruim 75% van de totale massa aan bouwmaterialen voor de woning- en utiliteitsbouw uit beton bestaat [4]. Alle andere materialen, waaronder baksteen, gips, glas, isolatiemateriaal, keramiek, hout, kunststoffen en staal, vormen bij elkaar dus minder dan 25% van de totale massa aan bouwmaterialen. Die 1,6% moet uiteraard verder omhoog en op termijn naar nul. De Europese cementindustrie streeft dan ook, in lijn met de Europese Green Deal, naar CO<sub>2</sub>-neutraal cement en beton in 2050 [5].

## CO<sub>2</sub>-opslag in hout

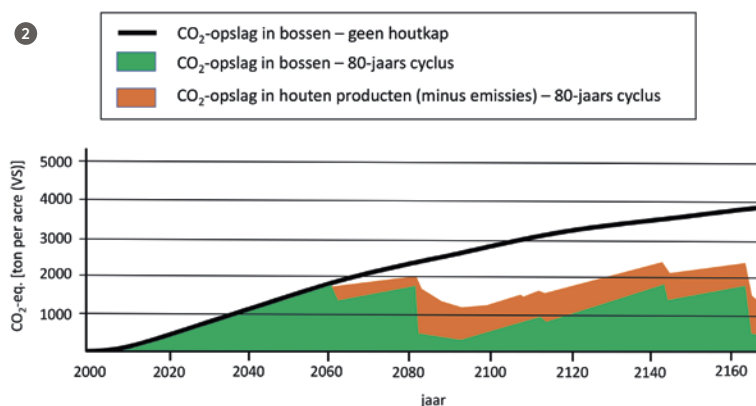
Bomen absorberen CO<sub>2</sub> uit de lucht en zetten dat om in koolstof in het hout en de wortels. Hout bestaat voor ongeveer 50% (m/m) uit koolstof [8][11]. Omgerekend komt dit overeen met een hoeveelheid van 1,8 ton vastgelegde CO<sub>2</sub> in 1 ton hout. De in houten producten vastgelegde CO<sub>2</sub> komt echter binnen een mensenleven weer vrij. Hout wordt vroeg of laat namelijk weer verbrand of het vergaat. Slechts zo'n 1% van een boom zit na 100 jaar nog in een houten product [9].

Daarom moeten volgens de Europese norm voor het uitvoeren van levenscyclusanalyses (EN 15804 [10]) de opname en afgifte van CO<sub>2</sub> tegen elkaar weggestreept worden, zodat er netto geen sprake is van CO<sub>2</sub>-opslag.

Voor optimale opslag van CO<sub>2</sub> in hout moet men de bomen in de bossen zo lang mogelijk laten staan. Maar in werkelijkheid wordt een boom na zo'n 80 jaar of eerder gekapt. Daardoor is de CO<sub>2</sub>-opslag in hout minder, zoals blijkt uit figuur 2 (gebaseerd op [11]). Het kappen na 45, 50 of 120 jaar levert geen ander beeld op [16][17]. Figuur 2 lijkt overigens nog vrij optimistisch, aangezien minder dan eenderde van het oorspronkelijke volume van een boom in een houten product met een lange levensduur eindigt.

Wanneer een boom wordt gekapt blijft circa 40% achter in het bos in de vorm van takken en wortels [9]. Van de resterende 60% gaat nog de helft tot meer dan de helft verloren bij de productie in de vorm van schors, zaagsel en houtsnippers [9][12]. Uiteindelijk komt slechts 23% tot 30% van het oorspronkelijke volume terecht in houten producten met een lange levensduur (figuur 3). De overige koolstof zal dus relatief snel als CO<sub>2</sub> vrijkomen (verbranden of verrotten).

In een deel van de rapporten waarnaar in dit artikel wordt verwezen, wordt gesteld dat er wel degelijk CO<sub>2</sub>-winst te behalen is met houten bouwmaterialen, door bijvoorbeeld beton te vervangen. De door deze vervanging ontstane 'CO<sub>2</sub>-besparing' wordt bij de CO<sub>2</sub>-opslag in bossen en houten producten opgeteld. Maar dat is net zo onzinnig als bij een betonconstructie ook nog de uitgespaarde CO<sub>2</sub> mee te rekenen omdat geen CLT is gebruikt. →



1 CLT, verlijmd gelamineerd hout, bron: Wikimedia Commons

2 CO<sub>2</sub>-opslag in bossen en houten producten bij houtkap met een cyclus van 80 jaar en zonder houtkap



# 75% van de totale massa aan bouwmaterialen voor de woning- en utiliteitsbouw bestaat uit beton

## LCA-analyse

Claims over de milieuprestaties van bouwmaterialen moeten worden gebaseerd op een zogeheten LCA (LevensCyclus Analyse, zie kader 'Wat is een LCA-analyse?'). Een van de onderdelen daarbij is het broeikas-effect (uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten). Uit zulke analyses volgt dat beton per kg een twee tot vier maal lagere CO<sub>2</sub>-footprint heeft dan verlijmd gelamineerd hout (figuur 4). Uit figuur 4 blijkt dat er CO<sub>2</sub> vrijkomt bij het produceren van hout voor toepassing als bouw materiaal. De stelling dat er sprake is van CO<sub>2</sub>-opslag is dus onjuist. Dit komt omdat er, zoals eerder aangegeven, bij de groei van een boom weliswaar CO<sub>2</sub> wordt omgezet in koolstof, maar dat deze als CO<sub>2</sub> op termijn weer wordt vrijgegeven.

Gevoelsmatig is hout als bouw materiaal weliswaar milieuvriendelijker dan beton, maar uit LCA-analyses blijkt dus dat dat, zeker voor CLT en per kg (figuur 4), niet het geval is. Hiervoor zijn verschillende oorzaken aan te wijzen.

1 Bij de productie van cement komt veel CO<sub>2</sub> vrij, maar beton bestaat voor veruit het grootste gedeelte uit zand en grind, materialen die bij wijze van spreken gewoon opgescheept worden en waar bij de productie weinig CO<sub>2</sub> vrijkomt. Bij de winning van zand en grind wordt er overigens ruimte voor rivie-

ren gemaakt of worden recreatie- of natuurgebieden gecreëerd. De biodiversiteit neemt in de regel toe ten opzichte van voordat winning plaatsvond [13].

2 Hout moet vaak over relatief grote afstanden worden aangevoerd (bijvoorbeeld uit Scandinavië, Oost-Europa of Oostenrijk), terwijl beton vrijwel overal ter wereld met regionale grondstoffen regionaal wordt geproduceerd.

3 Beton vraagt in tegenstelling tot hout vrijwel geen onderhoud, verduurzaming of verflagen; het onderhoud gedurende de levensduur wordt meegenomen in de LCA-analyses en dat is dus ongunstig voor hout. Overigens wordt bij LCA-berekeningen voor wat betreft de theoretische levensduur van een woning (75 jaar) of kantoor (50 jaar) geen onderscheid gemaakt tussen beton en hout.

4 Voor de productie van CLT worden harsen en lijmen gebruikt, waaronder stoffen zoals polyurethaan en melamine-formaldehyde, en voor toepassing in de bouw ook coatings om het hout de eerste jaren te beschermen.

5 Bij de kunstmatige droging van hout komen emissies vrij.

Overigens zijn er enkele aspecten die niet worden meegenomen bij een LCA-analyse van een houtproduct, terwijl ze wel een negatief effect op het milieu hebben. Zo worden de opname en afgifte van CO<sub>2</sub> tegen elkaar weggestreepd, maar wanneer een boom niet gekapt zou zijn zou er meer CO<sub>2</sub> zijn vastgelegd dan in het geval van kappen en nieuw aanplanten (figuur 2). En na het kappen komt er CO<sub>2</sub> uit de bodem vrij. Dit effect kan ondanks het planten van nieuwe bomen de effectieve opname van CO<sub>2</sub> in een productiebos met 10 tot 20 jaar vertragen [20].

Bovengenoemde effecten hebben een grote invloed op het resultaat van een LCA van hout wanneer ze wel zouden worden meegenomen.

Bij de productie van portlandcement komt de meeste CO<sub>2</sub> vrij bij het zogeheten calcineren van kalksteen. Dat kalksteen vrijwel volledig biologisch wordt gevormd door skeletten van plankton en dat er in de oceanen jaarlijks meer kalksteen wordt gevormd door

maximaal 30% van een boom eindigt in houtproducten met een lange levensduur

3



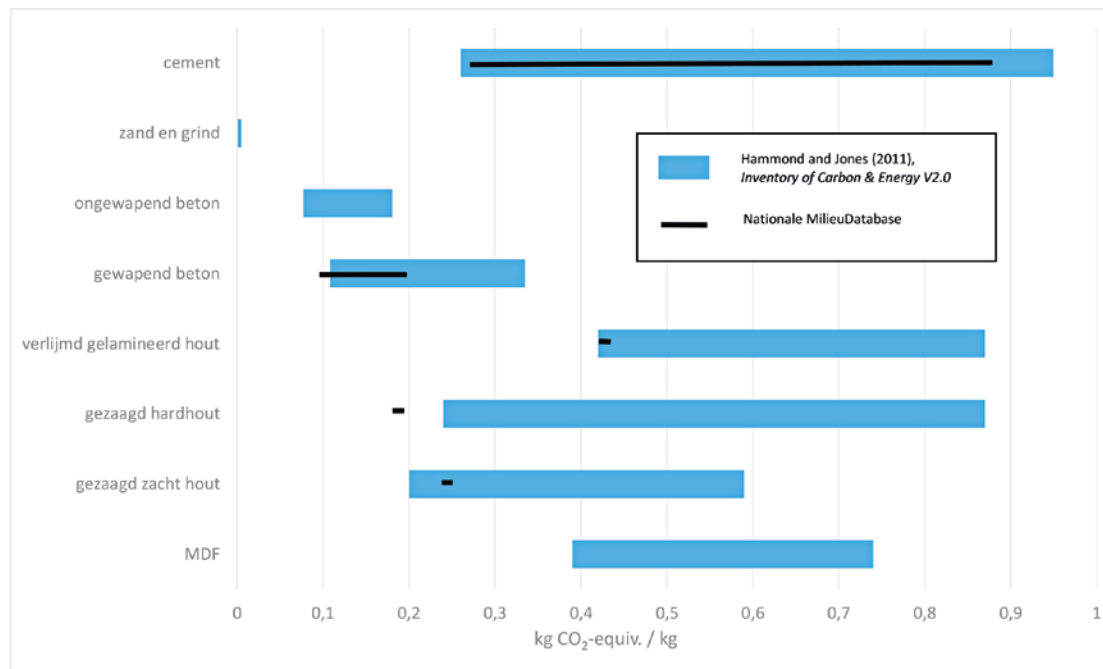
plankton (waarbij CO<sub>2</sub> wordt vastgelegd) dan er voor de cementproductie wordt gewonnen [14][15], mag (terecht) niet meegenomen worden in de LCA-analyse van cement.

## LCA-analyse CLT

Bij een LCA-analyse van houten producten mag men rekening houden met een potentiële besparing op het gebruik van brandstoffen bij de verbranding aan het einde van de

levensduur. Dit leidt er wel toe dat Europese milieudata voor CLT een zeer grote spreiding laten zien, zoals blijkt uit figuur 5. Deze spreiding is vrijwel hoofdzakelijk het gevolg van de wijze waarop bij een LCA met de zogenoemde module D in EN 15804 wordt omgegaan: de besparing op fossiele brandstoffen door het verbranden van hout. De CO<sub>2</sub>-emissie die hiermee wordt bespaard varieert van 33 tot maar liefst 414 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> CLT, ofte-

wel van 0,079 tot 0,88 kg CO<sub>2</sub> per kg CLT. Natuurlijk variëren de mogelijkheden voor nuttige verbranding van hout per regio, maar een factor 10 is niet aannemelijk. Overigens gaat het hierbij om de vervanging van fossiele brandstoffen aan het einde van de theoretische levensduur, dus voor een woning over verbranding na 75 jaar. Waarschijnlijk gebruiken we in 2095 nog slechts zeer beperkt fossiele brandstoffen, zodat het rekenen →



4

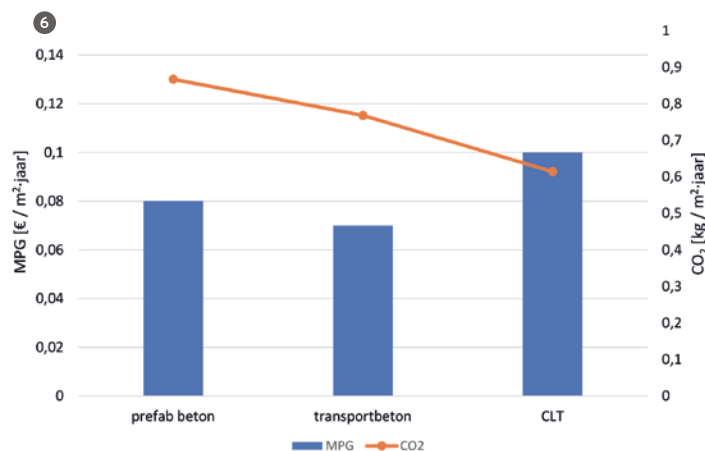
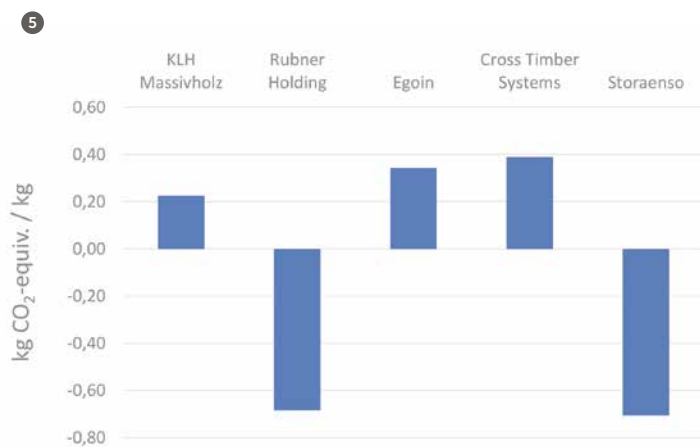
## WAT IS EEN LCA-ANALYSE?

Bij een LevensCyclusAnalyse (LCA) worden alle onderdelen van de levenscyclus van een bouw materiaal, van de winning van grondstoffen tot en met de verwerking aan het einde van de levensduur, beschouwd. Bij iedere processtap wordt van de voorgescreven milieueffecten de impact bepaald. Het gaat onder andere om het broeikas effect (emissie van broeikasgassen, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten), aantasting van de ozonlaag (uitgedrukt in CFK-equivalenten) en verzuring (uitgedrukt in SO<sub>2</sub>-equivalenten). In Nederland worden elf milieueffecten gebruikt die vervolgens worden uitgedrukt in één getal: de milieukostenindicator (MKI). Hiervoor worden de milieueffecten vermenigvuldigd met een weegfactor en vervol-

gens gesommeerd. Het resultaat is een enkel getal, uitgedrukt in euro's per eenheid product. Theoretisch geeft dit getal de kosten weer die gemaakt zouden moeten worden om de betreffende milieueffecten weer te compenseren. Door de milieueffecten uit te drukken in één getal kunnen materialen goed onderling vergeleken worden. Materialen worden ook vaak op de belangrijkste van de elf milieueffecten vergeleken: de emissie van broeikasgassen. Dit milieueffect heeft bij de meeste materialen wel veruit de grootste invloed op de MKI, maar de MKI geeft een completer beeld. De spelregels voor het uitvoeren van LCA-analyses zijn vastgelegd in de Europese norm EN 15804. In Nederland zijn er naast

de EN 15804 nog aanvullende bepalingen voor het uitvoeren van LCA-analyses. Deze aanvullende bepalingen zijn vastgelegd in de zogeheten Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' [19]. Deze bepalingmethode is sinds 1 januari 2018 door de wetgever aangewezen. Vanaf die datum moet voor nieuwbouw van gebouwen de milieuprestatie worden berekend. Deze Milieuprestatie Gebouwen (MPG) is de som van de MKI's van de in een bouwwerk toegepaste materialen en installaties, gedeeld door het vloeroppervlak en de theoretische levensduur van de constructie. In de grond-, weg- en waterbouw wordt de MKI steeds vaker gebruikt als gunningscriterium in aanbestedingen.

4 Vergelijking CO<sub>2</sub>-footprint van hout en (grondstoffen voor) beton. De gegevens komen uit een veel gebruikte bron uit Engeland [6] en uit de Nederlandse Nationale MilieuDatabase [7]. De opgegeven range voor gewapend beton omvat zowel transportbeton (inclusief in het werk aangebrachte wapening) als prefab beton in diverse toepassingen (balken, diverse typen vloeren, balkons, galerijplaten, trappen, wanden en heipalen)



*Uit analyses volgt dat beton per kg een twee tot vier maal lagere CO<sub>2</sub>-footprint heeft dan verlijmd gelamineerd hout*

met de besparing in fossiele brandstoffen die nu gerealiseerd kan worden discutabel is, maar er mag mee worden gerekend.

In Nederland rekenen we met het scenario waarbij afvalhout wordt verbrand in een afvalenergiecentrale (voorheen afvalverbrandingsinstallatie genoemd). Het rendement hierbij is zeer beperkt, waarmee ook de CO<sub>2</sub>-besparing beperkt is (minder dan 80 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> hout). Doordat deze aanpak is vastgelegd in de eerder genoemde Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' wordt een grote spreiding in milieudata voor CLT zoals we in Europa zien voorkomen.

De milieudata voor de grondstoffen voor beton laten relatief weinig spreiding zien. Zo varieert de CO<sub>2</sub>-emissie per ton hoogoven cement CEM III/B van 264 tot 356 kg en per ton portlandcement CEM I 52,5 R van 805 tot 877 kg. Voor een gegeven betonsamenstelling zitten de uitschieters ook hooguit 15% van het gemiddelde af.

### Vergelijking op gebouwniveau

De resultaten van LCA-analyses op gebouwniveau zijn uiteraard relevanter dan een directe vergelijking tussen bouwmaterialen. De vergelijking per kg geeft immers geen juist beeld voor de toepassing van een materiaal in een bouwwerk. Zo is CLT veel lichter dan beton. Gewapend beton weegt ongeveer 2.400 kg/m<sup>3</sup> terwijl CLT slechts zo'n 500 kg/m<sup>3</sup> weegt. Van CLT is wel weer meer nodig (volume) dan van beton om dezelfde krachten en belastingen aan te kunnen als een vergelijkbare constructie in beton. Verder geldt dat voor CLT er ten opzichte van een draagconstructie in beton

nog aanvullend brandwerende bekleding nodig is, hetgeen de duurzaamheid niet ten goede komt. En voor het verwarmen en koelen van een houten constructie is, door de geringe thermische massa, meer energie nodig dan voor een betonconstructie. Dit verschil is dermate groot dat hiermee in de regelgeving voor bijna energieneutrale gebouwen (BENG), van toepassing vanaf 1 januari 2021 voor zowel woning als utiliteitsbouw, rekening is gehouden. Voor houten woningen mag de energiebehoefte 5 kWh per m<sup>2</sup> per jaar hoger liggen dan voor woningen van beton, baksteen of kalkzandsteen.

Een kWh komt op basis van de voor Nederland representatieve stroommix van kolen, gas en kernenergie neer op een emissie van 0,649 kg CO<sub>2</sub> [18]. Uitgaande van een woning van 125 m<sup>2</sup> en 5 kWh per m<sup>2</sup> per jaar gaat het na 15 jaar gebruik om een verschil van 9.375 kWh = 6.084 kg CO<sub>2</sub>. Een gemiddelde woning bevat 20 m<sup>3</sup> gewapend beton met een CO<sub>2</sub>-profiel van gemiddeld maximaal ongeveer 300 kg/m<sup>3</sup>. Het beton komt dus overeen met 6.000 kg CO<sub>2</sub>. Een houten woning heeft dus al na 15 jaar net zoveel CO<sub>2</sub>-emissie *extra* veroorzaakt door het hogere energieverbruik, als zou zijn veroorzaakt door de productie van beton voor een woning. Daar komt de CO<sub>2</sub>-emissie van het bouw materiaal hout dan nog bij.

### Buitenlandse studies

In de afgelopen twee jaar zijn in het buitenland studies uitgevoerd naar een vergelijking tussen constructies in beton en in CLT [21][22][23]. Het gaat om studies in België, Noorwegen en Zweden.

De studie in België is uitgevoerd door de KU Leuven in opdracht van Febelcem, de Belgische brancheorganisatie voor de cementindustrie. Hiervoor is gebruik gemaakt van TOTEM, de Belgische tool om de milieuprestatie van gebouwen te beoordelen. Vergeleken zijn een rijtjeshuis en een appartementencomplex van 8 verdiepingen. Voor een rijtjeshuis is er vrijwel geen verschil tussen een huis van beton of van regulier constructiehout, maar in het geval van het appartementencomplex heeft de CLT-variant 10% hogere milieukosten dan de betonvariant.

De Noorse studie is uitgevoerd door Østfoldforskning, het Noorse toonaangevende onderzoeksbureau op het gebied van LCA's, in opdracht van de Noorse branchevereniging voor betonelementen. Bij deze studie heeft men kantoren in prefab beton en CLT vergeleken van 4, 8 en 16 verdiepingen. Hiervoor is van de beschikbare zes LCA-analyseresultaten voor CLT degene met de laagste CO<sub>2</sub>-footprint genomen (ruim de helft lager dan de hoogste). In de vergelijking zijn dezelfde prestaties aangehouden van het bouwwerk, dus dezelfde overspanning, nuttig vloeroppervlak, geluidsisolatie en energieprestatie. Voor het beton is cement gebruikt met een klinkergehalte van minimaal 70%, hetgeen in vergelijking met de Nederlandse situatie wat ongunstiger is. Uit

het onderzoek volgde dat bij 4 verdiepingen CLT wat lager uitkomt in CO<sub>2</sub>-equivalent per m<sup>2</sup> vloeroppervlak. Bij 8 verdiepingen zijn CLT en beton vergelijkbaar en bij 16 verdiepingen is beton gunstiger.

Bij de Zweedse studie, uitgevoerd door SP Technical Research Institute of Sweden, is een appartementencomplex op basis van beton (in het werk gestort en prefab) en een verder identiek appartementencomplex op basis van CLT vergeleken. Bij deze studie waren zowel de betonindustrie als de houtindustrie intensief betrokken. Uit deze studie blijkt dat de betonvariant over de gehele levenscyclus gelijk tot marginaal beter presteert dan de CLT-variant. Bij de CLT-variant is overigens de brandwerende bekleding niet meegenomen in de analyse, omdat hiervoor geen data beschikbaar waren. Bij deze studie is net als bij de Noorse studie dezelfde CLT met een opvallend lage CO<sub>2</sub>-footprint genomen.

### Nederlandse studie

De ontwerpen voor het appartementencomplex in de Zweedse studie zijn gebruikt voor een compacte Nederlandse studie, uitgevoerd door LBPSIGHT. De milieu-impact van de gebruikte materialen zijn berekend op basis van de gegevens in de Nationale MilieuDatabase (versie 2.3). De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 6 [24]. De betonvarianten hebben een (beperkt) lagere

milieu-impact (MPG) dan de variant in CLT. De CLT-variant heeft een wat lagere CO<sub>2</sub>-emissie voor de bouwmaterialen dan de betonvarianten, terwijl dat in de Zweedse studie net andersom was. De oorzaak hiervan kon niet achterhaald worden.

Het is goed om de cijfers in figuur 6 in perspectief te plaatsen. De cijfers hebben betrekking op de gebouwschil met fundering. Overige materialen en installaties ontbreken in de berekening, waardoor de waarden grofweg een factor 3 tot 6 lager uitvallen dan gebruikelijk voor een appartementencomplex.

Verder vormt de productie van de bouwmaterialen ongeveer 20% van de totale CO<sub>2</sub>-emissie van de bebouwde omgeving. Het gebouwgebonden energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw is verantwoordelijk voor de overige 80% van de CO<sub>2</sub>-emissie [4], waarbij zoals eerder aangegeven het energieverbruik van een betonconstructie door de thermische massa lager is dan die van een constructie van CLT. De verwachting is uiteraard wel dat het aandeel van het energieverbruik fors gaat dalen.

### Conclusie

Uit tal van studies blijkt dat bouwen met beton beter voor het milieu is dan bouwen met hout, zeker wanneer het CLT betreft en wanneer we het beschouwen over de gehele levensduur van een constructie. ●

## LITERATUUR

- 1 A new bioeconomy strategy for a sustainable Europe - Factsheet, European Commission.
- 2 Zuid-Houtland, Een ruimtelijke en cijfermatige verkenning van de kansen voor bio-based bouwen van 500.000 tot 1 miljoen woningen in Nederland met bio-based materialen, website Provincie Zuid-Holland.
- 3 Vermeulen E., Balans tussen emissie en opname CO<sub>2</sub>, *Betoniek Vakblad* 2017/3.
- 4 Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw, Stichting Economisch Instituut voor de Bouw en Metabolic, januari 2020.
- 5 Press release CEMBUREAU, European cement industry strives for carbon neutral cement and concrete along the value chain by 2050, 15-01-2020.
- 6 Hammond, G., Jones, C., Inventory of Carbon & Energy (ICE) – Version 2.0, University of Bath, 2011.
- 7 Nationale MilieuDatabase, [www.milieudatabase.nl](http://www.milieudatabase.nl).
- 8 A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species, S.H. Lamom, R.A. Savidge, *Biomass and Bioenergy* 25 (2003) 381 – 388, Elsevier, 2003.
- 9 Ingerson, A. (2009). Wood Products and Carbon Storage: Can Increased Production Help Solve the

Climate Crisis? Washington, D.C.: The Wilderness Society.

- 10 NEN-EN 15804+A2, Duurzaamheid van bouwwerken – Milieuverklaringen van producten – Basisregels voor de productgroep bouwproducten, NEN, Delft, November 2019.
- 11 Ingerson, Ann L. 2007. U.S. Forest Carbon and Climate Change. Washington, D.C.: The Wilderness Society.
- 12 The wood from the trees: The use of timber in construction, M.H. Ramage et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 (2017) 333–359, Elsevier, 2017.
- 13 Kwaliteit natuur na winnen van zand of grind, De Vlinderstichting, oktober 2011.
- 14 Contribution of Calcareous Plankton Groups to the Carbonate Budget of South Atlantic Surface Sediments, Baumann et al. Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, 2004.
- 15 Activity Report 2017, CEMBUREAU, Brussel.
- 16 Forests, Carbon and Climate Change Forests, Carbon and Climate Change A SYNTHESIS OF SCIENCE FINDINGS 2006 Oregon Forest Resources Institute.
- 17 Keith, H., D. Lindenmayer, B. Mackey, D. Blair, L. Carter, L. McBurney, S. Okada, and T. Konishi-Nagano. 2014.

Managing temperate forests for carbon storage: impacts of logging versus forest protection on carbon stocks. *Ecosphere* 5(6):75. <http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00051.1>.

- 18 [www.CO2emissiefactoren.nl](http://www.CO2emissiefactoren.nl).
- 19 Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, Stichting Bouwkwiteit, Rijswijk, januari 2019.
- 20 Woody Biomass for Power and Heat, Impacts on the Global Climate, Duncan Brack, Chatham House, februari 2017.
- 21 Energy and climate-efficient construction systems, Environmental assessment of various frame options for buildings in Brf. Viva, SP Technical Research Institute of Sweden, 2018.
- 22 Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner, Østfoldforskning AS, Kråkerøy, Noorwegen, December 2019.
- 23 Study on the environmental impact of concrete and cement based products applied in buildings – evaluation with TOTEM, KU Leuven, april 2019.
- 24 Memo Vergelijking CLT en Beton, J. Makara en J. Levels-Vermeer, LBPSIGHT, 24 februari 2020, Nieuwegein.