



MEI 2023

Ketenanalyse CO₂ houtbouw

CASUS: KANTOORPAND HENDRIK-IDO-AMBACHT VERGELIJKING HOUT EN STAAL

12 MEI 2023



WSP NEDERLAND B.V.
CAETANO MARTINOLAAN 50
6229 GS MAASTRICHT

+31 (0)88 910 20 00

wsp.com/nl



COLOFON

RAPPORTHISTORIE

1.0	4 mei 2023	Initiële versie
2.0	12 mei 2023	Definitieve versie

CONTACTGEGEVENS

Jonas Geise
Sanne Lahaije
Bas de Leijer

jonas.geise@wsp.com
sanne.lahaije@wsp.com
bas.deleijer@wsp.com

AUTORISATIE

PROJECTNUMMER	VERSIE	STATUS
WAB023080	2.0	Definitief

OPGESTELD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
Sanne Lahaije	Adviseur duurzaamheid	12 mei 2023	

GEVERIFIEERD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
Jonas Geise	Adviseur	12 mei 2023	

GOEDGEKEURD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
Jonas Geise	Adviseur	12 mei 2023	

INHOUDS- OPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Algemeen	4
1.3	Het project	4
2	METHODE CO₂ BEREKENING	6
2.1	RekenInstrument	6
2.2	Uitgangspunten	7
3	RESULTATEN	9
3.1	Besparing en zwaartepuntanalyse	9
3.2	Discussie en Conclusie	12

1 INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De CO₂ Prestatieladder is een initiatief om bedrijven te stimuleren om klimaatbewust te zijn. WSP stelt tweemaal per jaar een rapportage op waarin de uitstoot van CO₂ inzichtelijk wordt gemaakt en waarin uitgevoerde initiatieven om de uitstoot te reduceren worden omschreven. Om onze totale uitstoot te reduceren, is het van belang om ook de uitstoot binnen onze keten te verminderen, ofwel binnen onze projecten. Deze ketenanalyse omschrijft hoe wij de opdrachtgever hebben ondersteund bij het reduceren van de uitstoot van CO₂ binnen het project in Hendrik Ido Ambacht.

1.2 ALGEMEEN

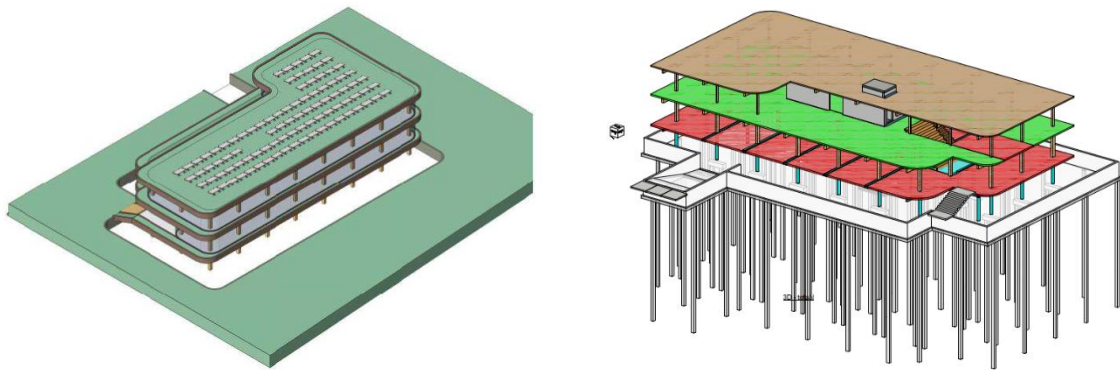
WSP is sinds 2022 als ontwerpend en coördinerend constructeur betrokken bij de ontwikkeling van het nieuwe kantoor voor Persy Control Services B.V. (PCS) op een voormalig landbouwgebied. Met als doel om een duurzaam bedrijfspand te realiseren en te voldoen aan de circulariteitscriteria vanuit de gemeente, is door de opdrachtgever gekozen om met hout te bouwen.

In vergelijking met materialen als beton, staal en kunststof, vraagt het gebruik van hout vaak om minder verbruik van fossiele brandstoffen en daarmee tot minder uitstoot van CO₂. Ten opzichte van staal leidt de productie van het hout namelijk tot minder CO₂ (equivalent) per kilogram. Ten opzichte van beton heeft hout een lichter gewicht in verhouding tot de draagkracht van het materiaal. Dat wil zeggen; je hebt minder gewicht aan materiaal nodig voor dezelfde sterkte. Minder gewicht om te verplaatsen, zorgt vervolgens voor minder uitstoot in het transport- en de constructiefase. Om in kaart te brengen hoeveel uitstoot van CO₂ daadwerkelijk is bespaard door het toepassen van hout, is een CO₂ berekening uitgevoerd door WSP. In deze berekening is de gekozen variant in hout vergeleken met een referentievariant in staal.

Deze ketenanalyse omschrijft de methode en uitgangspunten van de CO₂ berekening en de resultaten die daaruit voortkomen met betrekking tot de besparing van CO₂ uitstoot in het project Hendrik Ido Ambacht door te bouwen met hout in plaats van staal. De uitvoering van het kantoor is maart 2023 begonnen. Deze ketenanalyse is daarmee voornamelijk een terugblik, waarvan we kunnen leren en inspiratie op kunnen doen voor vergelijkbare projecten.

1.3 HET PROJECT

Het project betreft de nieuwbouw van een houten kantoor op bedrijventerrein Ambachtsezoom in Hendrik Ido Ambacht. Het kantoor betreft een 3 laags gebouw, half verdiept in het maaiveld. Op kelderniveau wordt een parkeergarage/fietsenstalling gerealiseerd. Vanaf de begane grond wordt het pand opgetrokken uit hout. De wanden in de kern van het gebouw worden in prefab beton uitgevoerd. De kelder betreft een oppervlakte van 1.200m², de begane grond 720m² en de eerste verdieping 700m². Het totale oppervlak is circa 2850 m². Figuur 1 toont een impressie van het ontwerp.



Figuur 1 Impressie van het nieuwe kantoor van PCS, Hendrik-Ido-Ambacht. De verschillende verdiepingen zijn duidelijk zichtbaar, alsmede de fundering (te zien op de rechter afbeelding).

Met als doel om een duurzaam bedrijventerrein te realiseren, zijn van tevoren een aantal eisen opgesteld met betrekking tot losmaakbaarheid: elementen dienen gemakkelijk uit elkaar gehaald te kunnen worden om toekomstig hergebruik te vereenvoudigen. Dit betekent dat elementen worden bevestigd door middel van verbindingen, moertjes en stalen behuizing. Bevestiging doormiddel van lijmen, (beton)gieten of cement, wordt zoveel mogelijk vermeden.

Voor de kolommen en liggers wordt in het ontwerp gelamineerd hout toegepast (Brettsperrholz). Voor de vloeren is gekozen voor CLT-hout (Cross-Laminated Timber), ofwel kruislaaghout. CLT bestaat uit lamellen van naaldhout (meestal vuren, lariks, spar, douglasspar of pijnboom) die in een hoek van 90 graden ten opzichte van elkaar worden gelijmd om een massief houten paneelelement te vormen. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 2. Deze wijze van lijmen draagt bij aan de sterkte van het materiaal, waardoor minder grote hoeveelheden hout nodig zijn voor dezelfde stevigheid. Dit type hout is toepasbaar voor onder andere gevels, binnenwanden en vloeren en is geschikt voor hoogbouw.



Figuur 2 Cross-Laminated Timber (CLT-hout).

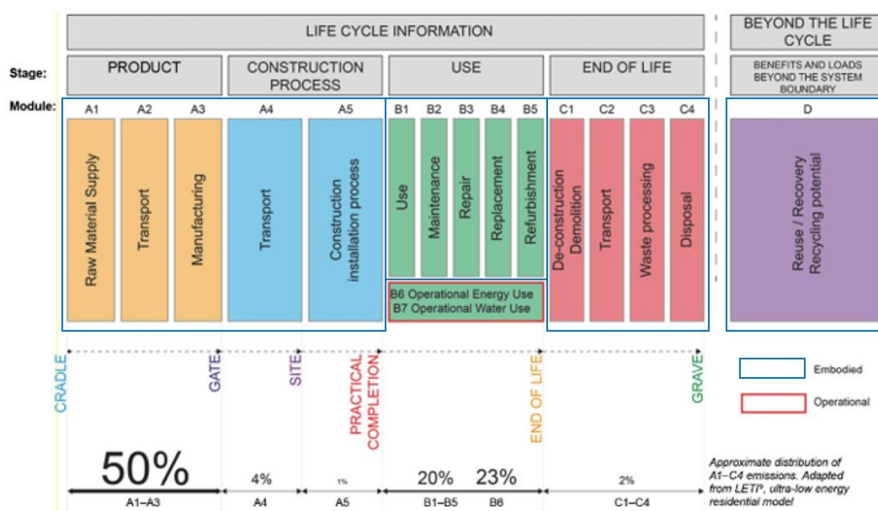
Een typisch kenmerk van het ontwerp voor het kantoor, is dat ventilatiesystemen en elektra verwerkt worden in de (verhoogde) vloer, in plaats van in het plafond. Hiervoor is gekozen om het houten plafond meer zichtbaar te maken en daarmee de beleving van de gebouwgebruiker te bevorderen. Er zijn steeds meer aanwijzingen dat houten gebouwen het welzijn van de bewoners ten goede komen. Deze voordelen worden vaak versterkt wanneer het hout zichtbaar is.

2 METHODE CO₂ BEREKENING

2.1 REKENINSTRUMENT

Bij het bepalen van de broeikasgasemissies van een ontwerp, wordt onderscheid gemaakt tussen ‘Embodied Carbon’ en ‘Operational Carbon’ (zie Figuur 4). *Embodied Carbon* betreft de uitstoot gerelateerd aan de productiefase, de transportfase en de installatie-/bouwphase van het project. Bijvoorbeeld de uitstoot veroorzaakt door bouwmaterieel, vrachtwagens, energiegebruik tijdens de bouw, en productieprocessen. De Embodied Carbon omvat ook het CO₂-equivalent in verband met onderhoud, reparatie en renovatie van het gebouw en de uiteindelijke sloop en verwijdering van het gebouw. *Operational Carbon* betreft de uitstoot die wordt veroorzaakt tijdens het gebruik van het gebouw. Bijvoorbeeld door verwarming met gas, of (grijze) stroomverbruik voor verlichting.

Zowel Embodied Carbon als Operational Carbon kunnen worden gedefinieerd in termen van levenscyclusstadia en bijbehorende modules. EN 15978 biedt een door de industrie aanvaarde verdeling van de levensfasen met betrekking tot Operational- en Embodied Carbon. Zie de rode (operational) en blauwe (embodied) omlijnningen in Figuur 3.



Figuur 3 EN 15978: Levenscyclusstadia en modules.

De berekening in deze ketenanalyse beperkt zich tot de ‘Embodied Carbon’ in modules A1 tot en met A5 van het houten ontwerp en een gelijkwaardig stalen ontwerp. De uitstoot veroorzaakt in de gebruiksfase van het kantoor en het einde van de levensduur, en na de levenscyclusmodules voor B, C en D, ligt buiten de scope van de berekening. Naast de materiaalgebonden CO₂ uitstoot, is ook de uitstoot opgenomen die wordt veroorzaakt bij het ontgraven van de grond ten behoeve van de kelder. Het aantal kuub grond en de benodigde werkzaamheden zijn voor beide varianten nagenoeg gelijk. De reden om dit mee te nemen is dat er op die manier een eerlijke vergelijking met andere gebouwen en/of grenswaardes kan worden gemaakt (zie paragraaf 3.1).

Understanding Carbon



Figuur 4 Het verschil tussen 'embodied-' en 'Operational Carbon'.

Het rekeninstrument dat is toegepast voor deze ketenanalyse is ontwikkeld door WSP en betreft een Excel tool waar het gebruikte materiaal wordt ingevoerd. Deze is opgesteld in overeenstemming met *The Institution of Structural Engineers "How to calculate Embodied Carbon" 2nd edition publication*. Daarnaast wordt in de Excel tool ook gekozen tussen verschillende transportafstanden en middelen, en wordt het gewicht in kilogram ingevoerd. De Excel tool berekent aan de hand van deze gegevens de uitstoot van CO₂ per fase. De fases waarin onderscheid wordt gemaakt zijn: *De productiefase (A1-A3), transport (A4) en de bouw, installatie en aanleg (A5)*. De productiefase betreft het winnen van grondstoffen, het transport vanaf de winningslocatie en de productie. De waarden die worden gehanteerd per fase met betrekking tot de uitstoot van CO₂ zijn gebaseerd op kengetallen uit de betreffende industrieën.

De Excel tool geeft de resultaten weer in kilogram CO₂ equivalent per vierkante meter. Deze koppelt de tool aan een 'label' om de score van het ontwerp te duiden. Dit label loopt van score A++ tot score G, waarbij de scores A++ en A+ worden toegekend aan ontwerpen met een CO₂ uitstoot tussen de 0 en 100 kilogram per vierkante meter. Score A tot en met G worden toegekend aan ontwerpen met een hogere uitstoot per vierkante meter, waarbij score G wordt toegekend bij een uitstoot van 400 kg/m² of meer.

De CO₂-equivalent/kg wordt berekend met behulp van een eenvoudige berekening:

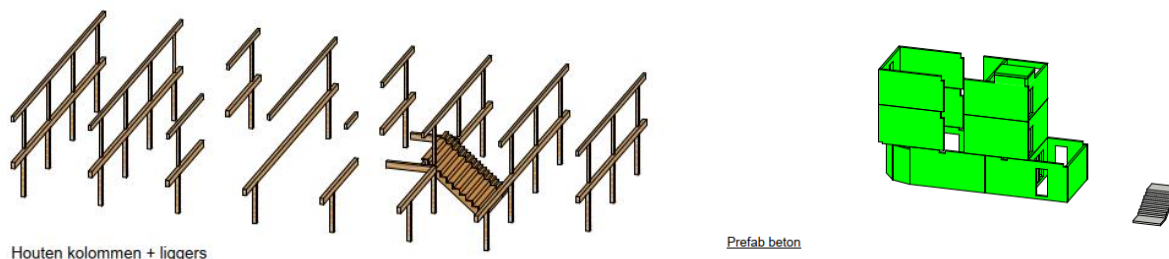
$$\text{Embodied Carbon (kgCO}_2\text{e/kg)} = \text{Embodied Carbon factor (CO}_2\text{e/kg)} \times \text{materiaalgewicht (kg)}$$

Elk materiaal heeft een andere Embodied Carbon factor. Deze factoren worden doorgaans vermeld in de milieuprestatieverklaringen van de materialen en zijn door de industrie aanvaarde waarden.

2.2 UITGANGSPUNTEN

Om de CO₂ uitstoot van de referentie variant in staal te berekenen, is het materiaalgebruik voor de verschillende constructies en varianten van het ontwerp in kaart gebracht. Dit betreft de hoofdconstructies. Hiervoor zijn de tekeningen van het DO (definitief ontwerp) van WSP uit 22 juli 2022 gebruikt. Zie ook Figuur 5. Tabel 1 geeft deze materialen weer. Het storten van een cementvloer wordt in deze berekening niet meegenomen omdat het geen hoofdconstructie bedraagt, en daarnaast wordt deze in beide varianten *niet* toegepast omdat elektra en andere installaties worden aangelegd in de vloer. Het hout komt van een leverancier die in het westen en midden van Duitsland actief is. Voor hout is een (ruime) transportafstand gehanteerd van 1.000 kilometer. Voor alle overige materialen is een transportafstand van 100 kilometer gehanteerd met een middelzware lading over Nederlandse

wegen. Deze afstand sluit aan bij de gemiddelde, gangbare afstand voor de aanvoer van dergelijke materialen. Voor het beton is uitgegaan van betonklasse en cementsoort: C30/37 met CEMIII. In de berekening zijn enkel constructieve materialen meegenomen en geen ramen of andere zaken ter afwerking van het pand.



Figuur 5 Elementen van de hoofdconstructie. Link de houten kolommen en rechts de prefab beton elementen voor de kern van het pand.

Tabel 1 Materialen per element voor de variant in staal (referentie)

Constructie	Materiaal	Transport-afstand (km)	Gewicht (kg)
Dak	Prefab beton (97%), staal (3%)	100	196.997
Vloer	Prefab beton	100	417.905
Bouwskelet	Staal	100	44.209
Binnenmuren	Prefab beton	100	144.215
Kelder ⁽¹⁾	Prefab beton (92%), in het werk gestort beton (7%), staal (1%)	100	1.245.199
Fundering	Prefab beton (89%), in het werk gestort beton (11%)	100	465.070
		Totaal	2.513.594

⁽¹⁾ Waterdichte elementen zijn niet opgenomen in de berekeningen.

De materialen die zijn gekozen voor de variant in hout, zijn op eenzelfde wijze weergegeven in Tabel 2. Ook hier geldt dat is uitgegaan van een transportafstand van 1.000 kilometer voor het hout, en 100 kilometer voor alle overige materialen, met een middelzware lading over Nederlandse wegen. En wordt dezelfde betonklasse en cementsoort toegepast als in de stalen variant (C30/37 met CEMIII).

Tabel 2 Materialen per element voor de variant in hout

Constructie	Materiaal (% op basis van gewicht)	Transport-afstand (km)	Gewicht (kg)
Dak	Hout (87%), prefab beton (13%)	1000 (hout), 100 (prefab)	53.578
Vloer	Hout (99%), staal (1%)	1000 (hout), 100 (staal)	126.822
Bouwskelet	Hout (41%), staal (59%)	1000 (hout), 100 (staal)	29.530
Binnenmuren	Prefab beton	100	144.215
Kelder	In het werk gestort beton (93%), prefab beton (6,8%), staal (0,2%)	100	1.234.628

Fundering	Prefab beton (83%), In het werk gestort beton (17%)	100	309.788
		Totaal	1.907.650

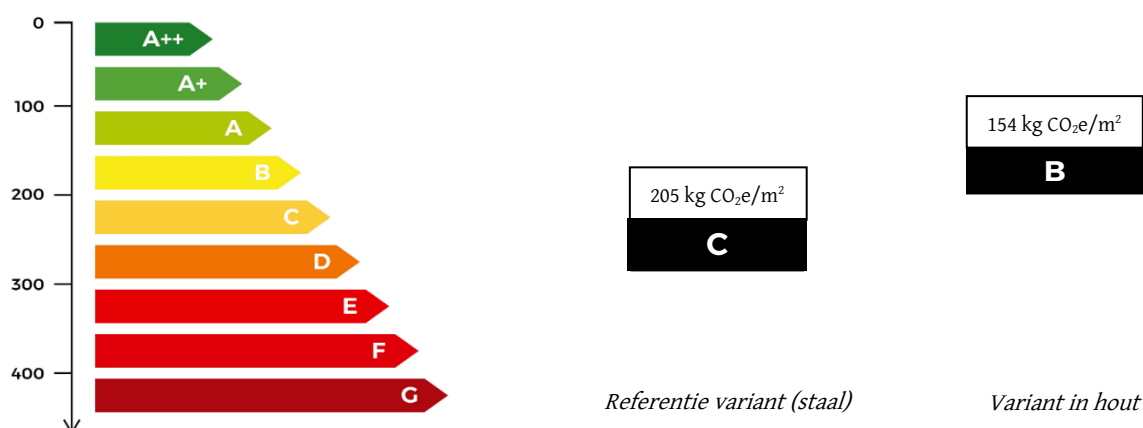
Het totale gewicht van de benodigde materialen voor de houten variant is 25% lager dan de stalen variant. Het grootste verschil in materiaalgebruik tussen de twee varianten is zichtbaar in de constructie voor het dak (-73%), de vloeren (-70%) en het bouwskelet (-33%). In de referentievariant wordt staal in plaats van hout toegepast voor de steunbalken in het dak, de balken in het skelet, en de vloerplaten. Het materiaalgebruik voor de binnenmuren is in beide gevallen gelijk.

Voor beide varianten zit het grootste gewicht in de benodigde materialen voor de kelder. Voor de kelder van de houten variant is een zeer beperkt minder staal en beton nodig dan voor de stalen variant. Er is echter wel een groot verschil in gewicht van de fundering te zien (circa 33% minder gewicht). Omdat in deze variant minder gewicht op de fundering rust.

3 RESULTATEN

3.1 BESPARING EN ZWAARTEPUNTANALYSE

De resultaten uit de CO₂ berekeningen geven het aantal kg CO₂ (equivalent) weer per vierkante meter (Figuur 66). Voor de referentie variant in staal, is dit 205kg CO₂/m², wat resulteert in een label C. De variant in hout leidt tot een uitstoot van 154 CO₂e/m² en daarmee tot een score van label B. De houten variant **bespaart dus 25% kilogram CO₂ per vierkante meter** ten opzichte van de stalen variant. **In totaal gaat het om circa 145 ton CO₂ vermeden uitstoot** door te kiezen voor houtbouw. Ter vergelijking: WSP in Nederland had als organisatie in 2022 een uitstoot van 812 ton CO₂. De vermeden emissies bedragen daarmee 18% van onze totale uitstoot. Onze impact als advies- en ingenieursbureau is kortom het grootst binnen de vele projecten die we jaarlijks uitvoeren.



Figuur 6 Score vergelijking van de stalen en houten variant

De Dutch Green Building Council (DGBC) heeft een aantal grenswaarden opgesteld om aan Paris Proof materiaalgebonden CO₂-eq te voldoen. De DGBC stelt dat een bouwwerk een materiaalgebonden CO₂-eq waarde per m²

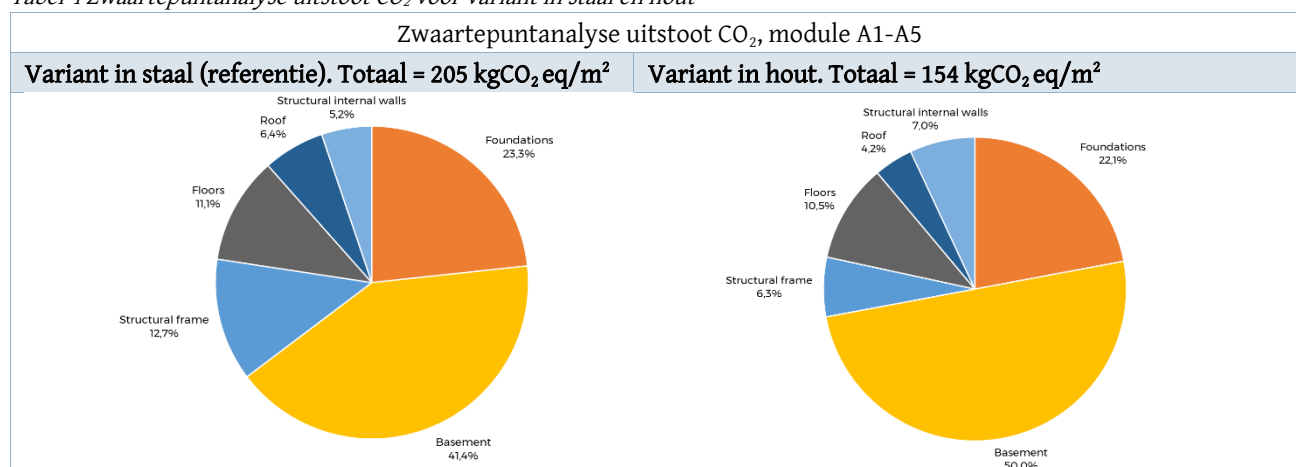
BVO dient te hebben, die lager of gelijk is aan de geldende grenswaarden voor het desbetreffende jaar. Voor nieuwbouw kantoren geldt vanaf 2021 een grenswaarde van 250 kg CO₂-eq per m². Beide ontwerpen vallen onder deze grenswaarden. Vanaf 2030 geldt voor kantoren een grenswaarde van 158 kg CO₂-eq per m². In dat geval zou de stalen variant *niet* voldoen.

Met behulp van de Excel tool is een zwaartepuntanalyse uitgevoerd om in kaart te brengen welke constructies van de ontwerpen het meest bijdrage aan de totale CO₂ uitstoot. Tabel 3 toont de resultaten uit deze analyse.

Tabel 3 Totale uitstoot in kilogram CO₂ per constructie voor de stalen (referentie) en houten variant

Totale uitstoot CO ₂ equivalent (kg) in fase A1-A5			
Constructie	Uitstoot variant in staal (referentie) (kg CO ₂ eq)	Uitstoot variant in hout (kg CO ₂ eq)	Procentuele verandering ten opzichte van de stalen variant (%)
Dak	36.189	17.627	-51,3%
Vloer	62.971	44.514	-29,3%
Binnenmuur	29.596	29.596	0%
Bouwskelet	72.340	26.814	-63%
Kelder	192.889	169.143	-12,3%
Fundering	130.335	91.597	-20,7%

Tabel 4 Zwaartepuntanalyse uitstoot CO₂ voor variant in staal en hout



De resultaten uit de analyse laten zien dat het aandeel van het 'structural frame' (bouwskelet) afneemt in de variant met hout (Tabel 4). Deze constructie leidde in de stalen variant tot de uitstoot van circa 72.000 kg CO₂ equivalent. In de houten variant is deze totale uitstoot circa 27.000 kg CO₂ equivalent. Daarmee is de uitstoot van deze constructie gedaald met 63%. Een andere conclusie uit de zwaartepuntanalyse is dat de uitstoot gerelateerd aan de dakconstructie van de variant in hout met circa 50% is afgenomen ten opzichte van de variant in staal. De uitstoot die wordt veroorzaakt door de vloerconstructie is ongeveer 30% lager voor de houten variant. De daling in uitstoot veroorzaakt door deze constructies (dak, vloer en het skelet) zijn voornamelijk te danken aan de vervanging van staal door hout.

De uitstoot gerelateerd aan de kelder en de fundering is ook lager voor de houten variant ten opzichte van de stalen variant. De kelder constructie verschilt tussen de twee varianten doordat in de houten variant een deel van de staalplaatbetonkolommen (gevuld met beton) worden vervangen door een grote staalkolom *zonder* betonvulling. Het

vervangen van een deel van de stalen kolommen uit de stalen variant met deze alternatieve kolommen, leidt tot een daling in absolute uitstoot van circa 76% . In de stalen variant zijn meer palen nodig in de funderingsconstructie, doordat deze variant zwaarder is dan de houten variant. Daardoor wordt meer prefab beton toegepast in de fundering van de stalen variant.

Biogenic carbon

Naast de uitstoot van CO₂, is met behulp van de Excel tool ook de 'biogenic carbon' berekend voor beide ontwerpen. Dit betreft de CO₂ die bomen opnemen tijdens de groei. Deze CO₂ is opgenomen uit de lucht, en draagt daarom bij aan het vasthouden van broeikasgassen. Het hout dat wordt toegepast voor de houten variant, heeft in totaal 302.594 kilogram CO₂ equivalent opgenomen. In de stalen variant zit geen hout, waardoor geen CO₂ is opgenomen. De 302.594 kilogram CO₂-equivalent betreft 106,29 kg CO₂ dat wordt opgenomen per m². Indien deze besparing wordt afgetrokken van de totale uitstoot die wordt veroorzaakt door de houten variant, betreft de totale uitstoot slechts ongeveer 48 kgCO₂/m². Doordat het nieuwe kantoor daarnaast zoveel mogelijk losmaakbaar gebouwd wordt, wordt hergebruik van het hout voor volgende projecten vereenvoudigd, waardoor de CO₂ langer opgeslagen blijft in het hout.

3.2 DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Uit de resultaten blijkt dat de houten variant van het nieuwe kantoor in Hendrik-Ido-Ambacht tot minder uitstoot van CO₂ leidt dan de stalen variant van het ontwerp. **De rekentool geeft een verbetering in score weer van label C naar label B, en een daling van het aantal kilogram CO₂ equivalent per vierkante meter van circa 25%.** De vervanging van staal door hout, leidt tot een daling in absolute uitstoot in dakconstructie (50%), het bouwskelet (30%) en de vloerconstructie (63%). Een aantal opmerkingen zijn van belang bij het interpreteren van de resultaten

Operational Carbon

De houten variant van het ontwerp is het ontwerp dat door de opdrachtgever in eerste instantie werd gevraagd en is ook het definitieve ontwerp. De informatie waarop de berekeningen van de houtoptie zijn gebaseerd, is op een hoger detailniveau ontwikkeld en geïntegreerd dan de staalvariant. Dit kan resulteren in een gunstigere CO₂ equivalent voor de houtoptie. De stalen variant is ontworpen ten behoeve van deze ketenanalyse, en de constructies en materialen zijn op minder detailniveau uitgewerkt. De constructie is één op één overgezet vanuit de houten variant. Er is geen rekening gehouden met de mogelijkheden die staal en beton bieden om een grotere overspanning toe te passen. Echter zou een constructie met grotere overspanning wel om dikker materiaal vragen. Daarom is de verwachting van de constructeur dat dit aspect in de praktijk geen significante invloed zal hebben op de resultaten.

“Whole life” Carbon

Een ander aspect waar rekening mee dient te worden gehouden, is dat de ‘Operational Carbon’ niet is meegenomen in de berekeningen voor deze ketenanalyse. Het materiaal waarmee wordt gebouwd, heeft ook invloed op het energieverbruik van het gebouw wanneer deze in gebruik is. Namelijk doordat bepaalde materialen beter isoleren dan andere materialen. Voor een toekomstige berekening en om opdrachtgevers te adviseren, is het interessant om in kaart te brengen of, en hoe, het bouwen met hout effect heeft op de hoeveelheid benodigde energie om het gebouw te verwarmen of te koelen.

Conclusie

Uit de berekeningen en vergelijkingen blijkt dat een goed ontworpen houten constructie een koolstofarme oplossing kan bieden ten opzichte van een stalen variant. Om het toepassen van hout te optimaliseren moeten de voordelen van modern hout worden benut. Bijvoorbeeld door overspanningen binnen praktische grenzen te houden, door het lage gewicht van hout efficiënt in te zetten, en door wand- en vloerconstructies te optimaliseren om materiaal intensieve balken te voorkomen.

Uit deze beknopte analyse blijkt duidelijk dat houtconstructies een belangrijke rol kunnen spelen bij het koolstofarmen maken van de gebouwde omgeving. Door deze ketenanalyses vergroten we inzicht voor onszelf, en maken we anderen bewust van de effecten op de uitstoot bij het kiezen voor hout. Daarmee houden we onze projecten in lijn met de Paris Proof grenswaardes. Wij blijven ons onverminderd inzetten om een bijdrage te leveren aan de verdere ontwikkeling van het gebruik van hout als constructiemateriaal.