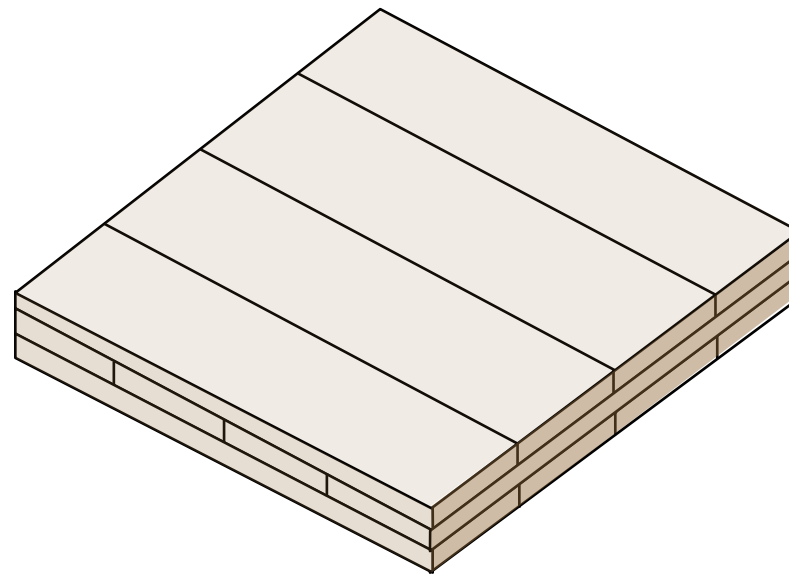


CROSS LAMINATED TIMBER



HANDLEIDING
VOOR ARCHITECTEN
EN BOUWKUNDIGEN

COLOFON

Cross Laminated Timber – Handleiding voor
architecten en bouwkundigen

© februari 2021, [INBO](#)

Versie 2.2

Alle rechten voorbehouden.

Makers: Merel Vos, Bahar Yildiz, Gustaf Jackson,
Joost van den Berg

Ondersteuning copyrights: Eugenie Dijkstra

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een geautomatiseerd
gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in
enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch,
mechanisch, door fotokopieën, opnamen of
op enige andere manier zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van INBO.

Voor vragen of informatie: info@inbo.com



Voor het maken van deze handleiding zijn wij in
gesprek gegaan met meerdere houtexperts. Wij
danken hen voor het delen van hun kennis en
ervaring:

- Jan Berkhout (Constructeur CLT modules Hotel
Jakarta, Pieters Bouwtechniek)
- Chris Bosveld (Constructeur, Pieters
Bouwtechniek)
- Thomas Harms (Architect HAUT, Team V
Architectuur)
- Dennis Hauer (Architect CLT woongebouw
Molslaan, Urban Climate Architects)
- Helmich Heutink (Aannemer Stories, Heutink
groep)
- Hugo Immink (Leverancier CLT, Ekoflin)
- Jan Nauta (Architect House by the lake, Studio
Nauta)
- Gert-Jan Rozemeijer (Houtconstructeur Triodos
Bank, Adviesbureau Lüning)
- Coen Smets (Leverancier UHSB, Hi-Con)
- Jim de Valk (Architect, Finch Buildings)
- Babette Verheggen (Brandtechnisch en
akoestisch adviseur HAUT, Arup)



INHOUDSOPGAVE

Inleiding

Inleiding	04.
-----------	-----

Waarom is houtbouw nú belangrijk voor de Nederlandse bouwsector?

Voordelen van hout	06.
Duurzaamheid	07.
Duurzaam bosbeheer	08.
Esthetische waarde	10.
Snelle bouwtijd	11.
Leefcomfort	12.
Hogere restwaarde	13.
Beleidsmatige veranderingen	14.
Kostenberekening	15.

Waarom is houtbouw tot nu toe niet méér toegepast?

Historie van de Nederlandse bouwcultuur	17.
Bezwaren van bouwpartners	18.

CLT in de schetsontwerp-fase

Eigenschappen van CLT	20.
Geschikte bouwtypologieën	21.
Tips voor stedenbouwkundigen	22.
Vuistregels voor de architect	23.
Samenwerking bouwteam	25.

Bouwtechniek

Opties binnen de houtbouw	27.
Fundering	28.
Constructie	29.
Constructie - referenties	31.
Buitenruimte	33.
Gevelafwerking	34.
Installaties	35.
Modulair bouwen	36.
Informatie voor de bouwer	39.

Bouwfysica

Brandveiligheid	41.
Akoestiek	42.
Akoestiek - referenties	43.
Overige bouwfysica	44.

Principe detaillering

Vloeropbouw	46.
Wandopbouw - intern	48.
Aansluitdetails - intern	50.
Wandopbouw - extern	54.
Aansluitdetails - extern	55.
Aansluitdetails op beton	58.
Aansluitdetails - dak	59.

Databank

Databank en contactenlijst	61.
Referentie projecten	62.

INLEIDING

Deze handleiding is het resultaat van het onderzoek “CLT in de gestapelde woningbouw”, uitgevoerd door een team van architecten en bouwkundigen van Inbo.

Cross Laminated Timber

De mogelijkheden binnen de houtbouw zijn groot. In deze handleiding richten we ons op CLT (Cross Laminated Timber), ook wel massieve houtbouw genoemd. Dat is een constructiemateriaal opgebouwd uit ten minste drie kruislings verlijmde enkel laags latten die haaks op elkaar zijn geplaatst, te gebruiken als wanden en vloeren. Hierdoor is dit een veelbelovend houtproduct met ongeveer dezelfde sterkte en toepassingsmogelijkheden als beton. CLT zou daarom een goed alternatief voor beton kunnen zijn.

Gestapelde woningbouw

Daarnaast hebben we ons gericht op de gestapelde woningbouw, om twee redenen. Ten eerste denken wij dat de (toekomstige) grote vraag naar woningbouw kan zorgen voor opschaling van het gebruik van hout in de huidige bouwsector. Ten tweede omdat we bij gestapelde woningbouw te maken hebben met woningscheidende vloeren en wanden en strengere bouwbesluiten. Het is daarom noodzakelijk dat er meer kennis wordt verkregen over hoe met houtbouw aan deze eisen kan worden voldaan.

Bezwaren

Al jaren klinken er positieve geluiden over houtbouw en de (duurzame) potentie hiervan. Waarom wordt houtbouw niet vaker toegepast in Nederland? Voor deze handleiding zijn we in gesprek gegaan met verschillende partijen in de bouwsector om uit te zoeken wat de obstakels en bezwaren zijn en hoe we deze kunnen ondervangen.

Voor wie is deze handleiding?

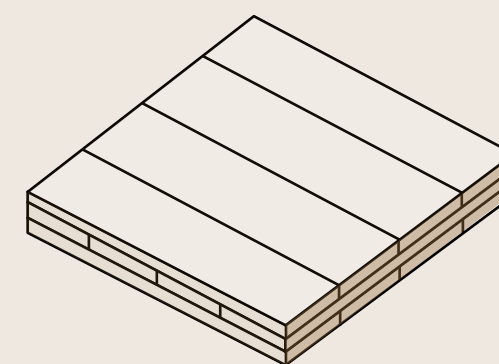
Deze handleiding is in eerste instantie gemaakt voor architectenbureaus die houtbouw willen toepassen. Daarnaast hopen wij ook andere bouwpartners, zoals aannemers, adviseurs, opdrachtgevers en ontwikkelaars met deze handleiding enthousiast te maken en te laten zien waarom een omschakeling in de bouwsector nodig is.

Status van houtbouw in Nederland

In Nederland zijn er nog weinig voorbeelden van CLT in de gestapelde woningbouw. Momenteel zijn een aantal belangrijke projecten in uitvoering, zoals Haut (Team V) en Stories (Olaf Gipser). Bij deze pilotprojecten wordt enorm veel kennis opgedaan, waar iedereen in de Nederlandse bouwsector van leert. In onze buurlanden, zoals Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk, is wel al veel ervaring opgedaan met de toepassing van CLT in de gestapelde woningbouw. Vanwege een ander klimaat en regelgeving kunnen deze praktijkoplossingen echter niet zomaar overgenomen worden.

Kennisdeling

Deze handleiding is ontstaan op basis van gesprekken met houtexperts, het lezen van artikelen en boeken, het beluisteren van podcasts, het bestuderen van pilotprojecten en het bezoeken van bouwplaatsen. Momenteel worden er grote stappen gemaakt op het gebied van houtbouw in Nederland, daarom is er een risico dat dit document snel verouderd is. Mocht je zelf nog belangrijke toevoegingen hebben, neem dan contact op met één van de makers. Wij willen je dan graag uitnodigen om een tekst aan te leveren voor een volgende versie van deze handleiding.



WAAROM IS
HOUTBOUW NÚ
BELANGRIJK VOOR
DE NEDERLANDSE
BOUWSECTOR?

VOORDELEN VAN HOUT

Houtbouw kent grote voordelen, maar er is tot nu toe weinig ervaring en kennis opgedaan op het gebied van houtbouw in Nederland. Daardoor zijn (of lijken) de risico's voor de betrokken partijen groter. Het overtuigen van de opdrachtgever om te kiezen voor houtbouw wordt daarom door vele architecten ervaren als het grootste obstakel dat houtbouw in de weg staat.

Tip van Andrew Waugh (Waugh Thistleton Architects) voor het overtuigen van de opdrachtgever: het eerste gesprek gaat over de duurzaamheid, de efficiëntie van houtbouw, de esthetische waarde enzovoorts: maak de opdrachtgever enthousiast. Het tweede gesprek gaat over geld; toon aan dat je ontwerp in houtbouw goed kan concurreren met een betonnen gebouw (zie hiervoor hoofdstuk [Kostenberekening](#)).

Hieronder staat een aantal voordelen van (investeren in) houtbouw, die gebruikt kunnen worden om verschillende bouwpartijen (opdrachtgever, aannemer, gemeente, ontwikkelaar, etc.) te overtuigen van het belang van houtbouw. Voor iedere partij kan een ander argument interessant zijn, dus gebruik ze waar en wanneer ze nodig zijn.

- Houtbouw is [duurzaam](#) om meerdere redenen:
 - herbruikbaar en hernieuwbaar (i.c.m. [duurzaam bosbeheer](#))
 - CO₂ opslag in gebouwen
 - lage stikstofuitstoot.
- Het heeft een hoge [esthetische waarde](#).
- Door onder andere prefabricatie ontstaat een [snellere bouwtijd](#) en is minder bouwverkeer nodig.
- Het heeft een positief effect op de [leefcomfort](#).
- Vanwege het lichtgewicht is een lichtere [fundering](#) mogelijk.
- Het gebouw heeft een [hogere restwaarde](#).
- [Beleidsmatige veranderingen](#) op het gebied van duurzaamheid komen eraan. Investeren in houtbouw is noodzakelijk om een goede concurrentiepositie te behouden.
- Met de juiste berekeningen en het juiste ontwerp kan een massief houten gebouw qua [kosten](#) goed concurreren met betonbouw.



59rut - Vallribera Arquitectes en Montserrat Garcia (Fotograaf: Jose Hevia)

DUURZAAMHEID

Hout is een zeer duurzaam bouw materiaal. Houtbouw kan daarom goed ingezet worden bij een tender waarbij de duurzaamheidseisen hoog zijn, of als de opdrachtgever een hoge BREAM score vereist.

Waarom is hout zo duurzaam? Daar zijn meerdere redenen voor.

Hernieuwbaar

Hout is een hernieuwbaar bouw materiaal, dit betekent dat hout altijd terug kan groeien. In tegenstelling tot beton, waarbij we de aarde juist uitputten. Voorwaarde hierbij is wel dat er niet meer hout uit het bos gehaald wordt dan er jaarlijks bijgroeit (zie hoofdstuk [Duurzaam Bosbeheer](#)).

Herbruikbaar

Hout in een gebouw is zeer geschikt voor hergebruik. Het is lichtgewicht, makkelijk te demonteren, goed te transporteren en kan verzaagd en opnieuw gemonteerd worden zonder kwaliteitsverlies.

CO₂ opslag

Beton is verantwoordelijk voor 4-8% van de wereldwijde CO₂ uitstoot. Hout daarentegen heeft juist een positief effect op de CO₂ uitstoot. Bomen zetten namelijk CO₂ om tot O₂ zo lang ze groeien. Wanneer een boomt sterft of verbrand geeft hij deze CO₂ weer af, maar als de boom tijdig gekapt wordt blijft het CO₂ opgeslagen in het hout.

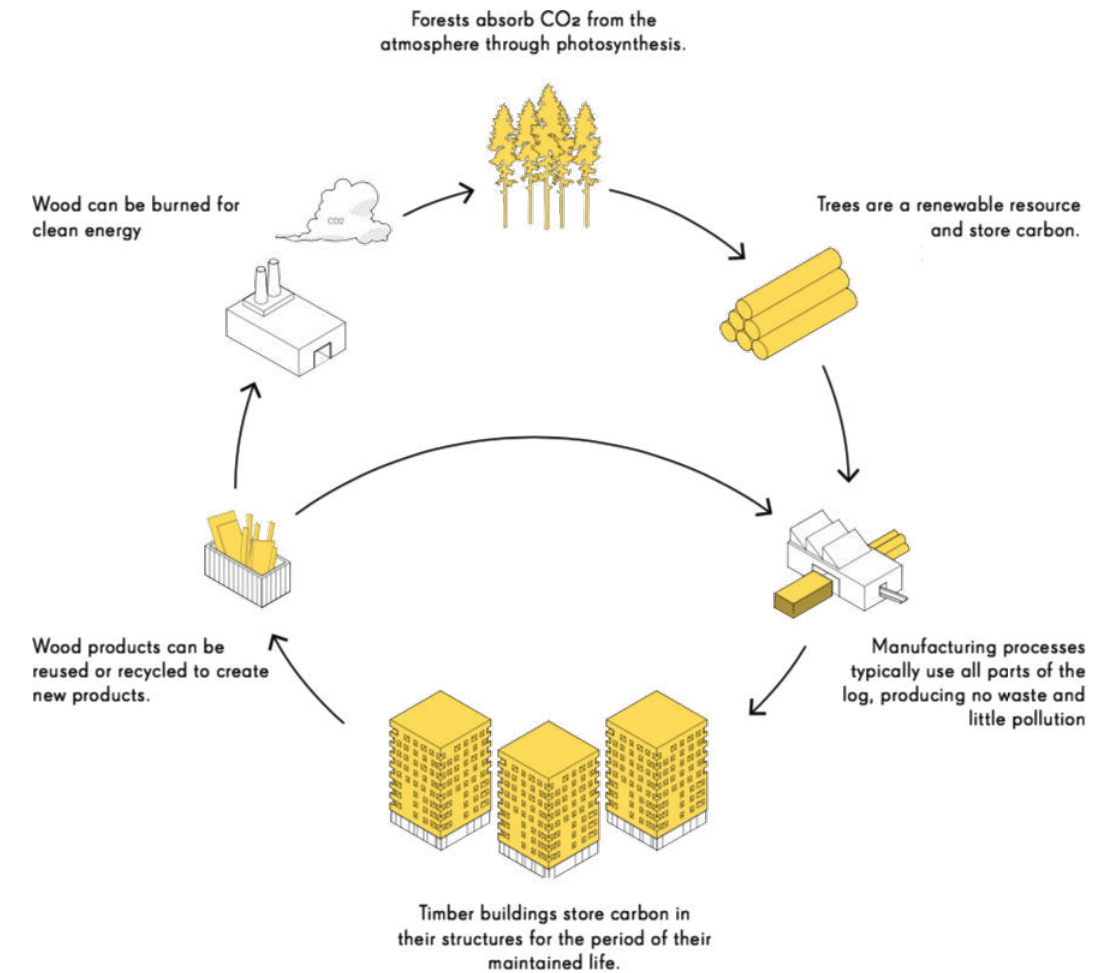
Door hout vervolgens toe te passen als bouw materiaal, sla je deze CO₂ dus op in gebouwen. Houtbouw kan de opwarming van de aarde met 14-31% tegen gaan (Bron: Potsdam Institute for Climate Impact Research). In het klimaatplan van Europa is daarom opgenomen dat houtbouw kan bijdragen aan een oplossing voor het klimaatprobleem.

Berekening CO₂ besparing

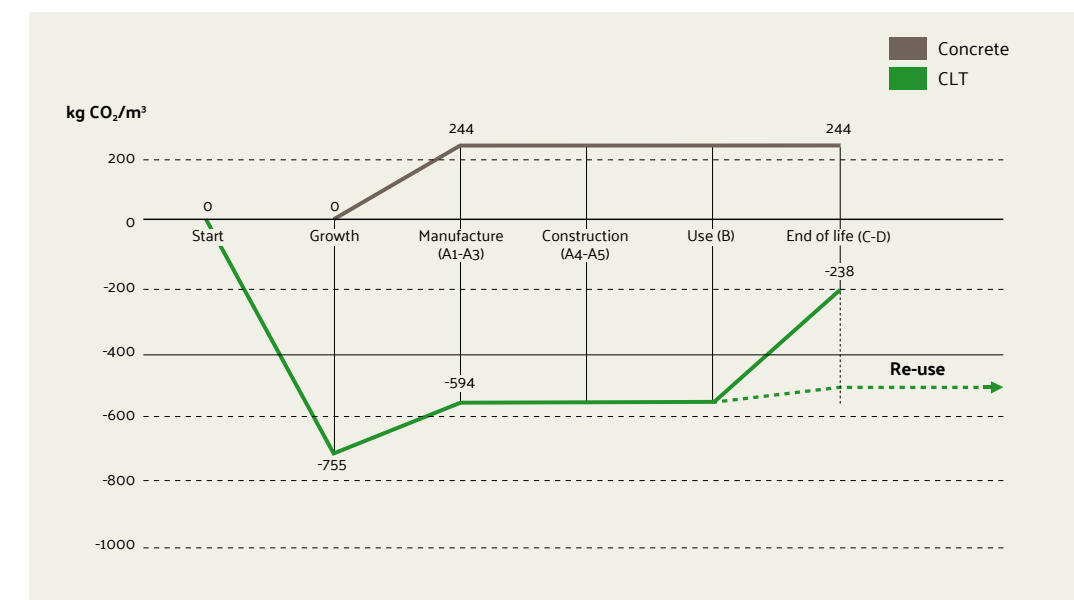
1 m³ zacht hout slaat 0,92 ton CO₂ op. Wanneer de constructie van een gebouw in duurzaam geproduceerd hout wordt uitgevoerd, in plaats van beton of staal, dan wordt daarmee 1,5 ton CO₂ per ton gebruikt hout bespaard. Daarboven op wordt nog 2 ton CO₂ opgeslagen per ton hout. (Bron: [tomorrows-timber.com](#)).

Lage stikstofuitstoot

Houtbouw is een lichte bouw methode waarvoor je relatief weinig zwaar materieel en brandstof voor transport nodig hebt. Een bouwplaats met een zware dieselmachine kan zo omgeschakeld worden tot een volledig elektrisch bouw. Houtbouw vermindert de stikstofuitstoot en kan daarmee een bijdrage leveren aan een oplossing voor de huidige stikstofcrisis in de bouw.



Bouwen in CLT: duurzaam en circulair - © Waugh Thistleton Architects



Levenscyclus CO₂ uitstoot. Vergelijking tussen CLT en beton © [www.tomorrows-timber.com](#)

DUURZAAM BOSBEHEER

Bomenkap voor houtproductie roept vaak vragen op. Maar experts op het gebied van bosbouw, zoals het Europees Bossen Instituut en Gert-Jan Nabuurs (hoogleraar Europese bossen, Wageningen Universiteit), juichen bouwen met hout juist toe.

Er moet dan wel aan 2 voorwaarden worden voldaan:

- Niet meer hout uit het bos halen dan er jaarlijks bijgroeit, oftewel duurzaam bosbeheer. De hoeveelheid bomen en opname CO₂ mag niet verminderen, dus voor elke boom die weg gehaald wordt, moet een nieuwe boom groeien die wederom CO₂ opslaat.
- Hout dat uit het bos wordt gehaald, moet langdurig opgeslagen worden. Bij verbranding van hout voor energie wordt de opgeslagen CO₂ weer vrijgegeven, dit is niet wenselijk. Daarom wordt houtgebruik in gebouwen juist aangemoedigd; hiermee wordt CO₂ opgeslagen in gebouwen.

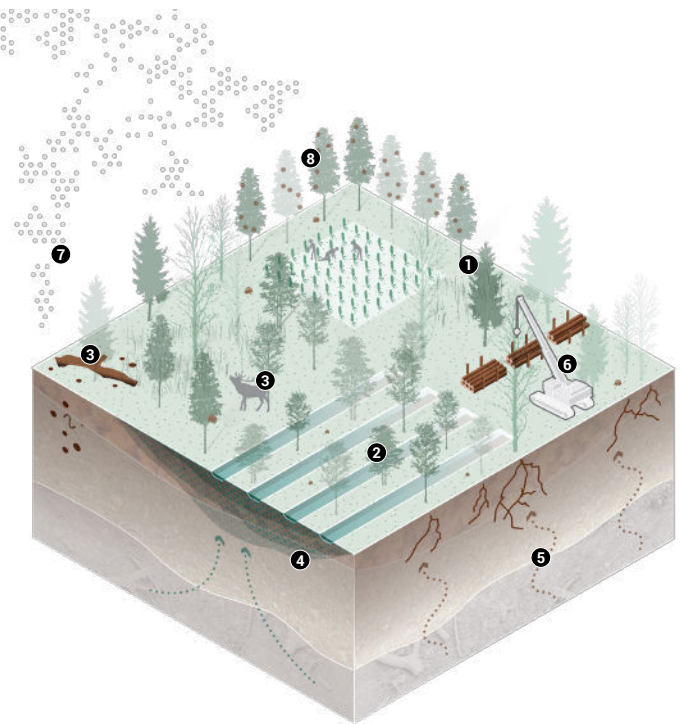
Waarom is selectieve kap goed voor het bos?
Het kappen van volwassen bomen heeft een positief effect op de CO₂-absorptie van een bos. Op deze manier wordt er ruimte en daglicht vrijgemaakt voor de jonge bomen, die meer CO₂ opnemen dan volwassen bomen.

Behoud van biodiversiteit
Een goed beheerd productiebos moet in stand gehouden worden zonder het bos schade toe te brengen. Duurzaam bosbeheer betekent dat het hele bos-ecosysteem in stand wordt gehouden: herplanting, selectieve kap, behoud van mineralen en grondstoffen, uitbreiding bosareaal, niet te veel bomen per perceel en monocultuur tegengaan. Meer houtkap zal zo ook niet ten koste te gaan van natuur en recreatie.

Economische waarde
Een ander positief effect van houtbouw is dat de economische waarde van het bos stijgt. Boseigenaren ontvangen meer inkomsten door houtbouw, waardoor ze meer kunnen investeren in bosbeheer. Houtbouw is één van de weinige manieren om deze economische waarde te realiseren. De houtsector in Duitsland bijvoorbeeld biedt werk aan meer dan 1,1 miljoen mensen, wat enorm belangrijk is om sociale, economische en ecologische redenen. Houtbouw heeft zo de capaciteit om de economische ontwikkeling van het platteland te ondersteunen.

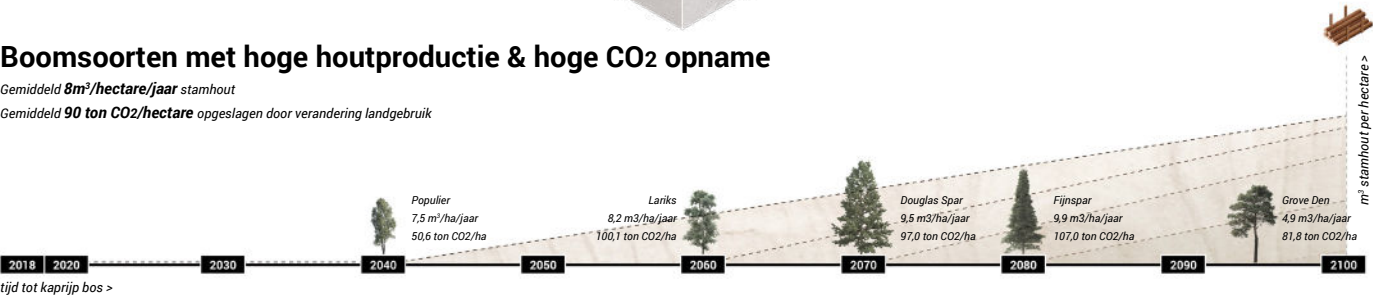
Duurzame bosbouw

- 1 Aanplant diverse boomsoorten
- 2 Aanplant rabattenbossen op natte gronden
- 3 Strooisel en dood hout levert voedingsstoffen
- 4 Hoge grondwaterstand gaat oxidatie tegen
- 5 Beplanting helpt de bodem te reinigen
- 6 Selectieve houtkap, 8m³ stamhout per hectare
- 7 CO₂ opname door nieuw geplante bomen
- 8 Ruimte voor agroforestry en recreatie



Boomsoorten met hoge houtproductie & hoge CO₂ opname

Gemiddeld **8m³/hectare/jaar** stamhout
Gemiddeld **90 ton CO₂/hectare** opgeslagen door verandering landgebruik



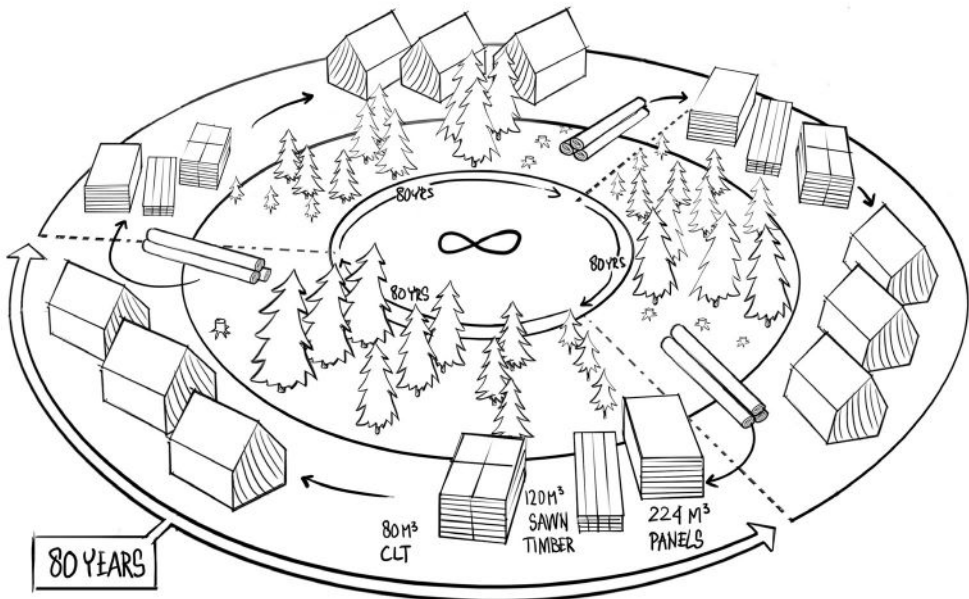
Duurzaam Bosbouw - © Studio Marco Vermeulen

DUURZAAM BOSBEHEER

Is er genoeg bos?

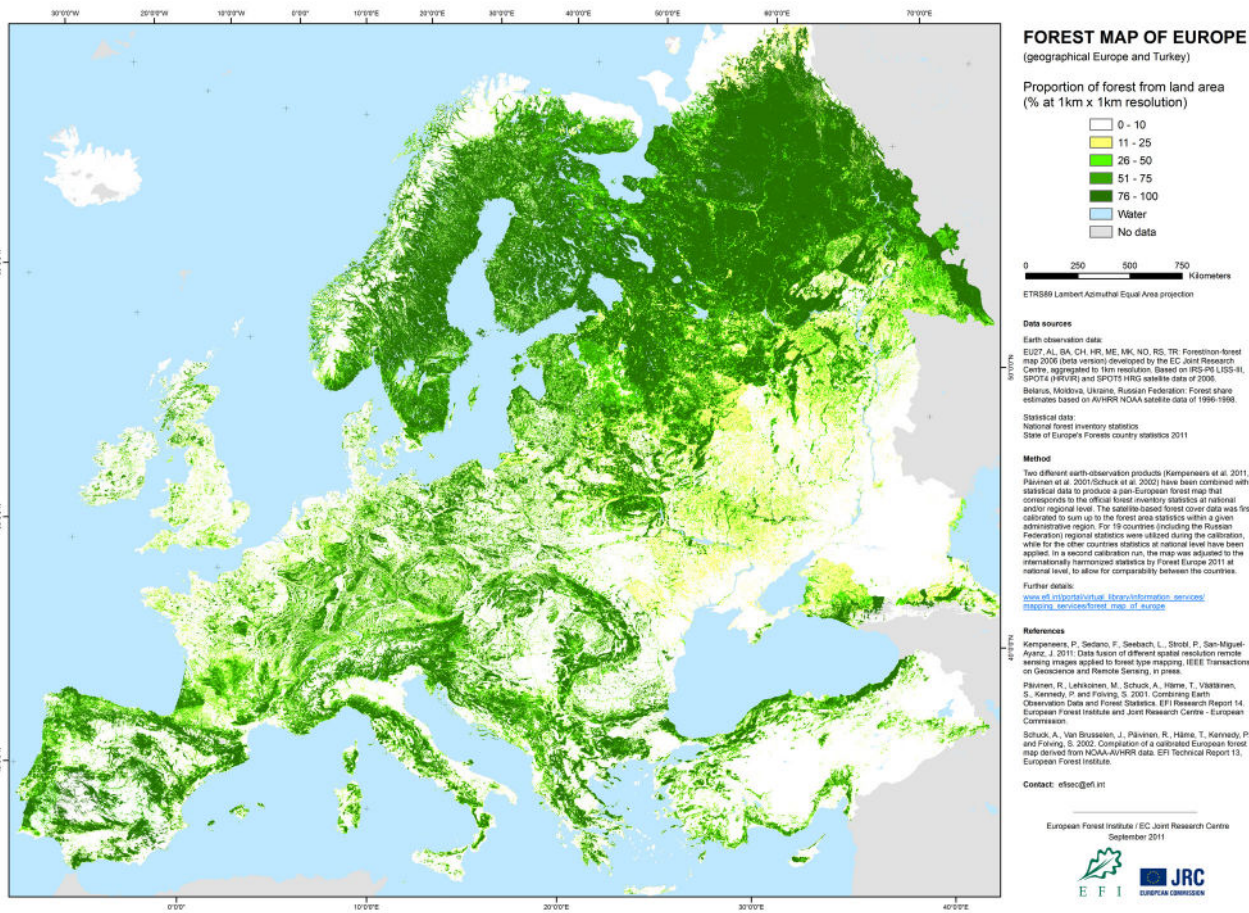
Nederland is afhankelijk van de import van hout uit buurlanden als Oostenrijk en Duitsland. In Nederland zelf is er niet genoeg productiebos aanwezig, maar in de Europese Unie is er is meer dan voldoende bos. Momenteel wordt er in de Europese Unie maximaal 550 miljoen kuub stamhout geoogst, terwijl er capaciteit is voor minimaal 650 miljoen kuub. Er is dus een overschot van minimaal 100 miljoen kuub; genoeg om ca. **40% van alle Europese nieuwe woningen en kantoren** uit hout op te trekken.

Wel belangrijk is dat het hout, in verband met transport, niet van ver wordt gehaald. **Gebruik altijd Europees hout met het PEFC/FSC certificaat.**



De eeuwigdurende hout cyclus © www.tomorrows-timber.com

PERPETUAL WOOD CYCLE
1ha = 3 TIMBER HOUSES
+ A LOT OF FURNITURE



Beschikbaar hout in Europa - Kaart EFI. © zie 'References' op de kaart

ESTHETISCHE WAARDE

Hout is een natuurproduct en heeft daarom een diepe gelaagdheid, prettige tactiliteit en warme uitstraling. Deze esthetische kwaliteiten zorgen ervoor dat hout een geliefd product is onder ontwerpers.

CLT in het zicht

Een groot voordeel van hout is dat het direct op afwerkniveau is; er is geen verf of stuclaag nodig om het mooi te maken. Ook een zaagsnede kan gewoon in het zicht gelaten worden. Bedenk daarbij wel dat het in zicht laten van meerdere zijdes van de CLT vooral mogelijk is bij particuliere woningen. Bij gestapelde woningbouw is blootgesteld CLT minder haalbaar, vanwege de akoestische en brandveiligheidseisen (zie hoofdstuk [Akoestiek](#) en [Brandveiligheid](#)). Hier is vaak maximaal één zijde van het CLT in het zicht gelaten, het plafond is dan de meest gekozen optie.

Ontwerpvrijheid

Daarnaast kan het toepassen van CLT ook zorgen voor een grote ontwerpvrijheid. De mogelijkheden van maatwerk van CLT zijn groter dan van prefab beton, waarvoor mallen gemaakt moeten worden. CLT-panelen worden computergestuurd gezaagd (CNC), waardoor bijvoorbeeld ronde vormen geen probleem zijn. Hou er overigens wel rekening mee dat deze complexe snedes invloed hebben op de kosten van het paneel. Ook een gat in een wand voor een deur heeft geen latei nodig.



Santo CLT Office - Junichi Kato & Associates



Hotel Jakarta - SeARCH



Carbon 12 - Kaiser + Path



Matthias Hannes voor The Oval Office - G2 Architecten bv.

SNELLE BOUWTIJD

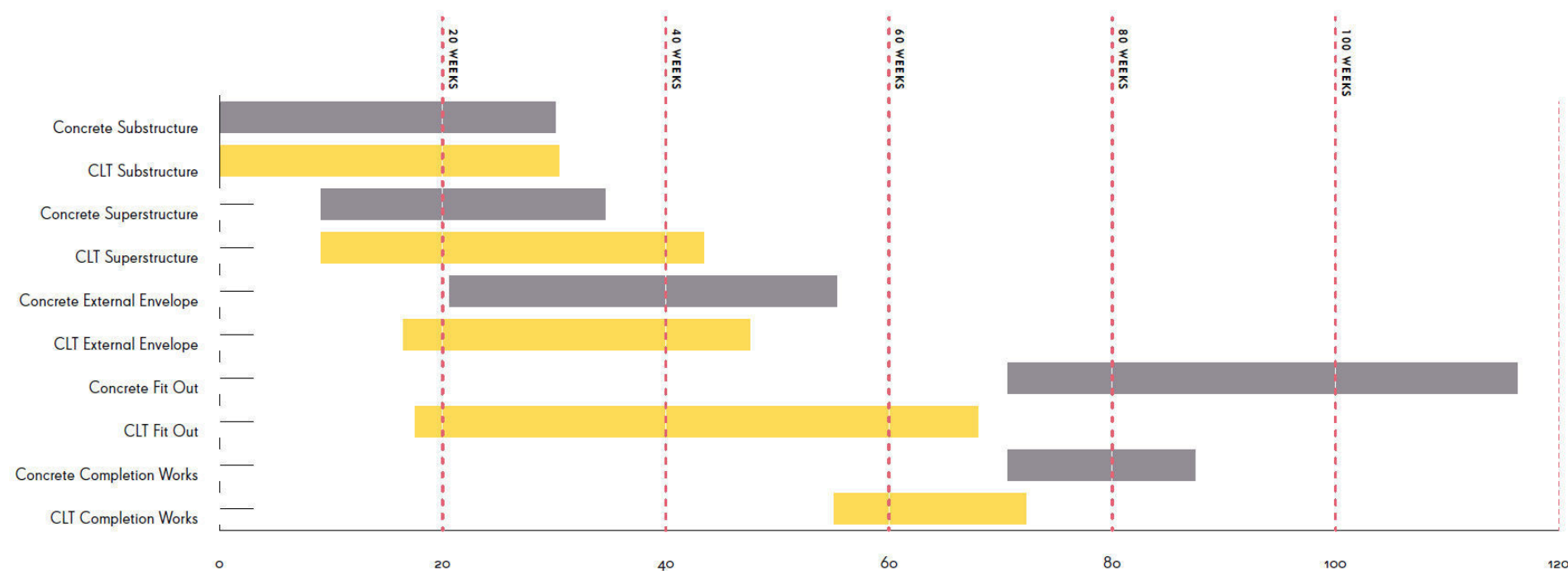
CLT-panelen worden volledig op maat in de fabriek gemaakt en op de bouwplaats alleen nog gemonteerd. Deze prefabricatie heeft een aantal grote voordelen; zoals een snellere bouwtijd en minder bouwverkeer. Ook is hout lichter en sneller en schoner te verwerken dan beton. CLT weegt slechts 20% van hetzelfde volume aan beton, waardoor minder mensen en minder zware kranen nodig zijn op de bouw. Ook de slooptijd is daarom aanzienlijk korter en goedkoper.

Volgens JP van Eesteren (aannemer HAUT) en Urban Climate Architects gaat het bouwen met hout 50% sneller dan bouwen met beton.

Voor gemeentes van binnenstedelijke gebieden, die over het algemeen veel hinder ervaren van bouwplaatsen en de constante stroomaanbouwverkeer, of juist van complete nieuwbouwwijken, kan dit een belangrijke motivatie zijn om te kiezen voor houtbouw. Voor woningcorporaties is het interessant dat een gebouw eerder opgeleverd kan worden, zodat de woningen eerder verhuurd kunnen worden.

Ook voor scholen, die te maken hebben met de start van een schooljaar, kan deze snelle bouwtijd een belangrijk argument zijn. Uit onderzoek van Waugh Thistleton Architects blijkt dat voor 81% van de onderwijsprojecten tijdwinst één van de belangrijkste factoren was bij de keuze van CLT voor hun project.

Er is een verschil tussen 2D prefabricatie (waarbij wand- en vloerelementen in een 'flatpack' worden aangeleverd op de bouw en daarin elkaar worden gezet) of 3D prefabricatie (waarbij volledig afgewerkte modules, soms inclusief gevel, op elkaar worden gestapeld op de bouw). In het laatste geval hebben we het over modulair bouwen. Zie voor meer informatie hierover het hoofdstuk [Modulair Bouwen](#).



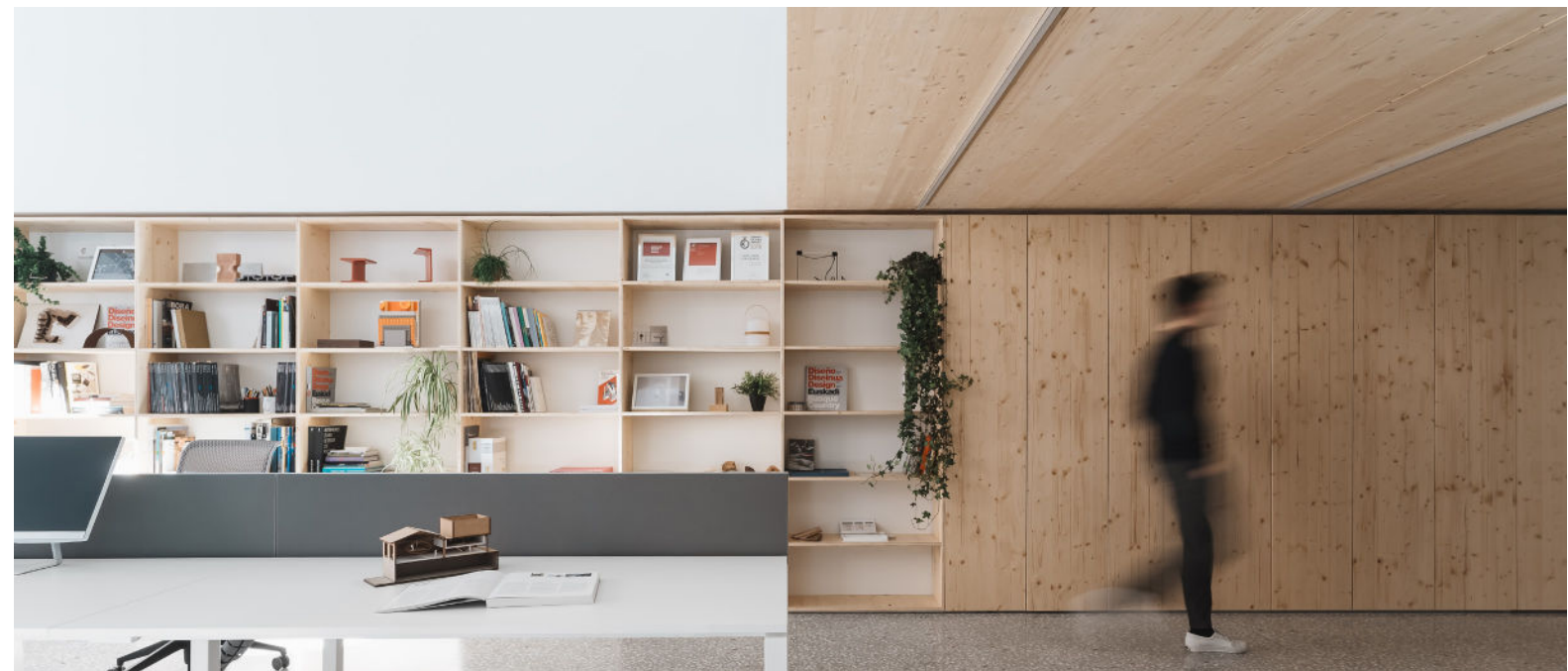
The Gantt chart indicates the approximate program adjustments that would be expected for a CLT scheme compared with a traditional reinforced concrete build.

Verskil in bouwtijd tussen traditionele betonbouw en houtbouw - © Waugh Thistleton Architects

LEEFCOMFORT

Hout is een natuurproduct dat 'ademt'. Dit zorgt ervoor dat hout warmte en vocht op een natuurlijk manier reguleert, zeker wanneer hout in het zicht gelaten wordt. Deze natuurlijke vochtbalans en aangename warmte zorgen ervoor dat het leefcomfort hoger is dan in een betonnen woning, en draagt zo bij aan een behaaglijke en gezonde leefomgeving.

De 'look en feel' van hout hebben daarnaast een positieve werking op de psyche van de mens. Hoewel dit lastig wetenschappelijk te onderbouwen is, verwoordt houtbouwexpert Michael Green dit mooi in zijn [TEDtalk](#): *"Part of the reason I love it is that every time people go into my buildings that are wood, I notice they react completely differently. I've never seen anybody walk into one of my buildings and hug a steel or a concrete column, but I've actually seen that happen in a wood building. I've actually seen how people touch the wood, and I think there's a reason for it. Just like snowflakes, no two pieces of wood can ever be the same anywhere on Earth."*



Verne Workspace - Verne Arquitectura (Fotograaf: Pablo García Esparza)



The Rye Apartments - Tikari Works

HOGERE RESTWAARDE

Hout heeft 20% van het gewicht van beton met hetzelfde volume. Dit heeft niet alleen grote voordelen voor de bouw, maar ook voor de sloop. Het slopen van betonnen gebouwen kost veel energie en geld en levert weinig herbruikbare materialen op.

Een massief houten gebouw daarentegen is, vanwege het lichtgewicht en het feit dat er veel 'droge verbindingen' worden toegepast, makkelijker te demonteren en transporteren. Deze onderdelen kunnen vervolgens in hun geheel of gedeeltelijk hergebruikt worden als bouw materiaal. Reststukken die niet meer bruikbaar zijn als bouw materiaal, kunnen worden gebruikt voor de papierproductie of voor energieopwekking in een biomassacentrale.

Om deze redenen is de restwaarde van een massief houten gebouw hoger dan dat van een betonnen gebouw. Dit kan voor een ontwikkelaar die op de lange termijn denkt een interessant argument zijn. Daarnaast kan het voor gemeentes van binnenstedelijke gebieden interessant zijn dat de sloop van een CLT gebouw veel minder belastend is voor de omgeving.



De sloop van een betongebouw kost veel geld en energie en levert weinig herbruikbare bouwmaterialen op.

BELEIDSMATIGE VERANDERINGEN

Nederland

Een grote verandering in de manier van bouwen lijkt nodig om in de toekomst aan de regelgeving te voldoen. Nederland heeft grote (en noodzakelijke) ambities: in 2030 moet 50% van de gebouwen circulair zijn, in 2050 100%.

Metropoolregio Amsterdam heeft zelfs al ambities die in de nabije toekomst liggen; minimaal 20% houtbouw woningen vanaf 2025.

Daarnaast neemt Nederland momenteel al grote stappen om uit de stikstofcrisis te komen. En ook in het **Europese en Nederlands Klimaatakkoord** zijn nieuwe uitgangspunten voor de bouwsector vastgelegd; daarin is onder meer afgesproken dat er een CO2-heffing komt voor de industrie.

Ook is in oktober 2020 het **Nationaal Houtbouw Akkoord** opgesteld, ondertekend door Staatsbosbeheer en het Ministerie van Economische Zaken, met als doel de Nederlandse bouwsector te stimuleren om houtbouw grootschalig toe te passen.

Om te anticiperen op deze grote beleidsmatige veranderingen die van invloed zijn op onze huidige manier van bouwen, is het belangrijk voor alle partijen die betrokken zijn in het bouwproces, zoals architect, aannemer, opdrachtgever en adviseur, om zich nu verder te verdiepen in houtbouw.

Onze buurlanden

Op het gebied van houtbouw loopt Nederland achter ten opzichte van onze buurlanden. In houtrijke landen als Zwitserland, Duitsland, Engeland en Scandinavië wordt dit veelzijdige materiaal al jarenlang volop benut. In Finland zijn zelfs 90% van de eengezinswoningen gebouwd in hout.

CLT is in Oostenrijk en Zwitserland ontstaan in de jaren '90. Bij veel huidige Nederlandse bouwprojecten worden daarom Oostenrijkse of Zwitserse leveranciers en adviseurs geraadpleegd.

Ook beleidsmatig zijn de landen daar al verder. Zo wordt er in de Duitse deelstaat Hamburg een subsidie verstrekt van 80 cent per kilo hout dat in een woongebouw wordt toegepast. In Frankrijk worden de voorbereidingen getroffen voor een nieuwe wet die in 2022 van kracht wordt. Deze wet vereist dat een publiek gebouw voor 50% uit hout of andere natuurlijke bouwmaterialen moet bestaan.



Rapport 'Nederland circulair in 2050' van de Rijksoverheid.



Kajstaden Tall Timber Building - CF Møller Architects (Fotograaf: Nikolaj Jakobsen)

KOSTENBEREKENING

Bouwen in hout vraagt een omschakeling in denken van de kostenadviseur. Wanneer we enkel naar de materiaalkosten kijken van CLT dan liggen deze ongeveer 30-40% hoger dan traditionele constructiematerialen. Hoewel er in eerste instantie hogere kosten zijn, zijn er **grote besparingen als gevolg van de lichtheid, nauwkeurigheid en verwerkbaarheid** van hout.

Een gebrek aan kennis van deze voordelen van CLT kan ertoe leiden dat de kostenadviseur op hoge kosten per vierkante meter vloeroppervlak uitkomt. Samenwerken met een ingenieur, kostenadviseur en hoofdaannemer die ervaring hebben met de bouw van CLT-gebouwen, is essentieel om te zorgen dat de mogelijke besparingen ook daadwerkelijk worden gerealiseerd zodat de opdrachtgever ook op het gebied van kosten overtuigd kan worden. In de praktijk wordt er vaak een beroep gedaan op de hout leverancier om mee te denken over de kosten.



Minder personeel nodig op de bouwplaats - © Waugh Thistleton Architects

Kostenberekening door de adviseur

Zaken waarmee de kostenadviseur onder andere rekening mee kan houden:

- Door de prefabricatie heeft houtbouw een **kortere bouwtijd**. Dit betekent bijvoorbeeld dat woningen sneller verhuurd kunnen worden, wat extra winst kan opleveren.
- Door prefabricatie is er ook 50-70% **minder menskracht** nodig op de bouwplaats,
- Door de nauwkeurigheid van prefabricatie is de kans op fouten en aanpassingen op de bouw kleiner; hierdoor kunnen de **onvoorziene kosten** omlaag.
- CLT vereist 80-85% minder leveringen dan in het werk gestort beton. Dit bespaart een hoop op **transportkosten**.
- Door de lichtheid van hout kan er vaak volstaan worden met een lichtere fundering; dit bespaart kosten voor de **fundering**.
- Een ander voordeel van de lichtheid van hout is dat er op de bouwplaats vaak kan worden volstaan met minder zwaar en duur **materieel**.

Het ontwerp

Daarnaast ligt er een **verantwoordelijkheid bij de architect**. Of CLT veel duurder uitvalt is afhankelijk van hoe het ontwerp in elkaar zit. Wanneer een in beton of staal ontworpen gebouw zomaar wordt omgezet naar een gebouw in massief hout kom je al snel op een 20% hogere kostprijs uit. Wanneer je echter vanaf het begin rekening houdt met de eigenschappen van massief hout dan daalt die kostprijs snel (zie hiervoor hoofdstuk [Vuistregels voor de architect](#)). Verschillende onderzoeken (waaronder dat van Nibe) wijzen uit dat de kostprijs bij **een geoptimaliseerd gebouw** zo'n 5% hoger uitkomt. Een kortere bouwtijd en een eventuele besparing op de fundering zijn daar nog niet in verwerkt.

Bij het opvragen van offertes bij CLT leveranciers is het gebruikelijk dat elke fabrikant 2 offertes voorlegt: één offerte gebaseerd op het ontvangen ontwerp, en één gebaseerd op een geoptimaliseerd ontwerp, indien de leverancier mogelijkheden ziet om een efficiëntieslag te maken.

CO₂-heffing

Het kabinet heeft in het Klimaatakkoord vastgelegd dat er een CO₂-heffing komt voor de industrie. De heffing moet op 1 januari 2021 in werking treden. Dit zal als gevolg van de coronacrisis waarschijnlijk uitgesteld zal worden, maar duidelijk is dat beton en staal in de toekomst duurder zullen worden.

Bouwproces

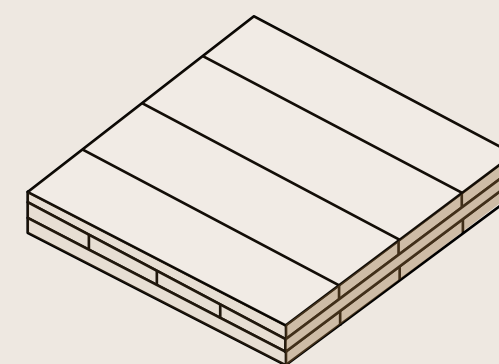
In verband met prefabricage vraagt houtbouw om meer engineering in een vroeg stadium van het proces. Het gevolg is dat een opdrachtgever meer kosten kwijt zal zijn aan het begin van het proces aan architecten, engineers en adviseurs. Anderzijds is er juist minder menskracht nodig op de bouwplaats. De kosten van het hele project worden dus meer **naar voren** gehaald.

Referenties

Patch22 (Tom Frantzen), appartementsgebouw: een gehele dragende constructie uitvoeren in hout zou ca 50% duurder zijn dan in beton. Daarom is er gekozen voor een hybride constructie: de kern en delen van de vloeren zijn uitgevoerd in beton (dit is ook direct voordelig voor de stabiliteit en akoestische eisen), de dragende elementen, als kolommen en draagbalken, en de gevelpanelen zijn van hout.

De Warren (Naturified Architecture), CPO project: 1800 euro/m² BVO ex btw

HAUT (Team V Architectuur), appartementengebouw, 73m hoog: bruto netto verhouding (GBO/BVO): 71%.



WAAROM IS HOUTBOUW
TOT NU TOE NIET MÉÉR
TOEGEPAST?

HISTORIE NEDERLANDSE BOUWCULTUUR

Om te begrijpen waarom de houtbouwcultuur in Nederland zich nog niet heeft kunnen ontwikkelen, is het goed om te kijken naar de geschiedenis van de Nederlandse bouwcultuur.

Van oudsher heeft Nederland een mineralencultuur. Nederland is een delta en wordt via de rivieren voorzien van gratis klei, zand en grind. Op die manier haalt Nederland al eeuwenlang haar bouw materiaal uit de rivieren. De steenfabrieken stonden daarom van oorsprong aan de rivier; daar werd klei opgehaald en gebakken tot bakstenen, die vervolgens per rivier getransporteerd konden worden.

In deze lijn is ook beton ontstaan; door de toevoeging van cement aan zand en grind ontstond een handig en betaalbaar bouw materiaal. Dit bouw materiaal heeft zich vervolgens goed kunnen ontwikkelen. Door de toevoeging van staal ontstond gewapend beton en door technieken als tunnelgietbouw is de betonproductie en -verwerking vergaand geoptimaliseerd en uiterst efficiënt. Daarom is betonbouw nog steeds de meest goedkope manier van bouwen. Ook weten alle partijen in de bouw, van de constructeur tot en met de ijzervlechter, precies hoe ze met beton om moeten gaan.

In deze 'steencultuur' ontstond de misvatting dat alleen stenen gebouwen, en later gebouwen van beton en staal, de tand des tijds konden overleven. Dat werkte in het nadeel van houtarchitectuur; in rap tempo verdween hout voor eeuwenlang naar de achtergrond.

De ontwikkeling van houtbouw heeft daardoor lang stil gestaan en staat nu op een flinke achterstand in de woningbouw t.o.v. betonbouw. Nederland mist op dit terrein historie en kennis, maar een handvol specialisten en voorvechters zijn momenteel bezig deze kennis te verwerven. Zij moeten echter hard werken om tegen vooroordelen van hout op te boksen. Daarnaast is ons huidige economische model nadelig voor houtbouw; houtbouw moet daarom constant beargumenteerd en bewezen worden als een betere bouw methode dan betonbouw.

Historisch gezien wordt de implementatie van nieuwe bouwtechnologieën vaak voorafgegaan door pilotprojecten met een iconische waarde voor vermogende opdrachtgevers. In dat opzicht zouden HAUT en Stories de aftrap kunnen geven voor CLT-projecten in Nederland.



Oude steenfabriek Bosscherwaarden, Wijk bij Duurstede (Fotograaf: Dirk-Jan Kaan)

BEZWAREN VAN BOUWPARTNERS

Het overtuigen van de opdrachtgever om te kiezen voor houtbouw wordt momenteel door vele architecten ervaren als het grootste obstakel. Om te begrijpen waarom deze en andere partijen in de bouw nog niet overtuigd zijn van houtbouw, is het leerzaam om naar hun bezwaren te kijken.

Aannemers

Bouwers kunnen bezwaren hebben. De voornaamste reden is te weinig ervaring met CLT. Een veel gehoorde angst bij aannemers is het risico op waterschade tijdens de bouw en de extra investering die het kost om kennis te vergaren over de verwerking en de bouwvolgorde van hout. Hierdoor durven aannemers het vaak niet aan, of nemen ze dit risico mee in hun offerte, waardoor deze hoger uitvalt dan bij traditionele bouw. Daarnaast kunnen er ook dubbele belangen spelen; aannemers hebben soms een aandeel in een betonfabriek, betonbouw is dan interessanter. Ballast Nedam geeft daarnaast aan dat ze bang zijn dat er een 'te groot beroep op de bossen worden gedaan', wat wijst op te weinig kennis van duurzaam bosbeheer.

Opdrachtgever

Het maatschappelijke belang van een duurzaam gebouw kan de opdrachtgever enthousiasmeren en meespelen in de uiteindelijke overwegingen. Een opdrachtgever zal echter ook altijd kostenbewust zijn. Een opdrachtgever die graag samenwerkt met een traditionele aannemer, zal vanwege het kostenplaatje niet snel kiezen voor houtbouw. Dit proces kan worden beïnvloed door in een vroeg stadium een aannemer erbij te betrekken die wel ervaring heeft met houtbouw en die kan concurreren met de traditionele aannemer (zie [Kostenberekening](#)). Een alternatief is om een houtleverancier als onderaannemer te betrekken, zodat deze de nodige kennis en ervaring kan inbrengen.

Corporaties

In oktober 2019 was de conclusie van Tegenlicht dat de grootste woningcorporaties van Nederland (Ymere, Eigen Haard, Vestia, Mitros, Rochdale) niet of slecht op de hoogte zijn van de mogelijkheden van CLT-hout. De meeste gehoorde bezwaren waren: te duur, te veel onderhoud, onbekend met het materiaal en te innovatief.

Corporaties die wel een uitgesproken hout-ambities hebben, zijn: Fien Wonen, Wonen Limburg, Sint Trudo, Woontij Texel, Wooncompagnie en 8 Brabantse woningcorporaties verenigd in het samenwerkingsverband 'Lente'.

Ontwikkelaar en belegger

Voor een ontwikkelaar speelt de uiteindelijke afnemer van het gebouw een belangrijke rol. Worden het koopwoningen, dan zal de ontwikkelaar vooral bezig zijn met de verkoopbaarheid van de afzonderlijke woningen en daar kan houtbouw, vanwege de esthetische waarde en het leefcomfort, een positieve uitwerking op hebben.

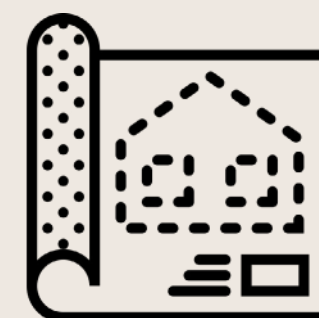
Maar wanneer het gebouw naar een belegger gaat, dan wordt er gekeken naar de waardevastheid van het gehele gebouw. Omdat CLT een nieuw materiaal is dat zijn waardevastheid nog niet 'bewezen' heeft, kan een ontwikkelaar bang zijn dat beleggers geen interesse hebben in het gebouw en daarom de een investering in houtbouw niet aan durven.



House at the Lake - Studio Nauta (Fotograaf: Frank van der Salm)



M'DAM (Monnickendam)- Finch Buildings, Opdrachtgever: BMB, Wooncompagnie



CLT IN DE
SO-FASE

EIGENSCHAPPEN
VAN CLT

CLT staat voor ‘Cross Laminated Timber’, in het Nederlands ‘kruislaaghout’. Het is een constructiemateriaal opgebouwd uit ten minste drie kruislings verlijmde enkel laags latten die haaks op elkaar zijn geplaatst, toepasbaar als wanden als vloeren. Bouwen met hout wordt daarom ook wel ‘massieve houtbouw’ genoemd.

Het kruislings verlijmen van de latten heeft een aantal voordelen:

- CLT-panelen dragen in twee richtingen.
- Er is geen uitzet, krimp of vervorming.
- Qua sterkte en stijfheid komen CLT-panelen in de buurt van beton.
- Er is enkel folie/tape nodig om de naden van aansluitende panelen te dichten.

De meeste gebruikte afmetingen van CLT panelen zijn:

- Breedte: tot 3.000 mm
- Lengte: tot 16.000 mm
- Dikte: tot 300 mm

Andere afmetingen zijn mogelijk, maar dan kom je al snel in de ‘specials’.

De gebruikelijke diktes voor CLT panelen zijn:

- 160 mm voor de vloer
- 110 mm voor de wand

Dit is niet de totale dikte van de vloer- of wandopbouw, maar enkel het CLT-paneel (zie hiervoor [Vloeropbouw](#) en [Wandopbouw](#)). De dikte van de panelen is afhankelijk van de constructieve belasting en de akoestische- en brandveiligheidseisen.

Voor de middenlagen van CLT wordt hout gebruikt wat anders afgekeurd zou worden; knoesten, verkleuring of beschadigd hout. Het is nooit de kern van de boom.

Er zijn 3 zichtklassen:

- Klasse A: Woon-zichtkwaliteit (exposed)
- Klasse B: industrie-zichtkwaliteit (industrial surface)
- Klasse C: niet-zichtkwaliteit (not exposed)

In CLT panelen wordt lijm gebruikt. Veelal wordt gebruikt gemaakt van twee soorten lijm: PUR-lijm of MUF-lijm. PUR is een lijm op basis van polyurethaan, MUF is gebaseerd op melamine-ureum-formaldehyde. Doorgaans wordt de voorkeur gegeven aan PUR-lijm; deze lijm is vrij van oplosmiddelen en formaldehyde en daarmee beter voor toekomstig hergebruik of recycling. Lijm is over het algemeen niet duurzaam, maar maakt slechts 1-2% van het product uit. Er zijn ook leveranciers die CLT panelen leveren met houtverbindingen in plaats van lijm. Dit is duurzamer, maar gaat ten koste van de stabiliteit van een paneel.

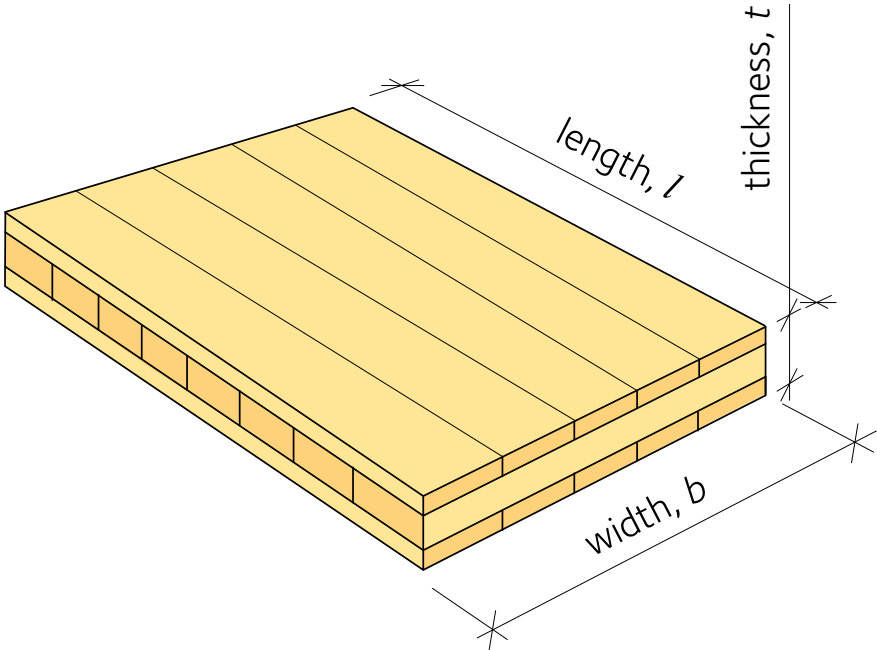


Table 1.3 Common dimensions for CLT panels. Parameters see also figure 1.5.

Parameter	Commonplace	Available
Thickness, t	80 – 300 mm	60 – 500 mm
Width, w	1,20 – 3,00 m	up to 4.80 m
Length, l	16 m	up to 30 m
No. of layers	3, 5, 7, 9	up to 25

Meest voorkomende afmetingen CLT - © Swedish Wood

Table 1.4 Appearance classes, example

Appearance class	May occur	Not permitted	Example of surface
Exposed surface	Few pitch pockets under 3 × 40 mm² Black knot less than 10 mm Sound knot less than 10 mm	Enclosed bark, open scars, firm/soft rot, pith, insect attack, wane, knot hole, decayed knot, encased knot, notches, splits (not seasoning checks), visible glue	
Industrial surface	Few pitch pockets under 3 × 40 mm² Black knot less than 20 mm Dead knot less than 20 mm Sound knot, pith, knot hole, minor occurrence of notches, visible glue	Bark-encased scars, open scars, firm/soft rot, insect attack, wane, decayed knot, encased knot, splits (not seasoning checks), eye-catching knot clusters	
Not exposed surface	Pitch pockets, knot holes, black knots, decayed knots, dead knots, notches, encased knots, sound knots, pith, splits, insect attack, visible glue, colour differences between boards, blue stain to a lesser extent.	Firm rot, soft rot	

Verschillende zichtklassen - © Swedish Wood

GESCHIKTE BOUWTYPOLOGIEËN

CLT heeft voordelen en nadelen, net als beton. Een van de minder voordelige eigenschappen van hout is de lage geluidswering en kwetsbaarheid voor vocht. Dit zorgt ervoor dat bepaalde gebruiksfuncties zich goed lenen voor CLT-bouw en andere nog gedegen onderzocht moeten worden.

Hierbij een overzicht:

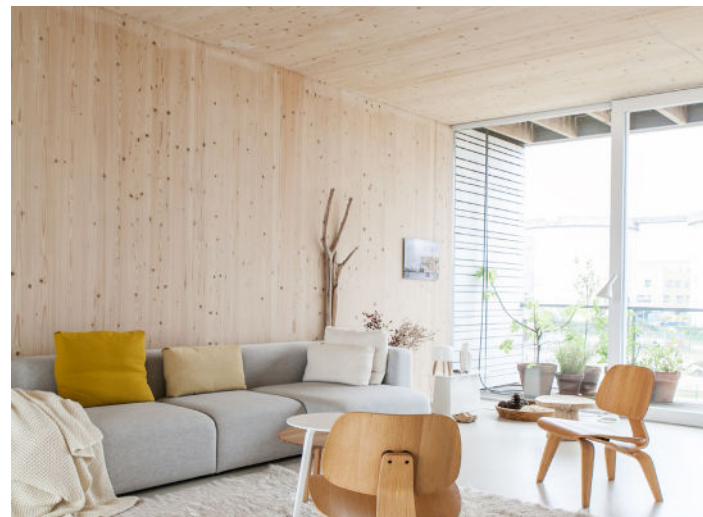
- **Utiliteitsbouw** (kantoor, scholen, etc.): gezien de lage akoestische eisen geschikt voor CLT, zeker wanneer het om laagbouw (tot 7 lagen) gaat. Wel is er bij deze functies vaak een behoefte aan grote open ruimtes. Er dient rekening gehouden te worden met de kortere overspanningslengte van CLT van ca. 6 meter of er moet worden overgestapt op een houten kolom/ligger constructie in glulam.
- **Gestapelde woningbouw:** zeker mogelijk, maar belangrijk om aanvullende kennis op te doen over de akoestische en brandveiligheidsmaatregelen die getroffen moeten worden om aan de eisen van het bouwbesluit te voldoen. Zie hiervoor [Bouwtechniek](#) en [Bouwfysica](#). Studio woningen zijn zeer geschikt om modulair te bouwen.
- **Grondgebonden woningen:** zeer geschikt voor CLT, vanwege het ontbreken van woningscheidende vloeren, de geringe hoogte en een goede beukmaat. HSB is hier ook een goede optie.
- **CPO-woningbouw** projecten: goede projecten om CLT toe te passen, vaak hebben deze opdrachtgevers een hoge duurzaamheidsambitie.
- **Hotel functie:** gezien de lagere akoestische eisen geschikt voor CLT. Vanwege de kleine beukmaat van hotelkamers is CLT in combinatie met modulaire bouw erg geschikt.
- **Civiele functie** (zoals bruggen): (momenteel) minder geschikt voor houtbouw, vereist veel aandacht met betrekking tot vocht.



Hotel Jakarta - SeARCH



Secondary School in Sauland, Norway - PPAG Architects with Helen&Hard
(Fotograaf: Wolfgang Thaler)



Kea Boumanstraat - MeesVisser



Community Center - NORD Architects (Fotograaf: Adam Mørk)

TIPS VOOR DE STEDENBOUWKUNDIGE

De realisatie van een massief houten gebouw wordt meer haalbaar, wanneer er in het stedenbouwkundig plan al rekening is gehouden met de kleinere vormvrijheid van houtbouw. Wanneer een stedenbouwkundige de ambitie heeft om binnen een stedenbouwkundig plan één of meerdere gebouwen in massieve houtbouw voor te schrijven of dit te stimuleren, is het raadzaam om te kijken naar welke gebouwmassa's zich goed lenen voor CLT-bouw.

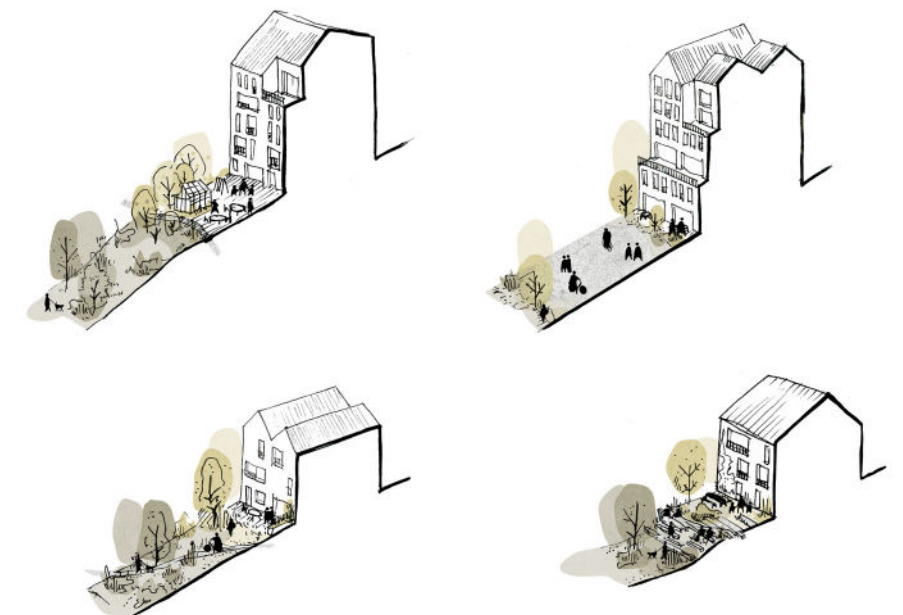
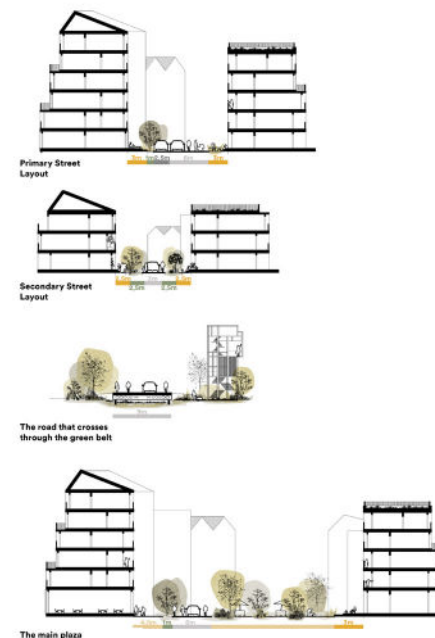
Denk hierbij aan:

- de vorm van het gebouw;
- de functie (zie [Bouwtypologieën](#));
- de hoogte en beukmaat (zie [Constructie](#));
- het gevelmateriaal (zie [Gevelafwerking](#));
- balkons (zie [Buitenruimte](#)).



Vejlands Quarter - Henning Larsen

Copenhagen's first all timber neighborhood. The project would transform a former dumping ground site into a model for sustainable living, accommodate 7,000 residents in an entirely timber construction.



VUISTREGELS VOOR DE ARCHITECT

Belangrijk is om voor houtbouw te kiezen vóórdat je aan een schetsontwerp of tender begint, zodat er rekening kan worden gehouden met de volgende zaken.

Vormvrijheid

Houtbouw is een ander bouwsysteem dan beton of staal en heeft dus ook andere mogelijkheden en beperkingen. Bij houtbouw is de vormvrijheid kleiner. Een ontwerp in beton of staal is later niet zomaar om te zetten naar een ontwerp in massief hout. Een lichte afwijking van de standaardmaten van de houten elementen kan een flinke sprong in de kostprijs opleveren.

De keuze voor houtbouw o.a. heeft invloed op de volgende onderdelen:

- De **hoogte en beukmaat** van het gebouw (zie hoofdstuk [Constructie](#))
- De vormgeving van de **buitenruimte** (zie hoofdstuk [Buitenruimte](#))
- De **gevelafwerking** (zie hoofdstuk [Gevelafwerking](#))

Bekijk deze hoofdstukken voordat je aan een ontwerp begint.

CLT in het zicht

Bij particuliere woningbouw kan CLT vaak aan meerdere zijdes in het zicht gelaten worden. Bij gestapelde woningbouw is dit, wegens akoestische en brandveiligheidseisen, vaak niet haalbaar. Hier wordt meestal maximaal één zijde in het zicht gelaten, waarbij vaak gekozen wordt voor het plafond.

Complexe vormen

CLT-panelen kunnen gemakkelijker in complexe vormen worden uitgevoerd dan beton. Voor beton moeten er mallen worden gemaakt, terwijl CLT computergestuurd wordt gezaagd. Echter, deze complexe snedes, met name ronde vormen, hebben wel invloed op de kosten van het paneel.

Bouwteam

De samenwerking tussen alle betrokken partijen (zoals engineers, adviseurs, aannemer, opdrachtgever en houtleverancier) in een **vroeg stadium** van het ontwerp is van groot belang voor de haalbaarheid van een massief houten gebouw. Zie hiervoor hoofdstuk [Samenwerking bouwteam](#). Belangrijk is om engineers en adviseurs te betrekken die ervaring hebben met houtbouw, zie hiervoor [Databank](#).

Uit de praktijk blijkt dat een goede communicatie en het regelmatig uitwisselen van schetsen met adviseurs tijdens de SO-fase belangrijk zijn voor het tot stand komen van een goed concept. Vanaf de VO-fase in Revit tekenen is aan te raden.

Maak de keuze voor CLT snel bespreekbaar met de opdrachtgever/bouwer, zodat voor iedereen duidelijk is dat hierop wordt ingezet.

Standaardmaten

Zie de volgende pagina voor belangrijke standaardmaten tijdens de SO-fase.

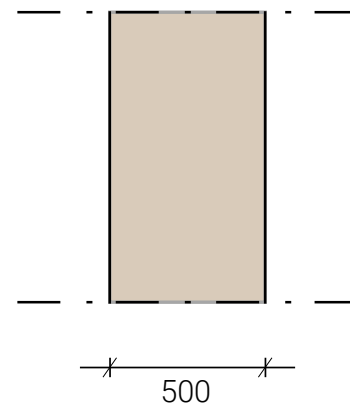
VUISTREGELS VOOR DE ARCHITECT

Standaardmaten

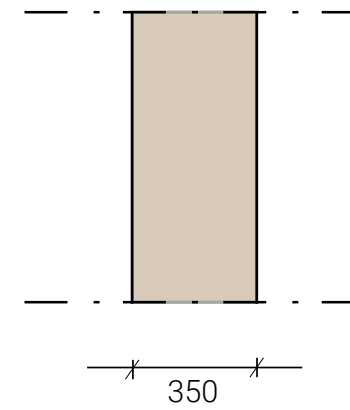
Het is verstandig om wanden/vloeren tijdens de SO-fase te over-dimensioneren, zodat er geen verlies van vloeroppervlak kan plaats vinden in een latere fase.

Hiernaast is in beeld weergegeven welke maten je kunt aanhouden voor wanden en vloer tijdens de SO-fase:

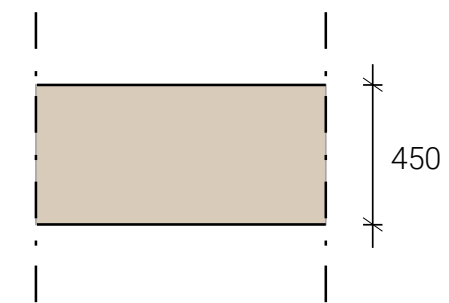
- Externe wanden: 500mm (gevelafwerking – isolatie – CLT).
- Dragende en woningscheidende wanden: 350 mm (CLT + akoestische voorzieningen).
- Woningsscheidende vloeren: 450mm (CLT + akoestische voorzieningen/dekvloer).
- Vloeroverspanning/beukmaat: max. 6000mm, idealiter 5400mm.
- Verdiepingshoogte: min. 3050mm.
- Plaats woningsscheidende wanden boven elkaar.
- Voor een volledig houten constructie geldt een maximale hoogte van ca. 40 meter. In de praktijk zien we vaak boven de 20-25m een hybride constructie.



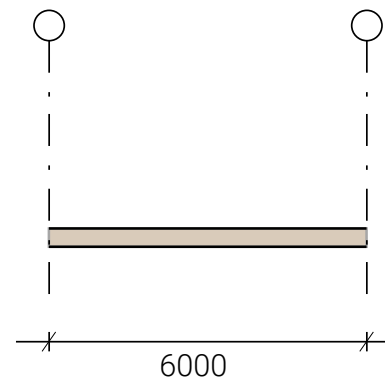
Externe wand 500mm



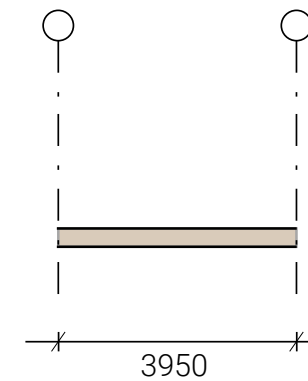
Dragende- en woningscheidende wand 350mm



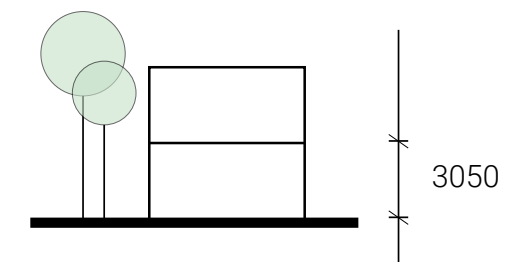
Woningsscheidende vloer 450mm



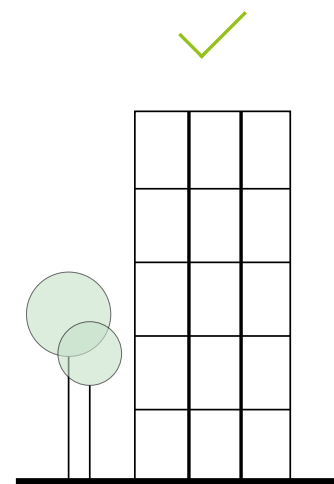
Maximale overspanning 6000mm
Idealiter overspanning van 5400mm



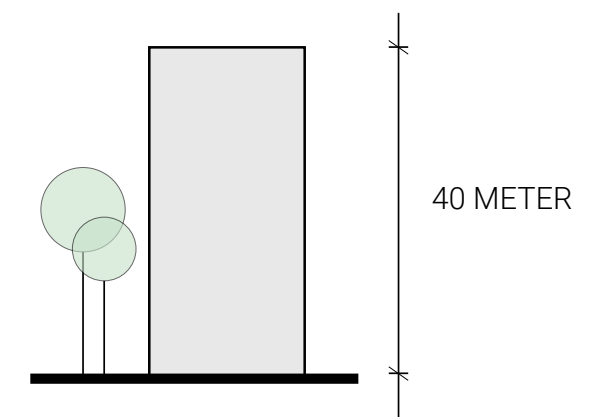
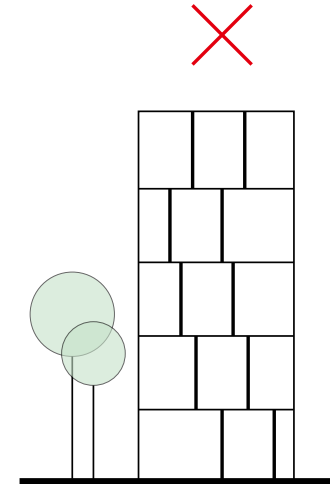
Maximale overspanning 3950mm bij Modulair bouwen



Minimale verdiepingshoogte 3050 mm



Plaats woningsscheidende wanden boven elkaar



Maximale hoogte: ca. 40 meter

SAMENWERKING BOUWTEAM

Houtbouw vraagt om een andere indeling van het bouwproces dan traditionele bouw; in een **vroeg stadium van het ontwerpproces wordt veel engineering vereist**.

Bij CLT worden vrijwel alle onderdelen geprefabriceerd op de bouwplaats afgeleverd. In de fabriek worden de elementen nauwkeurig geproduceerd met zeer kleine marges en inclusief frees- en boorwerk t.b.v. leidingwerk. Aanpassingen op de bouw zijn mogelijk, maar kostbaar. Een dergelijke bouwmethodiek vergt meer engineers die al vroeg in het ontwerpproces meedenken over oplossingen en die alle houten bouwdelen voorafgaand aan de productie uittekenen en uitdetaileren.

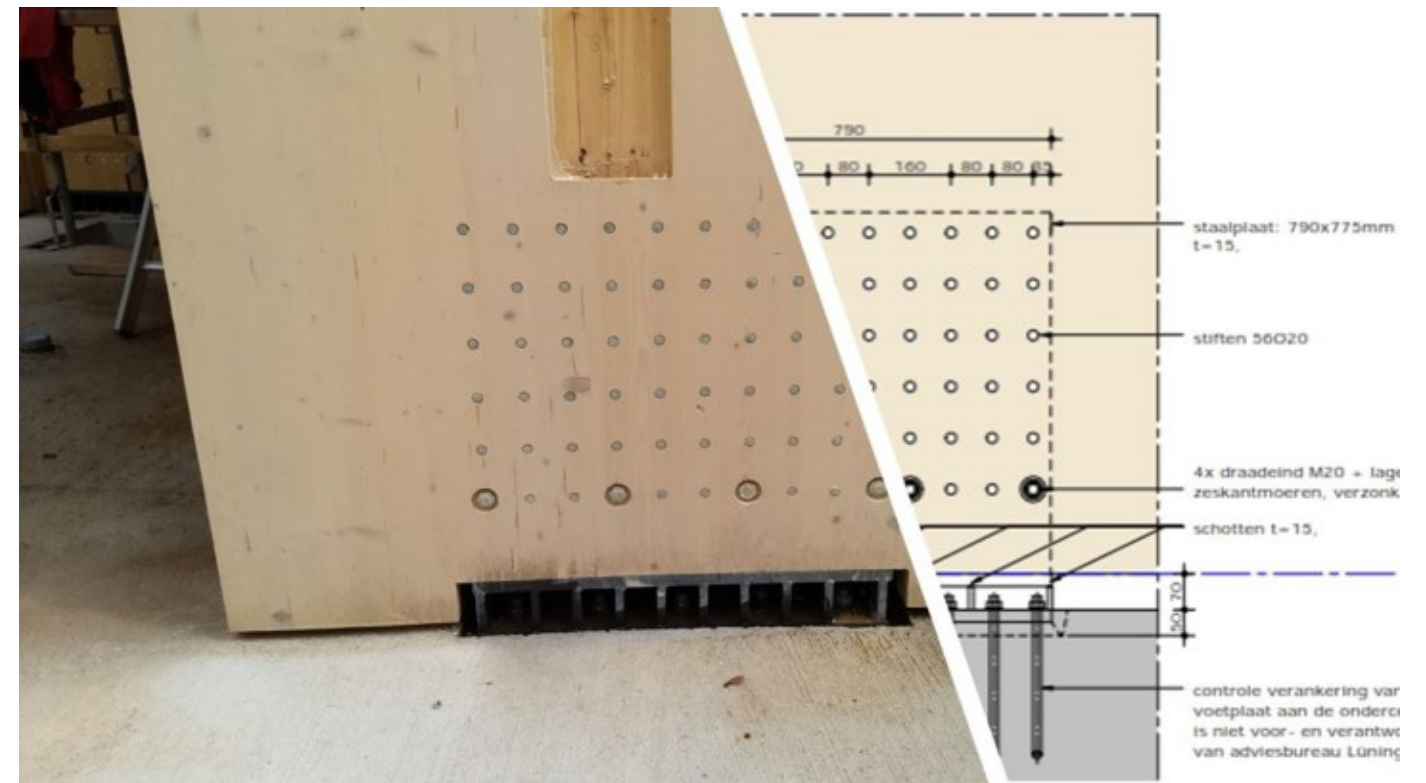
Ook de **houtconstructeur en akoestisch, brand- en installatieadviseur** moeten vroeg betrokken worden. In de praktijk blijkt dat een goede communicatie en het regelmatig uitwisselen van schetsen tijdens de SO-fase belangrijk zijn voor het tot stand komen van een goed concept.

De houtconstructeur zal in de VO-fase al details opzetten, veel afstemming tussen de bouwteamleden is dus vereist. CLT-projecten komen daarom idealiter tot stand in een **“shared BIM model”**. Het is dus aan te raden om in de VO-fase in Revit te tekenen.

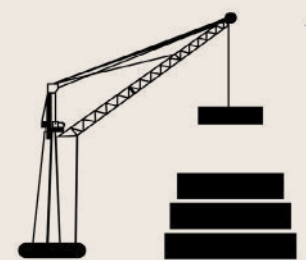
De prefabricatie zorgt ervoor dat VO-tekeningen al bijna op bestektekeningen-niveau moeten zijn gemaakt. Er zit hierdoor meer tijd in de werkvoorbereiding en planning, maar die tijd haal je ruimschoots in op de bouwplaats. De kosten worden dus naar voren gehaald in het ontwerpproces.

Ook is het aan te raden om al vroeg een **aannemer** erbij te betrekken; deze heeft namelijk vaak veel invloed heeft op de uiteindelijke beslissing van de opdrachtgever in verband met de kosten en de risico's. Het liefst een ervaren aannemer, maar als dit niet het geval is betrek dan al vroeg de juiste adviseurs en een ervaren **houtleverancier** als **onderaannemer**. In de praktijk vormen houtleveranciers vaak een grote rol, omdat zij kunnen zorgen voor de juiste kennis van houtbouw in het project. Bij een volledige CLT constructie fungeren ze soms als hoofdaannemer en ook kunnen ze helpen bij kostenberekeningen.

Deze nieuw indeling van het bouwproces vraagt om een andere rol van de architect: een meer inhoudelijke rol in de afstemming en coördinatie van de bouwkundige, constructieve en esthetische oplossingen. De architect is daarmee terug in de rol van de **klassieke bouwheer**.



Houtdetail van Adviesbureau Lüning - Triodos Bank



BOUWTECHNIEK

HOUTBOUW OPTIES

In deze handleiding focussen wij ons op CLT, maar er zijn meerdere houtproducten om in te zetten als je met hout wilt bouwen. Een beknopt overzicht:

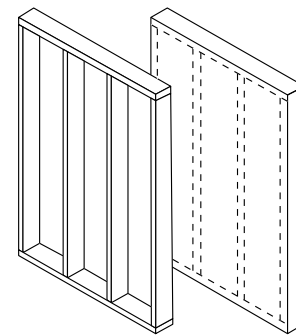
- CLT: geschikt als constructieve en woningscheidende wanden, binnenspouwblad en woningscheidende vloeren.
- HSB (houtskeletbouw): houten frames met isolatie erin, geschikt om te gebruiken als constructieve, woningscheidende wanden en binnenspouwblad.
- Glulam (Glue-laminated timber): gelamineerd hout, geschikt als kolom en ligger
- Houten kozijnen en gevelelementen.
- Daarnaast nog: Laminated Veneer Lumber (LVL), Laminated strand lumber (LSL), Parallel strand lumber (PSL).

Houtbouwsystemen voor de seriematige woningbouw

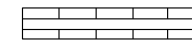
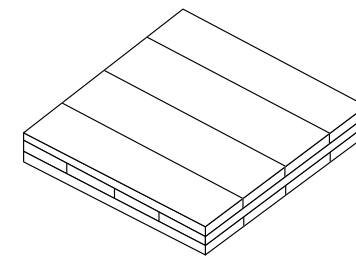
HSB-elementen zijn vaak een stuk goedkoper dan CLT, maar vanwege de geringere stabiliteit, kan een gebouw met een HSB-constructie vaak niet uit meer dan 3 lagen bestaan.

Een combinatie van HSB en CLT is daarom zeer geschikt voor de seriematige woningbouw:

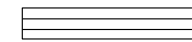
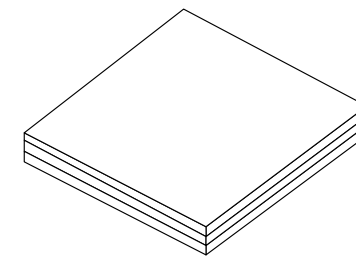
- Tot en met 4 lagen: HSB constructie met CLT vloeren
- Vanaf 4 lagen: “tunnelen” met CLT en de gevels dichtzetten met (prefab) HSB.



Houtskeletbouw (HSB)



Cross Laminated Timber (CLT)



Laminated Veneer Lumber (LVL)



CLT



Glulam



LVL



LSL



PSL

FUNDERING

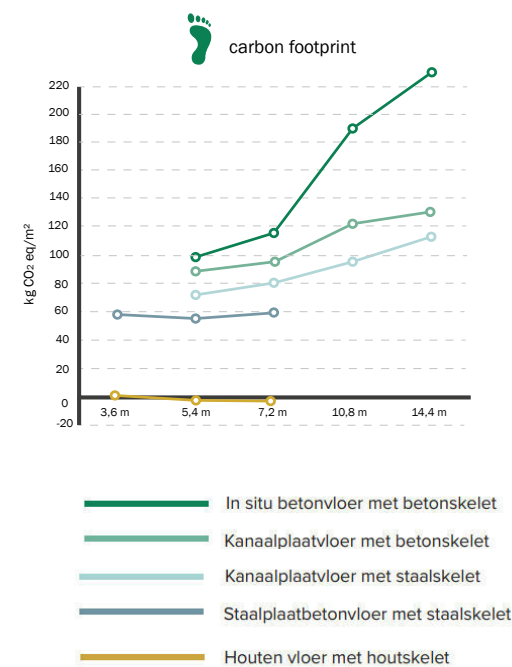
Vanwege vocht wordt het aangeraden om de fundering en begane grond vloer (alles onder het maaiveld) in beton uit te voeren. Vanaf 150mm boven maaiveld kun je CLT toepassen.

Hout is een zeer licht bouw materiaal; CLT weegt slechts 20% van hetzelfde volume aan beton, wat voordelig kan uitpakken voor de fundering. Afhankelijk van de grondsamenstelling van de locatie van de ontwerp opgave kan de fundering wellicht lichter worden uitgevoerd dan bij een betonnen gebouw. Dit kan een hoop geld en bouw tijd schelen en eventueel extra bouw lagen mogelijk maken. Ook is het hierdoor mogelijk om bestaande gebouwen op te toppen met CLT.

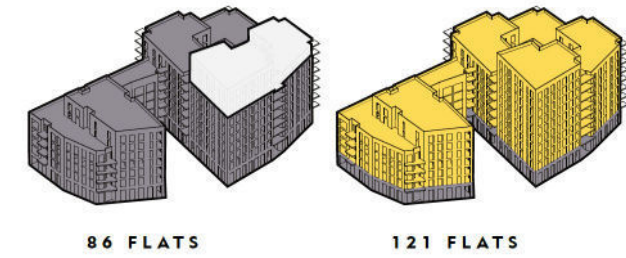
Enkele voorbeelden:

- Dalston Lane (architect: Waugh Thistleton Architects): bij deze opgave kon er niet diep gefundeerd worden vanwege een ondergrondse metrolijn. Door het gebouw in hout uit te voeren, kwam het gewicht op 1/5 van het equivalent van een betonnen gebouw uit, waardoor de fundering minder diep kon worden uitgevoerd. Ook konden er hierdoor niet 86 appartement (in beton), maar 121 appartementen (in CLT) gerealiseerd worden.

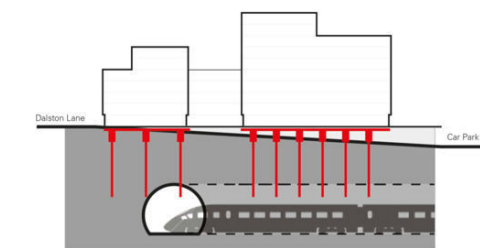
- Molslaan, Delft (Urban Climate Architects): in de binnenstad van Delft is op de bestaande fundering van een één-laags steens gebouw, een massief houtwoongebouw gerealiseerd van 3 lagen.
- Transformatie verzorgingshuis Breda tot woongebouw (Urban Climate Architects): zonder aanpassingen aan de fundering zijn op dit bestaande gebouw 2 extra bouw lagen in CLT toegevoegd.



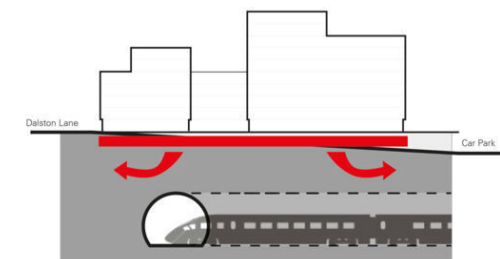
Vergelijking gewicht van betonnen en houten vloeren © ABT



Dalston Lane - meer woningen mogelijk door houtbouw © Waugh Thistleton Architects



Piled Approach Clashes With Crossrail ❌



Raft Approach Spreads the Load ✅

Dalston Lane - Lichtere fundering mogelijk door houtbouw



© Waugh Thistleton Architects

CONSTRUCTIE

CLT-wanden en vloeren komen qua sterkte en stijfheid in de buurt van beton. CLT kan daarom constructief worden toegepast. Je hebt hierbij dezelfde keuzes als bij traditionele bouw: een kolom/balk constructie of een wand/vloer constructie.

Dimensionering van hout

Hout is één van de sterkste materialen per gewicht, maar hout is ook lichtgewicht. Dit betekent dat een houtconstructie t.o.v. een beton- of staalconstructie met dezelfde draagkracht, lichter zal zijn in gewicht, maar **groter in omvang**. De dimensionering van het hout is voor een groot deel afhankelijk van de onderlinge staalverbindingen. Deze moeten in een vroeg stadium al berekend worden door een houtconstructeur. Het is daarom van belang om de houtconstructeur tijdens de SO-fase te betrekken bij het ontwerp. De constructeur zal in deze fase meer tijd kwijt zijn aan het maken van berekeningen en details dan bij betonbouw, maar zal daardoor in een later stadium minder tijd nodig hebben.

Hoogte van het gebouw

Een volledige CLT-constructie is het meest geschikt tot een **hoogte van ca. 20-25m (ca. 7 lagen)**, maar kan tot ca. 40 meter hoogte worden toegepast. Een gebouw van max. 5 lagen (waarbij de hoogste verblijfsgebied op 13 meter hoogte ligt) is ideaal voor een massief houten gebouw in verband met de krachten, afmetingen van het hout en de brandveiligheidseisen.

Beukmaat

Grote horizontale overspanningen is het minst sterke punt van CLT. Als vloeroverspanning dient daarom een **maximum van ca. 6 meter** te worden aangehouden, maar de beste overspanningsbreedte is 5,4 meter. Bij een gewenste grotere overspanning kan er overstapt worden op een kolom/ligger constructie. Bij modulair bouwen ben je qua afmetingen afhankelijk van het transport, zie hiervoor het hoofdstuk [Modulair Bouwen](#).

Impact van akoestische voorzieningen

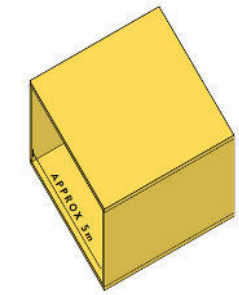
In verband met de geluidseisen tussen woningen, zullen de woning-scheidende CLT-vloeren en wanden vaak akoestisch ontkoppeld moeten worden (zie hiervoor hoofdstuk [Akoestiek](#)). Deze ontkoppeling gaat ten koste van de stabiliteit van het gebouw. Er moet dus met de akoestisch adviseur en de constructeur gezocht worden naar de juiste balans tussen stabiliteit en akoestiek; eventueel moet er gebruik worden gemaakt van een hybride constructie.

Hybride constructies

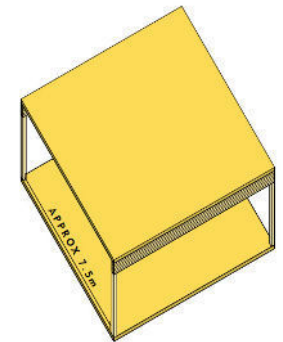
In veel gevallen van houten gebouwen wordt er een hybride constructie toegepast: een combinatie van massief houtbouw en staal/beton. Het is mooi als een gebouw volledig in hout geconstrueerd kan worden, maar bij parkeerkelders en hoogbouw lijkt dit vooralsnog economisch niet haalbaar. Bedenk dan: een besparing van 70% beton of staal is nog steeds zeer de moeite waard.

Veel gebruikte hybride constructie oplossingen:

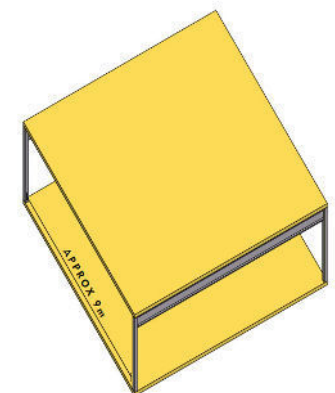
- Een **betonnen (lift)kern** over de volledige hoogte van het gebouw ten behoeve van de stijfheid.
- Een **betonnen plint** (sokkel) waarop de houten constructie rust. Vaak wordt er in de plint van een woongebouw een ander programma vereist. Dit vraagt vaak om een andere beukmaat dan de bovengelegen woningen. De betonplint vormt dan een 'tafelconstructie' die de krachten van de bovengelegen constructieve wanden kan opvangen en overdragen.



PURE CLT
CLT forms all principal structural elements.

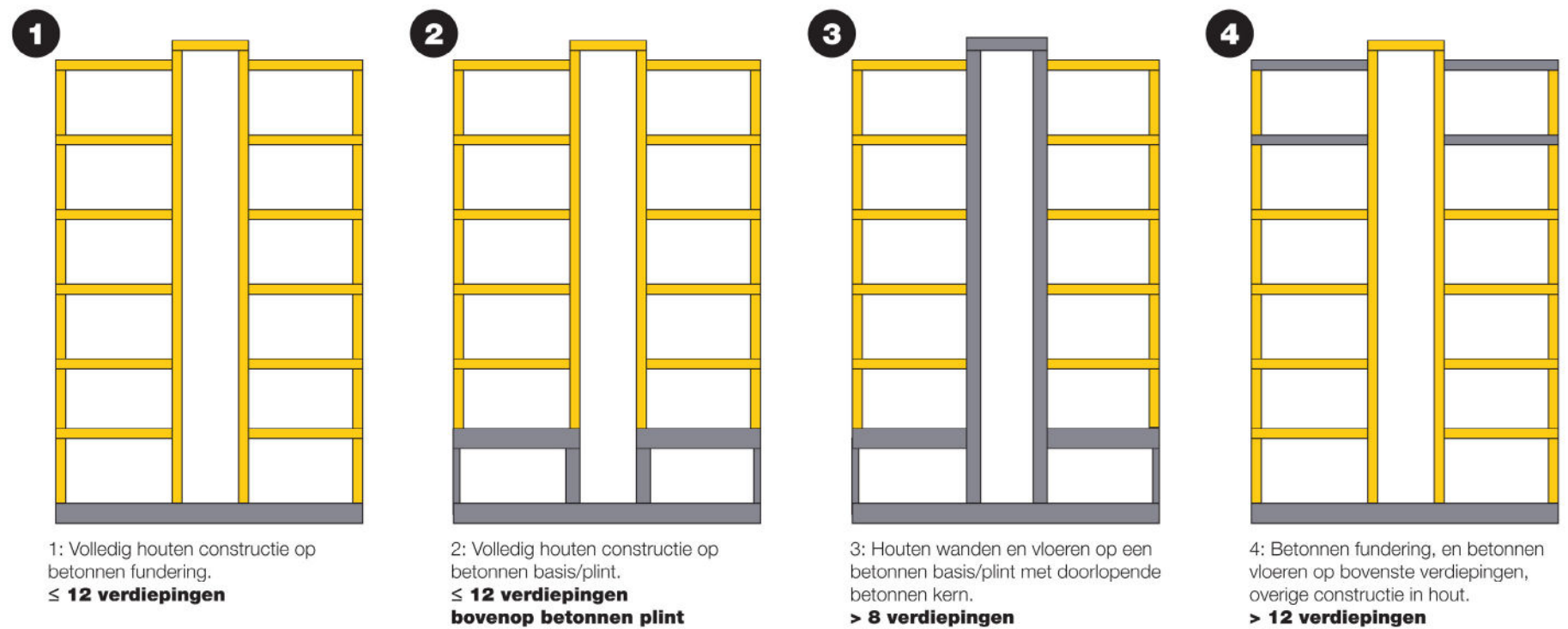


TIMBER HYBRID
Utilizing CLT slabs with glulam columns and beams.

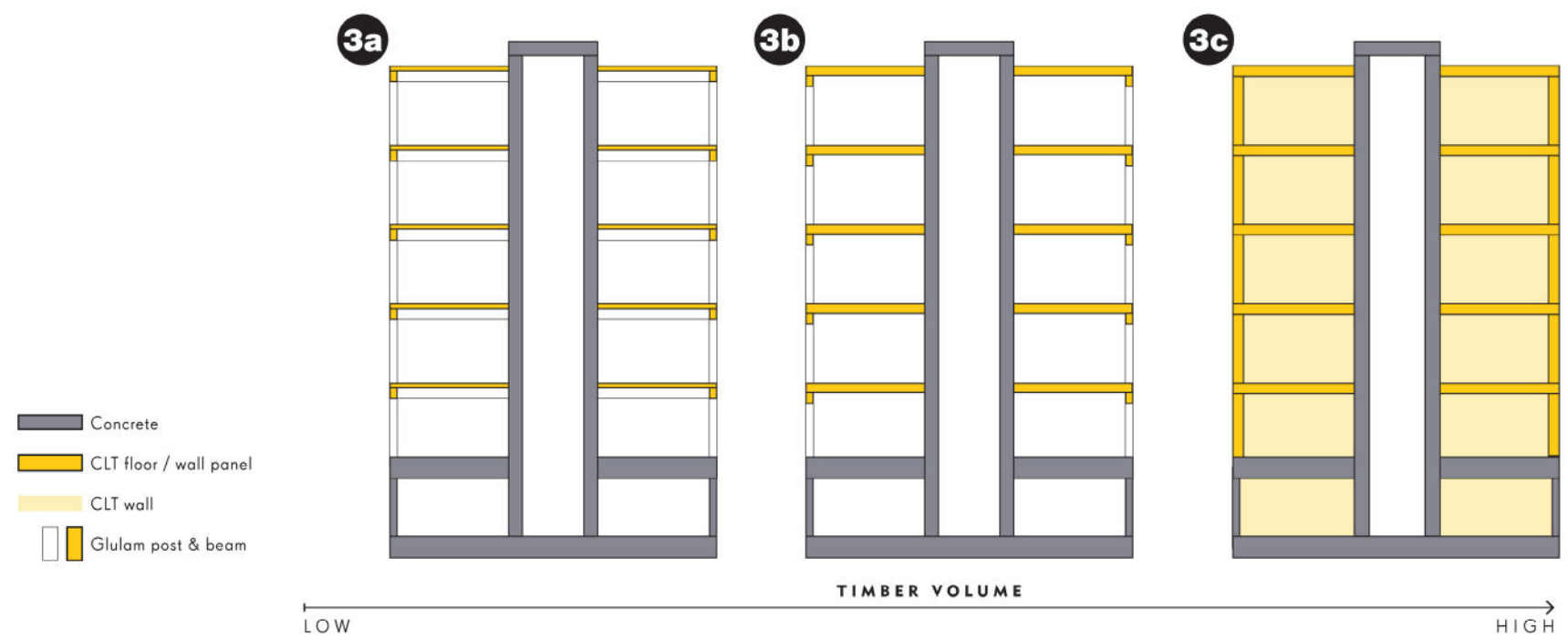


HYBRID
CLT slabs supported by a concrete or steel frame.

Constructievarianten CLT © Waugh Thistleton Architects



Schematische weergave van drie veel voorkomende constructiemodellen, waarbij de keuze voornamelijk afhangt van het aantal bouwlagen.



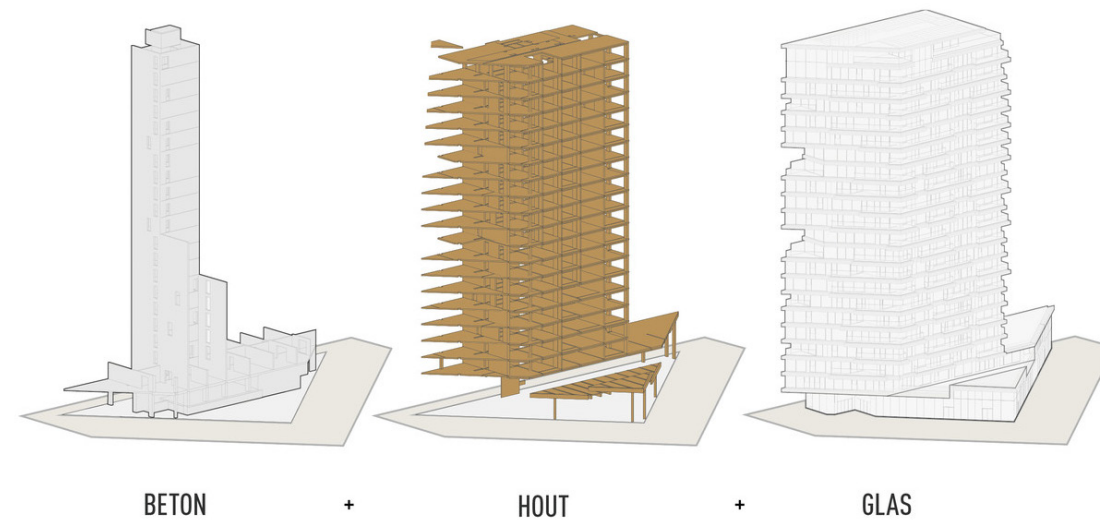
Schematische weergave van drie varianten op de hybride constructie met beton en hout. Van links naar rechts van weinig naar veel houtmassa.
(Bron: Waugh Thistleton Architects (2019), 'MET feasibility')

© Waugh Thistleton Architects (vertaald door Orga Architecten)

CONSTRUCTIE - REFERENTIES

Enkele voorbeelden van woongebouwen met hybride constructies:

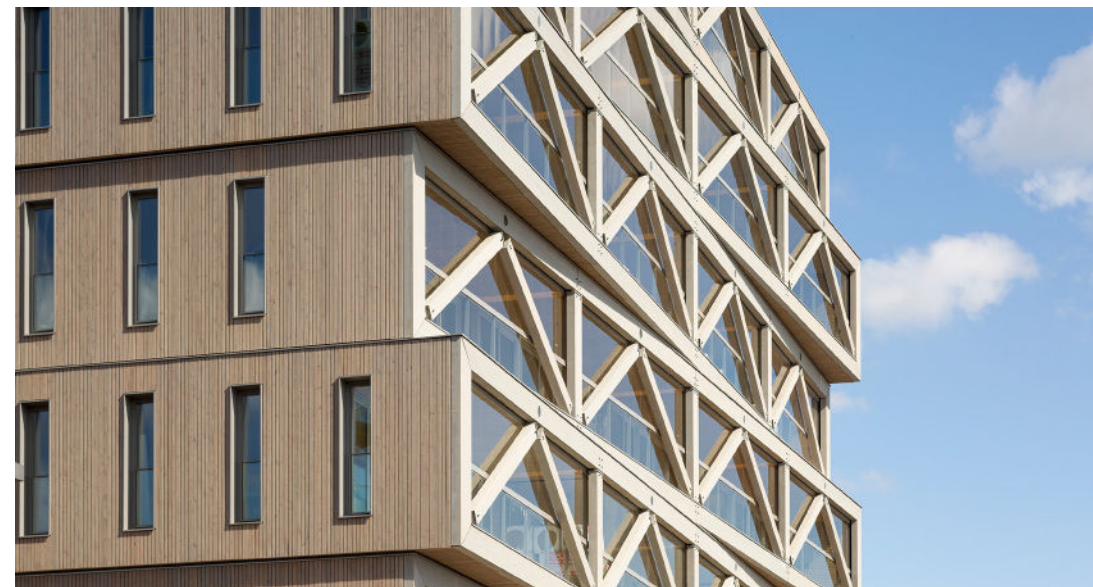
- HAUT, Amsterdam (Team V Architectuur): 73 meter hoog. Constructieve CLT-wanden, hybride vloeren en glulam-balken, in combinatie met betonnen plint en liftkern voor de stabiliteit. De vloeren zijn hybride: CLT-panelen met een betonlaag eroverheen (prefab aangeleverd) ten behoeve van de brandveiligheid, akoestiek en constructie (zie hoofdstuk Akoestiek voor meer info). Onderzijde CLT-vloer is in het zicht, de wanden zijn bekleed met gips voor brandwerendheid en akoestiek.
- Buiksloterham, Amsterdam (Finch Buildings): 7 lagen hoog, modulair woongebouw. Constructie bestaat uit CLT-modules met een betonnen plint en liftkern.
- Patch 22, Amsterdam (FRANTZEN et al.): 30 meter hoog. Betonnen sokkel, met 6 lagen houtconstructie met betonvloeren en betonnen kern. Houten kruizen door de gevel t.b.v. de stijfheid.



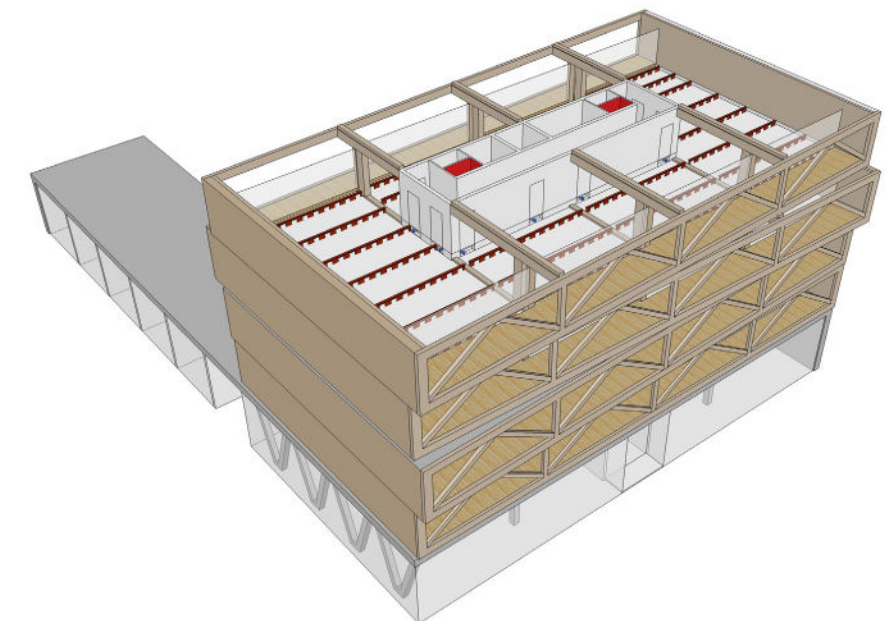
Constructiemodel HAUT - Team V Architectuur



Buiksloterham - Finch Buildings



Patch22 - FRANTZEN et al., (Opdrachtgever: Lemniskade Projecten)



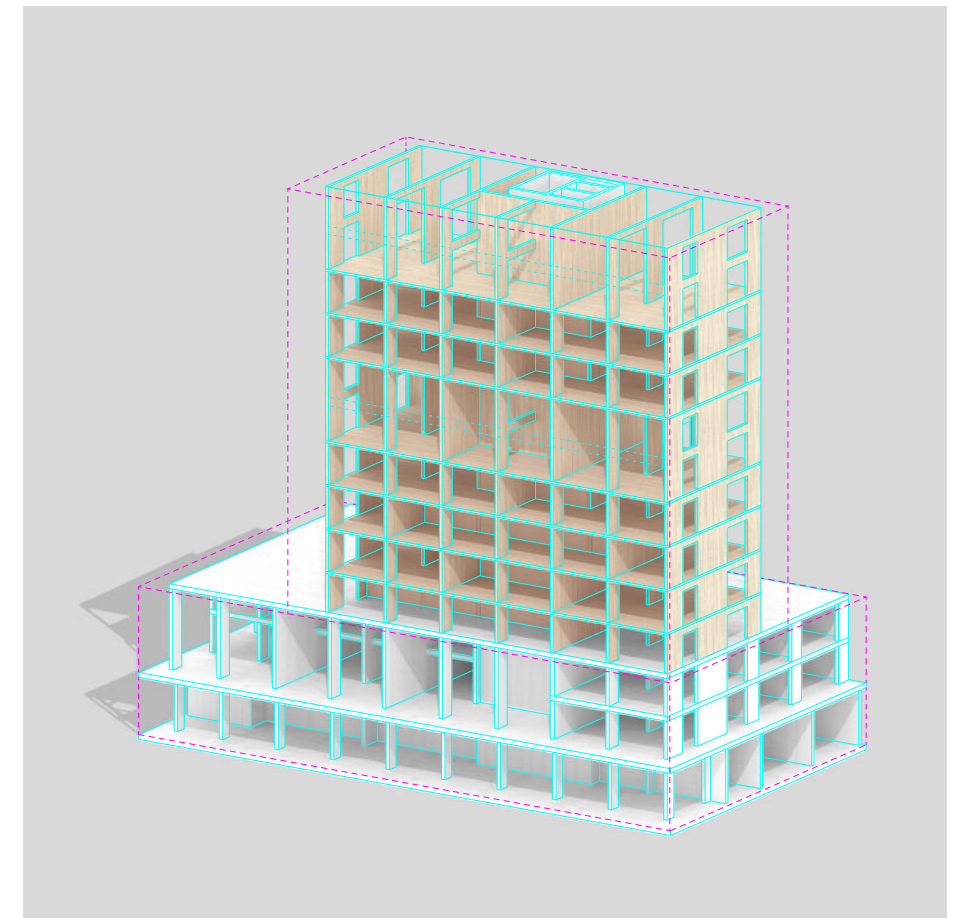
Constructiemodel Patch22

CONSTRUCTIE - REFERENTIES

- Stories, Amsterdam (Olaf Gipsier): 45 meter hoog. De plint van 11 meter hoog bestaat uit een prefab betonstructuur en vormt de basis voor een 34 meter hoge CLT-constructie. Onderzijde CLT-vloer is in het zicht, de wanden zijn bekleed met gips voor brandwerendheid en akoestiek.
- Dalston Lane (Wagh Thistleton Architects): 10 lagen hoog. Betonnen plint, alles daarboven: CLT. De dikte van de CLT-panelen wordt minder naar mate het gebouw hoger is.
- Skaio, Duitsland (Kaden + Lager): 34 meter hoog (9 lagen). Betonnen plint en kern, met CLT-wanden en vloeren.
- Mjøstårnet, Noorwegen (Voll Arkitekter): met 85,5m momenteel de hoogste houten toren ter wereld. Alle dragende delen zijn van hout, ook de liftkern. Maar net als hoge bomen 'veert' hout mee in de wind. Om te voorkomen dat dit voelbaar is (en bewoners misselijk worden) en tegen opwaaiing zijn de vloeren van de hoogste 7 lagen uitgevoerd in beton, zodat de top zwaarder en stabiel is.



Dalston Lane - Wagh Thistleton Architects



Stories - Olaf Gipsier Architecten

BUITENRUIMTE

Balkon

Balkons kunnen uitgevoerd worden in CLT. Hout isoleert beter dan beton, maar voldoet niet zonder meer aan de Rc-waarde. Het balkon moet dus thermisch onderbroken worden of volledig worden ingepakt. Bij thermische onderbreking is het mogelijk om de onderzijde van het balkon in het zicht te laten; in dat geval moet dit vlak uit direct weer en wind liggen en afgelakt worden.

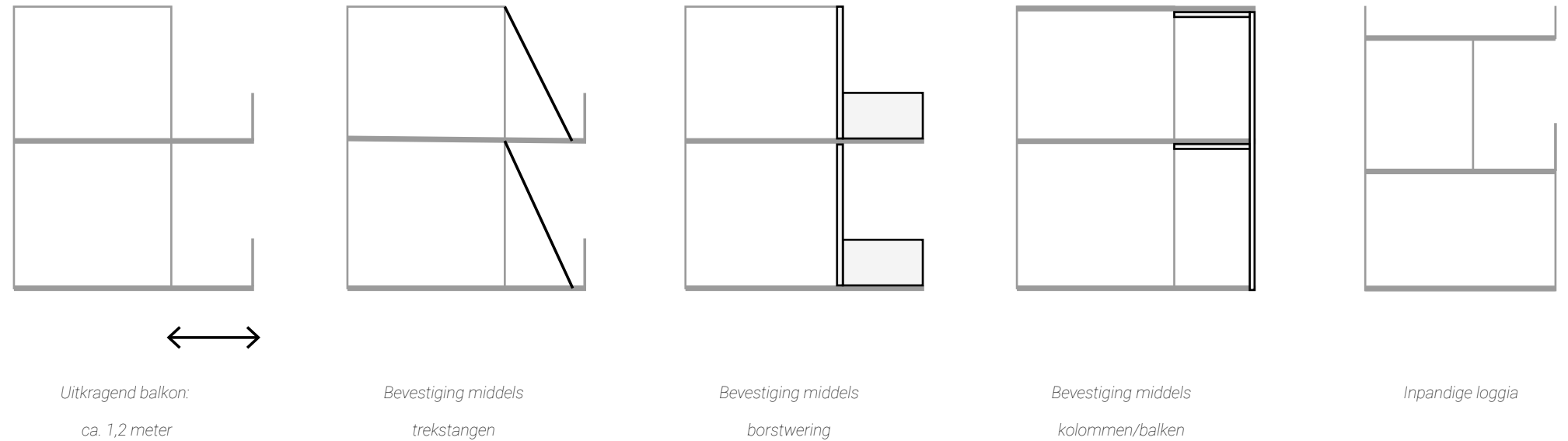
Een goedkopere oplossing is om het balkon uit te voeren in een stalen of houten randbalk met een houten balklaag ertussen.

Ophangconstructie

Het nadeel van een CLT-vloer is dat je balkons niet kunt instorten met bijvoorbeeld isokorf, zoals bij een betonvloer mogelijk is. Dit vraagt dus om een alternatieve ophangconstructie.

Hierbij de meest gebruikte opties:

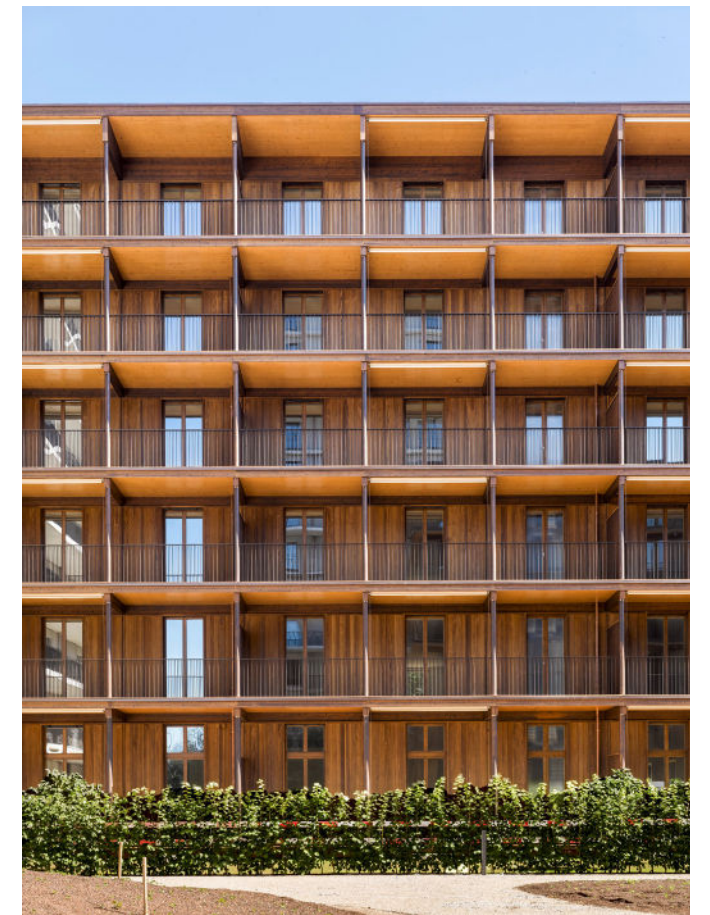
- Een balkon of galerij met een **diepte van 1,2m** kan met een stalen verbinding aan een CLT-vloer worden opgehangen. Maximale diepte is 1,6m, afhankelijk van de staalverbinding.
- Het balkon ophangen met **trekstangen** aan de vloeren, zie Strandparken van Wingårdhs.
- Een kolom opnemen in de gevel en het balkon met een **borstwering** hieraan ophangen, zie Puukuokka van OOEPA.
- Een **externe kolom/ligger constructie** toepassen, zie Freilager van Rolf Mühlethaler.
- Inpandige **loggia's** toepassen.



Bevestiging middels trekstangen
Strandparken - Wingårdhs (Fotograaf: Tord-Rickard Söderström)
Zie hoofdstuk [Aansluitdetails Extern](#) voor een detail van dit balkon



Bevestiging middels een borstwering
Puukuokka - OOEPA (Fotograaf: Mikko Auerniitty)



Bevestiging middels kolommen/balken
Freilager - Rolf Mühlethaler (Fotograaf: Alexander Gempeler, Bern)

GEVELAFWERKING

Een massieve houten constructie kan net als een beton- of staalconstructie worden bekleed met elk type gevelmateriaal. De belangrijkste vereiste is een spouw op te nemen om de panelen te ventileren en het hout droog te houden.

Houten gevels

In Nederland hebben wij een zeeklimaat, dat minder geschikt is voor een houten gevel dan landen die een landklimaat hebben, zoals Oostenrijk en Zwitserland. Houten (gemodificeerde) gevels hebben daarom in Nederland een minder lange levensduur dan bakstenen gevels, tenzij ze goed onderhouden worden.

Een geschikte houten gevelbekleding voor seriematige woningbouw is Western Red Cedar (WRC) rabat. WRC is een houtsoort die in een Nederlands zeeklimaat zeer lage onderhoudskosten heeft. Deze geveldelen kunnen onbehandeld worden toegepast, maar moeten wel worden voor-vergrijsd ten behoeve van verkleuring en brandklasse.

Tip: Een goed kennisdocument over houten gevels is: 'Gevelbekleding van massief hout'. Deze PDF is [hier](#) te vinden. Hierin staat uitgebreide informatie over houtkeuze, vergrijzing, onderhoud, details, brandklasse, etc.

Bakstenen gevel

Bij een bakstenen gevel en CLT-constructie is er een aantal aandachtspunten:

- Een bakstenen gevel zal vanaf ca. 4 lagen moeten worden verankerd, dit kan opgelost worden met het toepassen van consoles aan de CLT-wand. Deze consoles moeten op maat gemaakt worden voor houtconstructies, wat duurder kan uitvallen. Dit geldt overigens ook voor gevelbekledingsrails.
- In het geval van hoogbouw, kan het gewicht van het metselwerk van invloed zijn op de benodigde hoeveelheid hout.



Kajstaden Tall Timber Building - CF Møller Architects (Fotograaf: Nikolaj Jakobsen)



Illwerke Zentrum Montafon - Hermann Kaufmann Architekten (Fotograaf: Norman Radon)

INSTALLATIES

Installaties kunnen opgedeeld worden in: elektra, warmte-opwekking en -afgifte en ventilatie.

Elektra

Anders dan bij betonbouw, lopen elektraleidingen bij CLT-bouw individueel direct naar de meterkast. Ze dienen zoveel mogelijk langs de wanden te worden getrokken. Verder lopen de installaties over de vloeren (vaak opgenomen in een fermacell laag of een estrich afwerkvloer op de CLT-vloer) en daarna omhoog via de wand naar het stopcontact.

Warmteopwekking

Voor de opwekking worden drie principes het meest gebruik: luchtwarmtepomp, bodemwarmtepomp en stadsverwarming. Alle drie kunnen in combinatie met CLT toegepast worden.

Als stadverwarming beschikbaar is, is dit vaak het meest gunstigst. Stadsverwarming is echter niet overal in Nederland beschikbaar.

Een luchtwarmtepomp is goedkoper in aanleg dan een bodemwarmtepomp, maar is minder efficiënt. Daardoor moeten er meer zonnepanelen worden toegepast, de levensduur is korter en een luchtwarmtepomp maakt meer geluid. Zeker bij appartementengebouwen is een groot aantal zonnepanelen vaak een probleem.

Daarom lijkt een bodemwarmtepomp het meest geschikt om toe te passen.

Warmteafgifte

De meest gebruikte manieren van verwarmen zijn radiatoren en vloerverwarming. De keuze hiertussen hangt af van de opbouw van de vloer.

Wanneer een cementdekvloer, betonvloer of splitlaag wordt toegepast op de CLT-vloer dan kan de vloerverwarming hier goed in verwerkt worden. In dat geval is dit, eventueel in combinatie met een radiator op de badkamer, de beste keuze. Wanneer dit niet het geval is moeten er radiatoren geplaatst worden in de woning.

Ventilatie

Voor de keuze van ventilatie is de keuze mechanische toe- en afvoer of natuurlijke toevoer met mechanische afvoer. De een is niet meer geschikt voor CLT dan de andere. Dit is dus opdracht-specifiek.

Samenwerking

Alle benodigde sleuven en gaten t.b.v. leidingen, stopcontacten enzovoorts worden in de CLT-fabriek al gefreesd/geboord. Samenwerking met een installatieadviseur is daarom vanaf het begin van het ontwerpproces vereist. Achteraf boren en frezen van CLT-panelen op de bouwplaats is mogelijk, maar niet wenselijk, omdat dit zeer kostbaar is. Idealiter wordt een CLT-project daarom aangepakt als een "shared BIM model".

CLT in het zicht

Indien CLT in de woning in het zicht blijft (dus niet afgewerkt met een gipsplaat of iets dergelijks), kunnen de leidinggaten ook geboord worden in de hoogte van de plaat (in plaats van gefreesd), zodat de leidingen uit het zicht blijven. Bij HAUT (Team V Architectuur), waar de CLT-plafonds in zicht zijn gebleven en de wanden zijn bedekt, is gekozen voor een verlaagd plafond-zone waarin alle installaties zijn verwerkt.

Akoestiek

Hout is minder goed geluidwerend dan beton, daarom moet er rekening gehouden worden met eventuele geluidsoverlast van de installaties. Zo kan het nodig zijn om rioolbuizen in te pakken met schuim en folie (zoals Dykasol). Daarnaast is de opstelling van installaties, zoals een lucht-water-warmtepomp, die geluid produceren een aandachtspunt. Ook CLT-liftkernen kunnen geluidsoverlast veroorzaken. Daarom kunnen er beter geen woningen direct aan een CLT-liftkern grenzen. Een alternatief is om gebruik te maken van een hydraulische lift; deze zijn echter wel beperkt in hoogte (zoals Schindler 2400, tot 18m).

MODULAIR BOUWEN

CLT is lichtgewicht en daarom zeer geschikt voor prefabricatie en modulaire bouw. Bij modulaire bouw worden grote en vaak volledig afgewerkte modules in de fabriek geproduceerd en op de bouwplaats gestapeld en gemonteerd.

Modulair bouwen is zeer geschikt voor hotels en studentenwoningen/studio's, omdat hier veel repetitie plaats vindt met een kleine beukmaat. Wij zien ook kansen voor de (sociale) woningbouw, omdat er vaak betaalbaar gebouwd moet worden. Zeker in binnenstedelijke gebieden, waar veel bouwverkeer en een lange bouwtijd niet wenselijk zijn, kan modulair bouwen een goede oplossing bieden.

Voordelen van modulair bouwen:

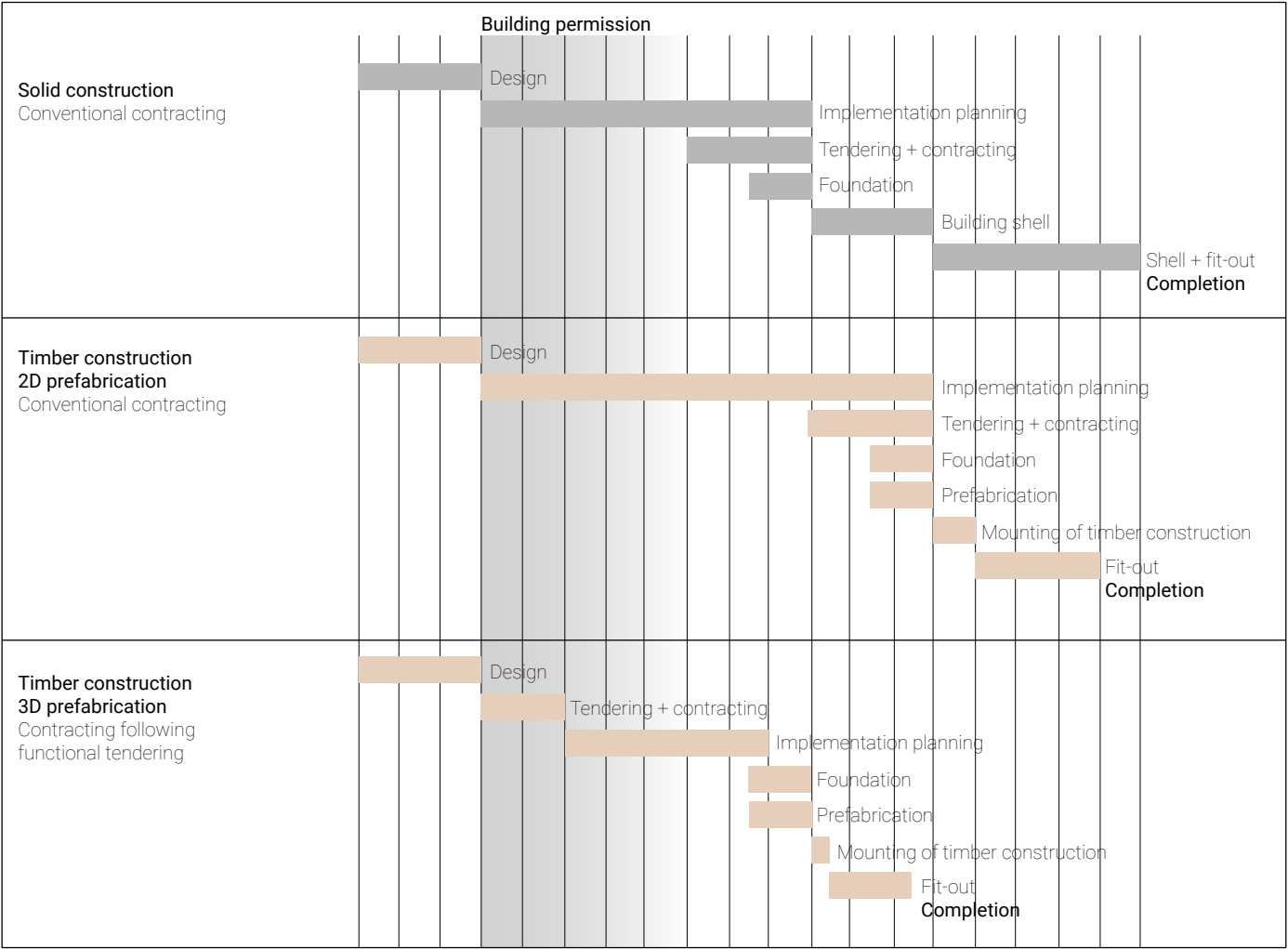
- Minder afval.
- Verlaging van het aantal leveringen op de bouwplaats, dus minder bouwverkeer.
- Kortere bouwtijd: 50% sneller dan traditionele bouw.
- Werkzaamheden verschuiven van de bouwplaats naar de fabriek, wat zorgt voor minder menskracht op de bouwplaats en meer veiligheid.
- Installaties vergen minder tijd.
- Er wordt nauwkeuriger gebouwd, dus minder onvoorziene kosten.

Tip: In dit hoofdstuk wordt modulair bouwen beknopt toegelicht. Modulair bouwen is echter een bouwtechniek op zich, die om degelijk onderzoek vraagt. Als je overweegt deze bouwtechniek toe te passen, adviseren wij de volgende kennisdocumenten te raadplegen:

- [NU build Modular Design Guide.pdf](#) van Waugh Thistleton Architects.
- Building in Timber – Room Modules van Detail



Minder personeel nodig op de bouwplaats - © Waugh Thistleton Architects



Bouwtijd bij tradionele bouw, 2D prefabricatie ('flatpack') en 3D prefabricatie (modulaire bouw)

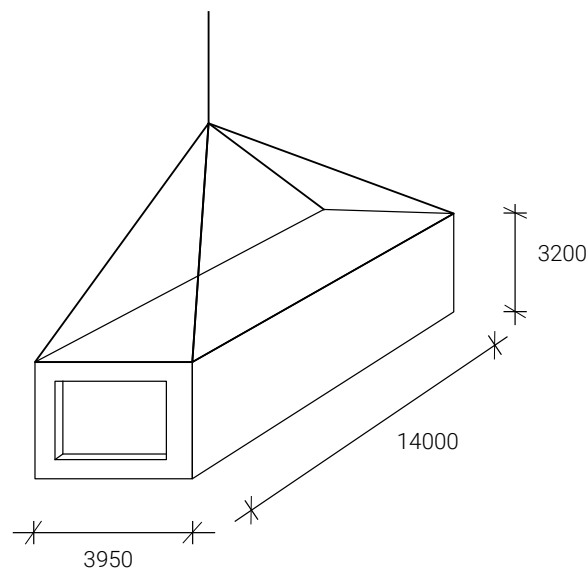
MODULAIR BOUWEN

Er zijn 2 manieren van modulair bouwen:

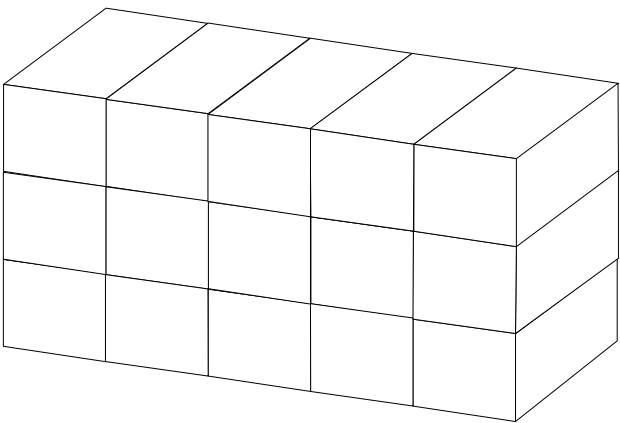
- De **gestapelde methode**: er zijn meer modules nodig, maar er is minder werk op de bouwplaats. Dit is de beste keuze als de voorkeur gaat naar zoveel mogelijk prefabricage, inclusief gevels, afbouw enzovoort. Omdat deze methode dubbelwandig is, wordt er sneller aan de eisen van het bouwbesluit voldaan op het gebied van akoestiek en brandveiligheid, waardoor er meer hout in het zicht kan worden gelaten.
- De **dambord methode**: het materiaal is efficiënter, maar er moeten meer werkzaamheden op de bouwplaats worden uitgevoerd, zoals het dichtzetten van gevels.

Randvoorwaarden van modulair bouwen:

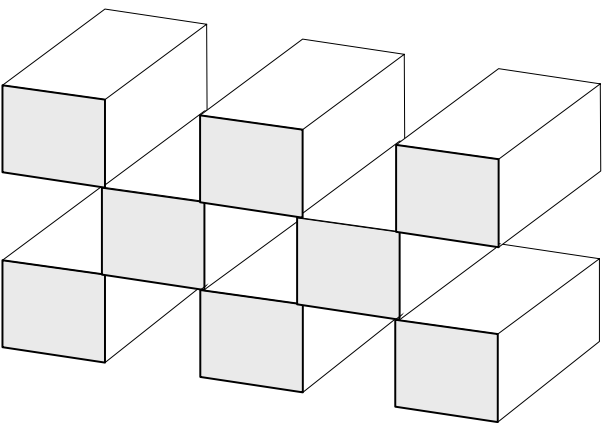
- Afmetingen van de units in verband met transport:
 - o Hoogte: ca. 3,2 m
 - o Breedte: ca. 3,95 m
 - o Lengte: ca. 12 m - 14m
- Er zijn maximaal 7 lagen hoog mogelijk zonder hulpconstructie; hoger is mogelijk met een hybride constructie.
- De plotvorm moet geschikt zijn (rechte hoeken).
- Combineren van meerdere modules om grotere ruimtes te creëren is mogelijk, maar dit gaat ten koste van de stabiliteit; doe dit in overleg met de constructeur.



Maximale afmetingen van een module



Gestapelde constructie



Dambord constructie

2.90 m 2.55 m 3.00 m 3.00 m 3.10 m 3.50 m 3.10 m 4.00 m 4.20 m 4.20 m 4.20 m 4.50 m 4.20 m 5.50 m							
Widht (W)	W 2.55 m	W 3.00 m	W 3.50 m	W 4.00m	W 4.20 m	W 4.50 m	W 5.50 m
Height (H)	H 2.90 m	H 2.90 m	H 2.90 m	H 3.10 m	H 4.20 m	H 4.20 m	H 4.20 m
Length (L)	L 13.50 m	L 30.00 m	L 12.50 m	L 12.50 m	L 12.50 m	L 12.50 m	L 12.50 m
Approval	none	Special approvals required					
		Usually permanent permission is available	Usually permanent permission is available				
Escort vehicle			An escort vehicle is required on the highway				
		Always on Autowegen (motorways) in Austria; partly in Germany and Switzerland	An escort vehicle is required on the Autoweg (motorways); in Austria, double escort				
Police escort				Police escort in Germany ans Switzerland	Always with police escort		
Miscellaneous					Low-loader truck combinations		

Mogelijke afmetingen van de modules m.b.t. transport in Europa

MODULAIR BOUWEN

Samenwerking

Modulaire bouw vraagt, net als houtbouw, om een **nauwe samenwerking met installateur, constructeur en andere adviseurs in een vroeg stadium**. Het freeswerk t.b.v. het leidingwerk wordt bijvoorbeeld al bij de houtleverancier gedaan, op de bouwplaats is er daarom nog weinig flexibiliteit. Dit betekent dat de VO-fase vaak al om bestektekeningen vraagt! Keuze voor modulaire bouw moet daarom vroeg in het bouwproces genomen worden en iedereen moet weten dat hierop wordt ingezet.

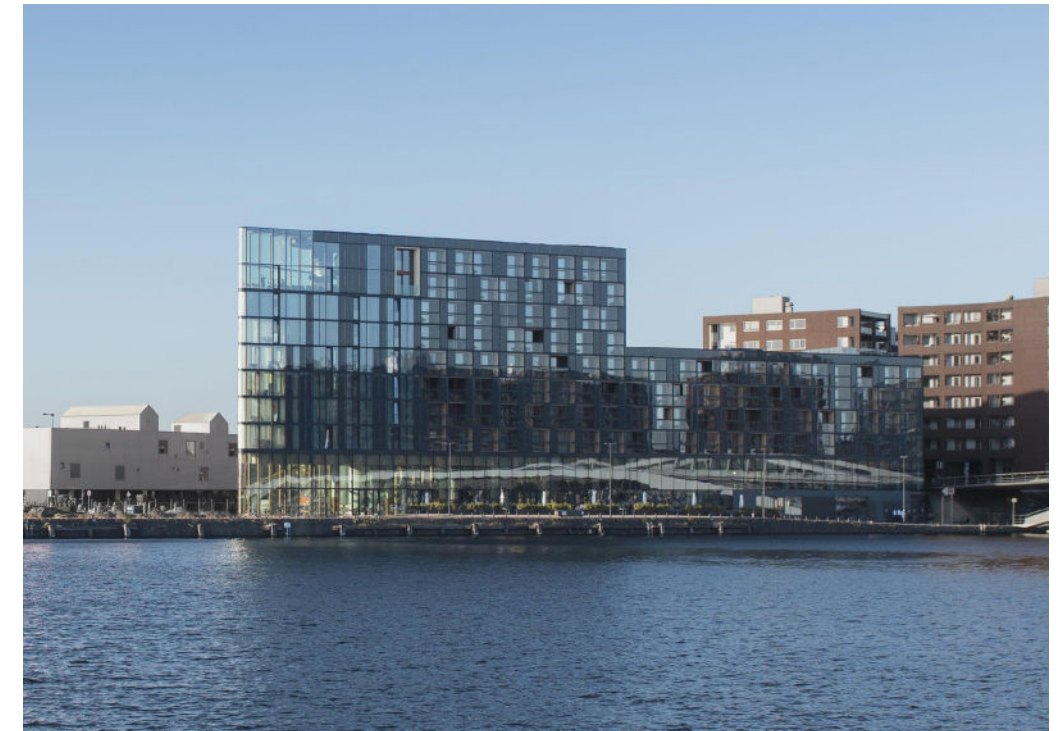
Referenties

Architecten zijn vaak, om begrijpelijke redenen, terughoudend als het gaat om modulaair bouwen, omdat zij bang zijn voor een gestandaardiseerd gebouw of een beperkte architectonische uitstraling. Er bestaan echter mooie referentie projecten, zoals Dortheavej Residence (Bjarke Ingels Group), NorthOrleans (SeARCH) (beide modulaire bouw van beton) en Hotel Jakarta (SeARCH) (modulaire bouw van hout).

Finch Buildings heeft een goed doordacht modulaair bouwsysteem van CLT ontwikkeld waarbij nog steeds veel architectonische vrijheid mogelijk is; dit product kan ook ingezet worden door architectenbureaus. Bekijk hun [website](#) voor meer informatie.



NorthOrleans - SeARCH



Hotel Jakarta - SeARCH



Woonwaard, Almere - Finch Buildings (Fotograaf: Kees Hummel)



Dortheavej Residence - Bjarke Ingels Group (Fotograaf: Rasmus Hjortshøj)

INFORMATIE VOOR DE BOUWER

Er zijn nog maar weinig aannemers in Nederland met ervaring in CLT-projecten in de gestapelde woningbouw. Belangrijk is daarom om in een vroeg stadium een houtleverancier bij het project te betrekken; die heeft veel kennis en ervaring en kan zo de aannemer helpen. Eventueel kan een houtleverancier ook de rol van onderaannemer op zich nemen, zoals Brüninghoff dat bij HAUT heeft gedaan.

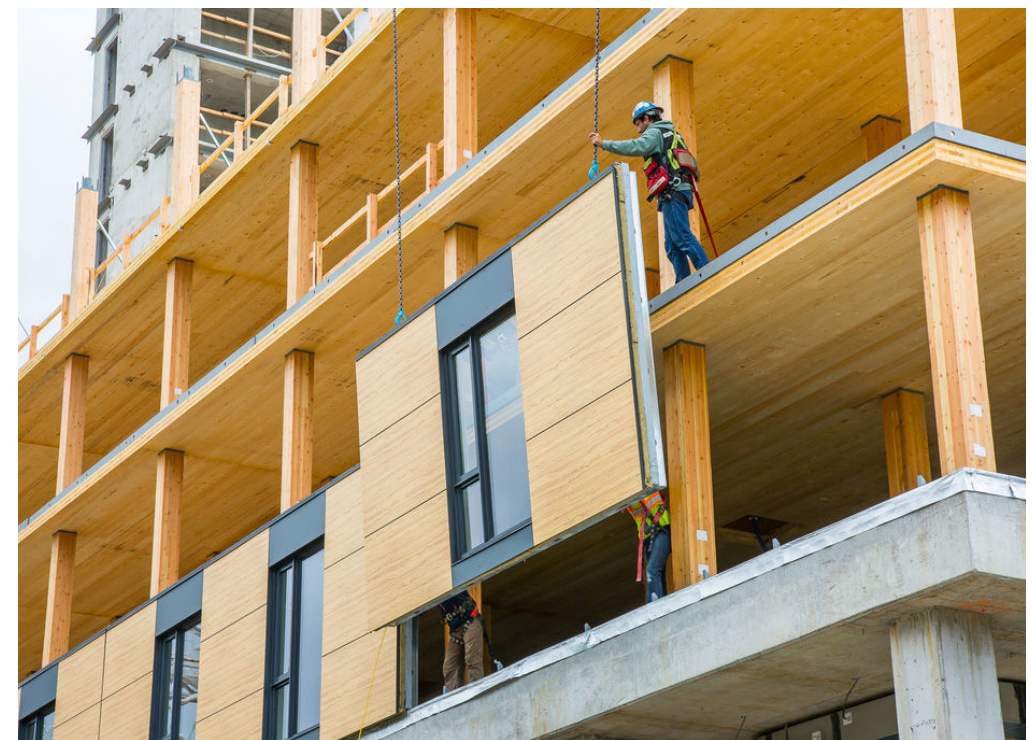
Het is belangrijk dat CLT tijdens het gehele bouwproces wordt beschermd tegen weersinvloeden, zodat er geen vochtschade ontstaat. Het risico op vochtschade is vaak een angst bij aannemers en kan een reden zijn waarom bouwers het vaak óf niet aandurven, óf het risico meerprijzen waardoor het hout duurder wordt.

Vochtschade kan voorkomen worden door de afbouw strak in te plannen, zodat de CLT-constructie na plaatsing zo snel mogelijk wind- en waterdicht gemaakt wordt. Hiervoor moet de bouw goed afgestemd met de CLT-specialist/montageteam, want just-in-time delivery is noodzakelijk. De productie van CLT heeft een korte doorlooptijd. Andere bouwdelen, zoals kozijnen hebben een aanzienlijk langere wachttijd. Daarom moeten deze eerder dan de CLT-constructie worden besteld. CLT vraagt daarom om een andere bouwvolgorde/bestelvolgorde dan traditionele bouw. Goede afstemming tussen alle onderaannemers is hiervoor noodzakelijk.

Massieve houtbouw vraagt ook om een ander type personeel dan de traditionele bouw. Één van de grote verschillen is dat veel onderdelen geprefabriceerd op de bouwplaats worden afgeleverd. Er vindt een verschuiving plaats in de hoeveelheid werkzaamheden in het proces; de planning is complexer en langduriger, maar die tijd haal je ruimschoots in op de bouwplaats.



Kajstaden Tall Timber Building - CF Møller Architects



Brock Commons - Acton Ostry Architects (Fotograaf: Pollux Chung)



BOUWFYSICA

BRANDVEILIGHEID

Het is een misverstand dat hout brandgevaarlijker is dan beton of staal. Hoewel hout een brandbaarder materiaal is, brandt het ook meer gecontroleerd, waardoor het bezwijkmoment beter in te schatten is. Hout brandt met 0,7mm per minuut in. Daarnaast zorgt de koollaag die bij brand ontstaat ervoor dat zuurstof moeilijker bij de volgende laag hout kan komen. De houtskool aan de buitenkant zorgt dus voor een natuurlijke brandwerend laag.

CLT is een relatief nieuw houtproduct, bestaande uit houten planken en lijmlagen. Wereldwijd zijn er onderzoeken gaande naar hoe deze samenstelling van hout en lijm reageert op brand, waardoor er momenteel veel nieuwe inzichten worden opgedaan. Om deze reden wordt vroegtijdige samenwerking met een **brandveiligheidsadviseur** en lokale brandweerautoriteiten sterk aanbevolen.

Bouwbesluit

De brandveiligheidseisen in het bouwbesluit voor gestapelde woningbouw (nieuwbouw) luiden als volgt:

- Woningscheidende wanden en vloeren: 60 min.
- Brandwerendheid m.b.t. bezwijken van de constructie:
 - VG tot 7m hoogte: 60 min.
 - VG van 7-13m hoogte: 90 min.
 - VG hoger dan 13m: 120 min.

Er is een aantal mogelijkheden om te voldoen aan de brandveiligheidseisen:

1. CLT/hout **over-dimensioneren** op inbranding; een 'opofferingsbuffer'. Het gebouw blijft dan voor een bepaalde tijd constructief intact bij brand. Het voordeel is dat het CLT zo in het zicht blijft. Het nadeel is dat hier soms dikke of dubbele CLT-panelen voor nodig zijn, zeker wanneer er hoge eisen worden gesteld aan de brandwerendheid van de constructie (≥ 90 min), kan dat duur uitvallen en wordt een combinatie met optie 2 aangeraden.
2. CLT/hout **bekleden** met (dubbele) gipsplaat of een ander brandwerend materiaal. Nadeel is dat het CLT dan niet meer in het zicht is, er extra handelingen voor nodig zijn en dat gipsplaat een minder duurzaam materiaal is. Wel kan deze optie goedkoper zijn en direct ook bijdragen aan de geluidwering van de wand of vloer (zie hiervoor hoofdstuk [Akoestiek](#)). Deze optie wordt door de experts gezien als de meest veilige optie; een volledig beschermde CLT constructie kan voor elke bouwtype worden toegepast.
3. Bovenstaande opties kunnen eventueel aangevuld worden met een **sprinkler** systeem. Dit is aan te raden bij bijv. hoogbouw, scholen en hotels, en kan ervoor zorgen dat het hout ranker gedimensioneerd kan worden en meer in het zicht kan worden gelaten.

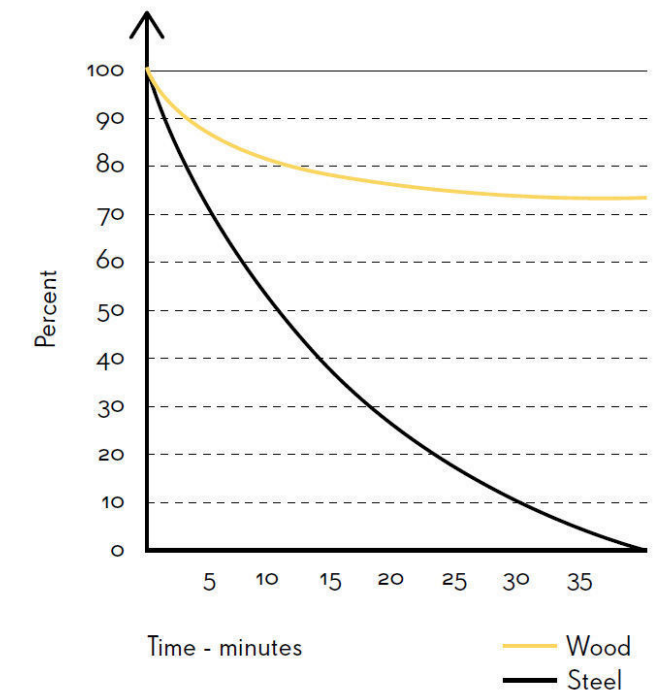
CLT in het zicht

Uit recent onderzoek blijkt dat hout sneller brandt wanneer er meerdere houten oppervlaktes in het zicht zijn gelaten. Er wordt daarom aangeraden aan om **maximaal 1 zijde CLT in het zicht** te laten in een woning. Pas hoe dan ook geen blootgestelde CLT toe in een vluchtweg, maar enkel CLT dat is bekleedt met een brandwerend materiaal.

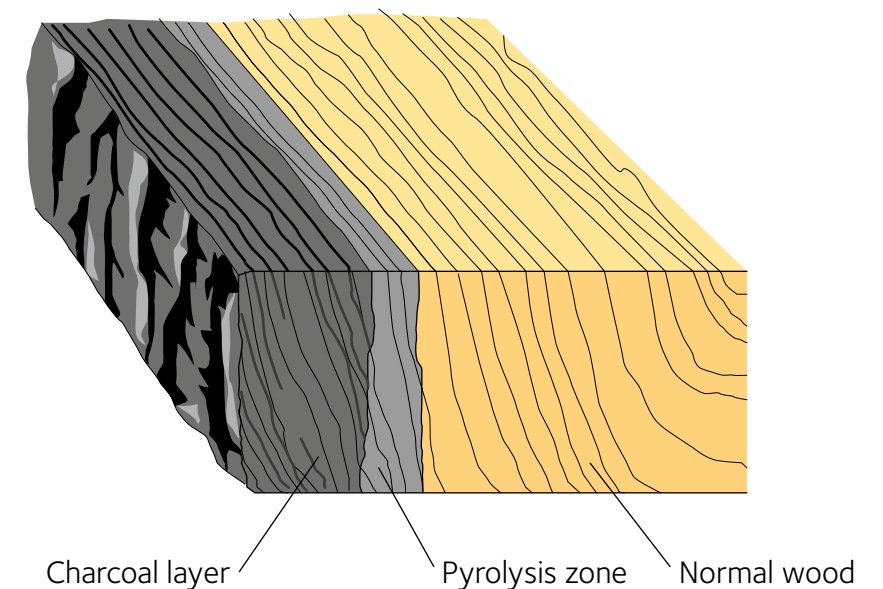
Proefopstelling

Omdat we in Nederland achterlopen op gebied van houtbouwtechniek, zijn er nog weinig producten of details gecertificeerd. Dit zorgt ervoor dat bij lopende pilotprojecten, zoals 'Stories' en 'HAUT', proeven moesten worden gedaan in laboratoria om aan te tonen dat een bepaalde opbouw aan de Nederlandse regelgeving voldoet.

WOOD VS STEEL: LOSS OF STRENGTH IN FIRE



© Waugh Thistleton Architects



De verkoling van hout - © Swedish Wood

AKOESTIEK

Hout is lichtgewicht en heeft daarom een lage akoestische demping en voelbare trillingen. Vooral loopgeluiden in de lage frequenties worden bij lichtgewichtconstructies als storend ervaren. Akoestiek vormt dan ook een uitdaging bij houtbouw in de gestapelde woningbouw, omdat we hier te maken hebben met woningscheidende vloeren en wanden. Een CLT-wand of -vloer kan wel akoestisch voldoen, maar dat zou een heel dik paneel vereisen en dat is erg duur.

Er zijn daarom extra lagen nodig om geluidsoverdracht tegen te gaan. Dit is in houtbouw complexer dan bij betonbouw, waar de massa er al snel voor zorgt dat er wordt voldaan aan de akoestische eisen. Betrek daarom tijdig een akoestisch adviseur bij het project. Zorg daarnaast dat woningscheidende wanden zoveel mogelijk boven elkaar geplaatst zijn.

Akoestische eisen voor woningscheidende vloeren in het bouwbesluit¹:

- lucht-geluidniveauverschil > 52 dB
- gewogen contact-geluidniveau < 54 dB.

Een aantal opties om aan de deze akoestische eisen te voldoen:

1. Woningscheidende wanden en vloeren moeten **akoestisch ontkoppeld** worden, door bijv. oplegvilt van 15mm. Dit gaat wel ten koste van de algehele stabiliteit van de constructie; zorg daarom dat de akoestisch adviseur en de constructeur goed samenwerken.
2. Er kan een **spouw** of isolatiemateriaal aangebracht worden om een deel van de geluiden te absorberen. Dit betekent in het geval van een wand dat er twee CLT-panelen worden toegepast, wat kostbaar kan zijn. Bij een vloer kan dit een onafhankelijk opgehangen plafond zijn of plaatmateriaal op akoestische dragers met isolatie ertussen.
3. **Massa toevoegen** aan de wanden en vloeren, dit werkt als trillingsdemper (dit heeft tevens een positief effect op de brandwerendheid van de wand/vloer). Bij wanden is dit vaak (dubbel) gipsplaat (op akoestisch isolerende beugels), bij vloeren kan dit bijvoorbeeld zand, split of beton zijn. Zand of split heeft dan de voorkeur, omdat dit een duurzamere optie is.

Deze opties zijn toegepast in de hoofdstukken [Vloeropbouw](#) en [Wandopbouw](#).

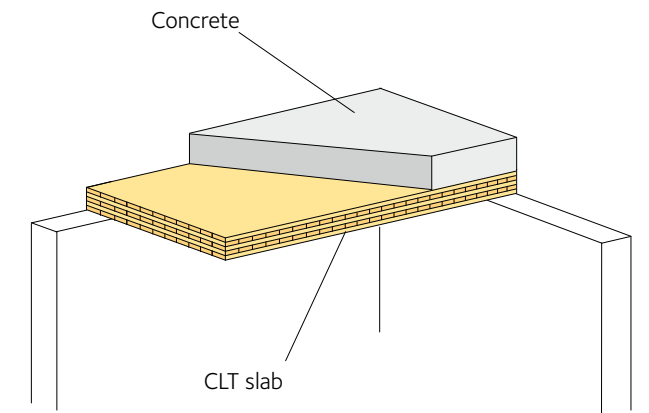
Ook kan het noodzakelijk zijn om de rioolbuizen en andere leidingen die voor geluidsoverlast zorgen in te pakken met schuim en folie (zoals Dykasol).

Betreffende de nagalmtijd: CLT absorbeert niet voldoende. In gemeenschappelijke ruimtes zullen maatregelen moeten genomen worden tegen galm.

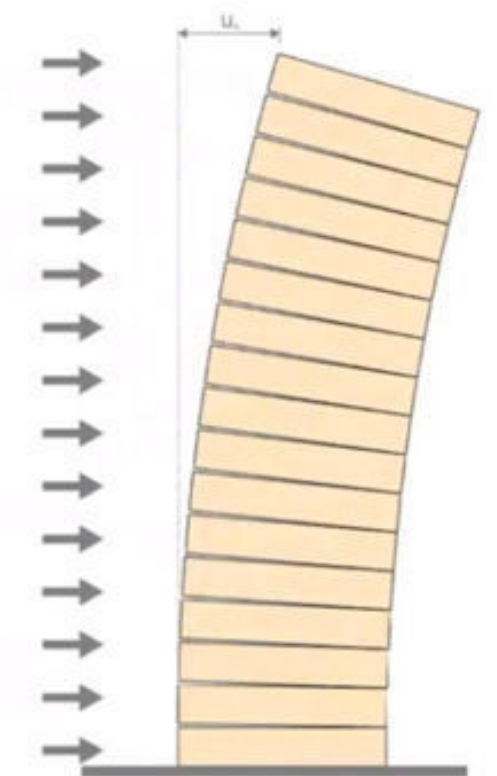
Wandopbouw

De keuze voor een enkelwandige of dubbelwandige CLT opbouw heeft grote invloed op de akoestiek (en brandveiligheid):

- Enkelwandig: wanden en vloeren zijn meestal doorgekoppeld; dit moet akoestisch opgelost worden. Ook heeft een enkelwandige CLT opbouw een minder grote brandbuffer. Een enkelwandige opbouw is echter wel materiaalbesparend en daarmee betaalbaarder.
- Dubbelwandig: wanden en vloeren kunnen makkelijk ontkoppeld worden, waardoor de akoestiek al (deels) is opgelost. Ook is de benodigde brandbuffer sneller bereikt, door de hoeveelheid CLT.



Schematische weergave van een hybride vloer - © Swedish Wood



Impact van akoestische ontkoppeling op de stabiliteit. Bron: Arup

AKOESTIEK - REFERENTIES

- Bij HAUT (Team V Architectuur) is er een hybride vloer toegepast: een prefab element bestaande uit 160mm CLT met daarop 80 mm beton. De massa van de betonlaag zorgt voor een betere akoestiek, en heeft daarnaast direct een constructieve en brandwerende functie. Daar bovenop ligt vloerverwarming en een zwevende dekvloer.
- Bij Molslaan Delft (Urban Climate Architects) is er gekozen voor een CLT-constructie opgebouwd uit een enkel blad en niet uit een dubbele constructie met luchtspouw. Voordeel hiervan is dat het aandeel CLT in de wanden met 50% gereduceerd wordt, wat een kostenbesparing met zich meebrengt. De wanden worden aan één zijde voorzien van een akoestische voorzetwand waarmee geluid en brandveiligheid opgelost worden. Zo heeft iedere woning één zichtwand in CLT en één afgewerkte wand.

Voor het woningscheidende detail (wand en vloer) van Molslaan, zie hoofdstuk [Aansluitdetails Intern](#).



HAUT - Team V Architectuur



CLT woongebouw Molslaan, Delft. Ontwerp en engineering: Urban Climate Architects, Delft;

Uitvoering CLT: JM Concepten, 's Hertogenbosch

Voor het woningscheidende detail (wand en vloer) van dit project, zie hoofdstuk [Aansluitdetails Intern](#)

OVERIGE BOUWFYSICA

Thermische eigenschappen CLT

Hout heeft een lagere thermische geleidbaarheid, veel lager dan beton of staal, en is daardoor minder gevoelig voor koudebruggen. Toch voldoet het niet zomaar aan de vereiste Rc waarde. CLT moet daarom altijd een “warme” constructie zijn; ingepakt of thermisch onderbroken. Wel kan er vaak voldaan worden met een dunnere gevelopbouw of dakpakket dan met beton.

Vocht

Hout en vocht gaan niet goed samen. Zolang hout niet wordt blootgesteld aan vocht of licht, kan het heel goed geconserveerd blijven. Maar wanneer CLT wordt blootgesteld aan aanhoudend hoge vochtigheid (> 20% vochtgehalte), zal waarschijnlijk rotting optreden. Daarnaast heeft Nederland een zeeklimaat, wat inhoudt dat de luchtvochtigheid hoog is. Om die reden is extra voorzichtigheid geboden als het gaat om houtbouw in Nederland. Een gebouw moet zo gedetailleerd worden, dat contact tussen water en hout tot een minimum wordt beperkt en dat eventueel vocht nooit ingesloten kan worden. Pas altijd een geventileerde spouw toe in de gevel; het is belangrijk dat de houtstructuur kan ademen, mocht er onverhoopt vocht terecht komen in het paneel. Indien er een membraan wordt gebruikt, is het essentieel dat dit een dampdoorlatende membraan is. Op deze manier heeft een CLT binnenspouwblad een even lange levensduur als een traditioneel materiaal.

Daarnaast wordt de toepassing van hout als fundering en begane grond vloer sterk afgeraden. CLT moet altijd minimaal 150mm boven het maaiveld staan en tussen begane grond vloer en CLT-wand moet een waterkering toegepast worden.

Op de bouwplaats moet hout ook goed beschermd worden tegen vocht. Hout moet altijd ingepakt geleverd worden en direct na plaatsing moet de gevel wind- en waterdicht worden gemaakt.

Lucht

Een voordeel van CLT is het hoge niveau van luchtdichtheid dat bereikt kan worden. Door de nauwkeurige zaagsnede passen de panelen goed in elkaar, waardoor er enkel tape aangebracht hoeft te worden op deze naden.

Licht

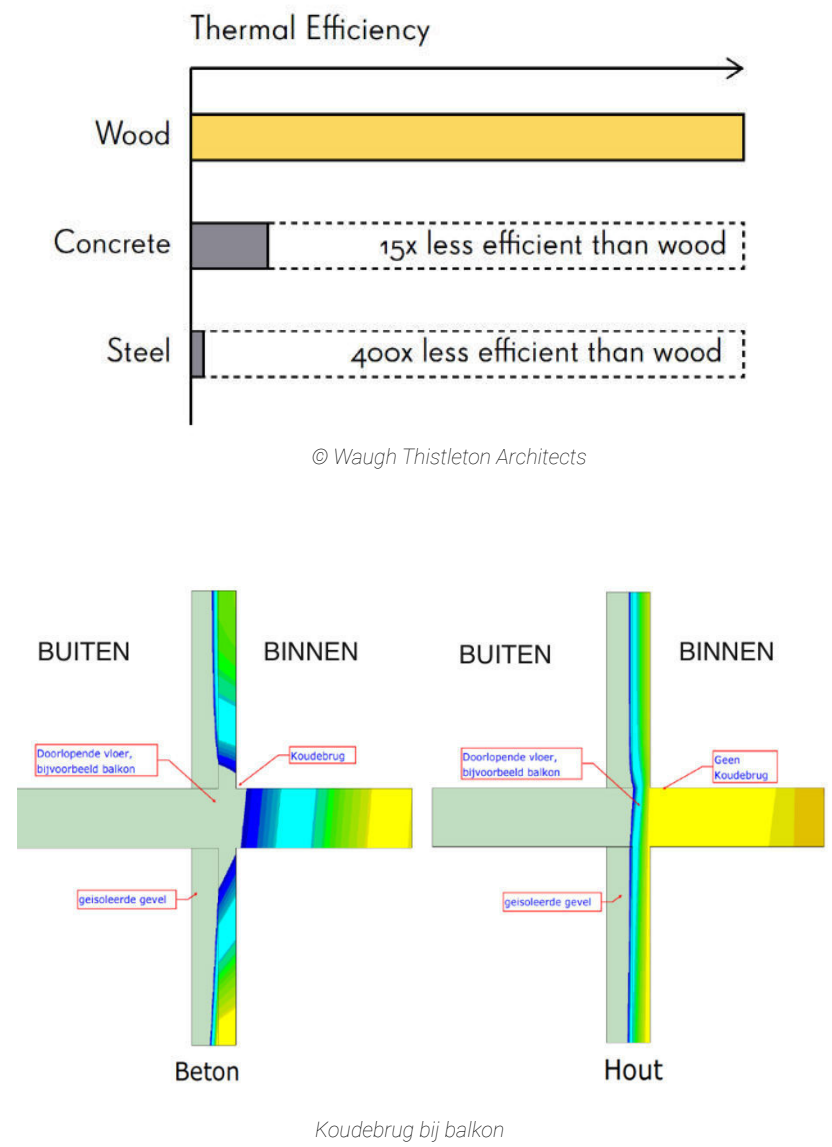
CLT is een natuurproduct en verkleurt daarom bij blootstelling aan daglicht. Om (ongelijkmatige) verkleuring tegen te gaan, kan het hout met een coating beschermd worden tegen UV straling. Deze coating moet om de zoveel jaar opnieuw aangebracht worden.

Thermisch comfort

Lichtgewicht constructies warmer sneller op en dit is ongunstig voor de nieuwe BENG-eisen. Lichtgewicht gebouwen koelen ook weer sneller af. Dat aspect wordt (nog) onvoldoende gewaardeerd in de BENG-methodiek.

Omdat lichtgewichtconstructies beter zijn voor het milieu wordt er in de BENG 1-eis wel meer ruimte (+5) gegeven aan woningen met een lichte bouwwijze. Zie voor meer informatie dit [artikel](#) op Bouwwereld.

De opwarming van een woning kan deels worden opgelost in het ontwerp, door op de zuidgevel zonwering of een overstek mee te ontwerpen en door een spui-ventilatie-plan om de woning ’s-nachts goed af te laten koelen.



Dakconstructie: Rc= 6,0 m²K/W			
Constructie met betonnen draagelementen	λ-waarde	Constructie met kruislaaghout element	λ-waarde
250 mm beton	2,50	250 mm kruislaaghout	0,13
230 mm isolatiemateriaal	0,036	160 mm isolatiemateriaal	0,036
Dakbedekking	0,06 (R-waarde)	dakbedekking	0,06 (R-waarde)
Totale dikte	485 mm		415 mm
Rc-waarde	6,23 m²K/W		6,11 m²K/W

Vergelijking van thermische eigenschappen van betonnen en houten dakconstructie



PRINCIPE
DETAILLERING

VLOEROPBOUW

De opbouw van woningscheidende vloeren binnen de houtbouw worden grotendeels bepaald door de akoestiek- en brandveiligheidseisen in het Bouwbesluit.

Akoestische eisen voor woningscheidende vloeren¹:

- lucht-geluidniveauverschil > 52 dB
- gewogen contact-geluidniveau < 54 dB

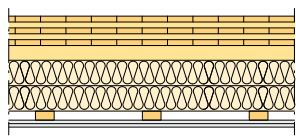
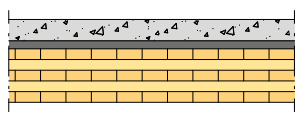
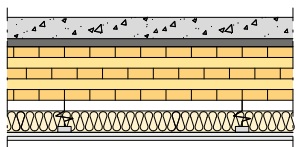
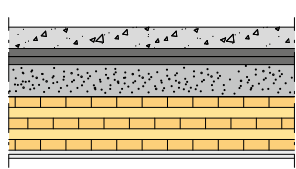
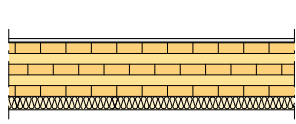
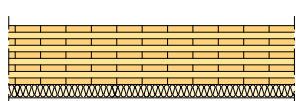
Om aan deze akoestische eisen te voldoen, wordt er vaak massa toegevoegd aan een CLT vloer (zie hoofdstuk [Akoestiek](#))

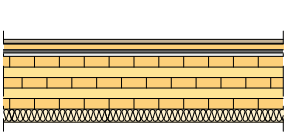
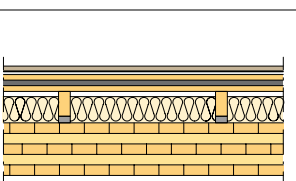
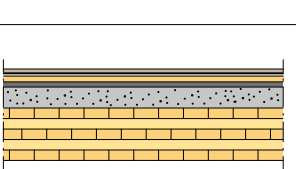
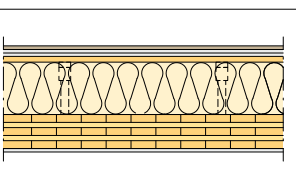
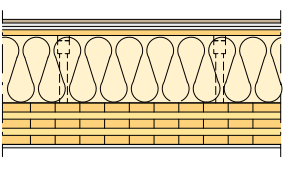
Brandveiligheidseisen voor woningscheidende vloeren: 60, 90 of 120 min. (afhankelijk van het hoogst gelegen verblijfsgebied).

De vloeropbouwen hiernaast zijn vergeleken met de bovenstaande akoestische eisen. Hieruit is het volgende geconcludeerd:

- Vloertype 1, 5, 6, 7, 10 en 11 voldoen niet als woningscheidende vloer.
- Vloertype 3 en 4 voldoen wel, maar zijn erg dik
- Vloertype 2 is de beste optie voor een dunne vloer. Het gestorte beton maakt de vloer echter niet zo duurzaam en demontabel
- Vloertype 8 is de beste optie voor een duurzame en demontabele vloer
- Vloertype 12 is een goede middenweg tussen Type 2 en Type 8: gestort beton wordt hier vervangen door een split- of zandlaag, dit is duurzamer, maar ook iets dikker.
- Vloertype 13 kan gebruikt worden voor modulair bouwen.

Table 5.4 Acoustic performance for different types of floor structure with CLT slabs. The table also shows which sound insulation classes (A–D) can be expected for various floor structure designs. The values and classes should be considered as approximate and further additions may be required in order to achieve them. Contributions from flanking transmission must also be considered.

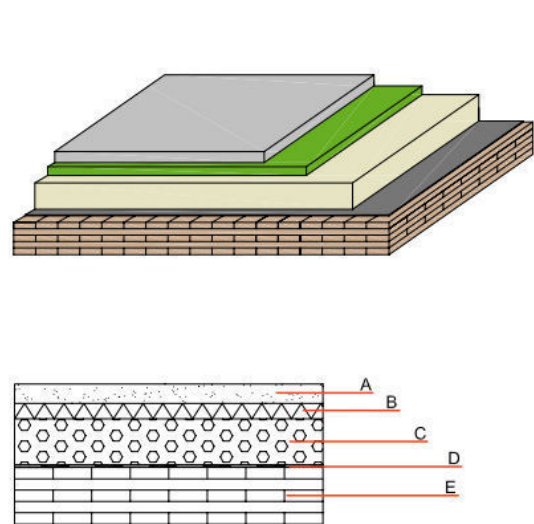
Floor structure type	Material (mm)	Total height (mm)	Weight (kg/m²)	Vertical sound insulation (dB)	
				Impact sound level, <i>L</i>	Airborne sound insulation, <i>D</i>
	Floor structure type 1 110 CLT slab 220 fixed joists 2 × 95 insulation 34 battens 2 × 13 plasterboard	390	92	63 (+7)	56 (-6)
		Residential houses sound insulation class ²⁾		–	D
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A
	Floor structure type 2 80 concrete 30 impact sound insulation, dynamic stiffness ≤: 9 MN/m³ 200 CLT slab	310	266	52 (+5)	63 (-8)
		Residential houses sound insulation class ²⁾		C	C
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A
	Floor structure type 3 80 concrete 30 impact insulation, dynamic stiffness ≤: 9 MN/m³ 200 mm CLT slab 120 suspended ceiling joists 80 insulation 2 × 15 plasterboard, density ≥ 1050 kg/m³	460	207	33 (+17)	79 (-14)
		Residential houses sound insulation class ²⁾		B	A
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A
	Floor structure type 4 80 concrete 30 mm impact insulation, dynamic stiffness ≤: 12 MN/m³ 30 mm impact insulation, dynamic stiffness ≤: 12 MN/m³ 120 washed gravel 200 CLT slab 2 × 15 plasterboard, density ≥ 1050 kg/m³	460	450	40 (+4)	75 (-7)
		Residential houses sound insulation class ²⁾		A	A
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A
	Floor structure type 5 13 mm plasterboard, floating 3 foam 200 CLT slab 50 heavy insulation, density ≥ 100 kg/m³	266	130	64	¹⁾
		Residential houses sound insulation class ²⁾		–	–
		Offices sound insulation class ³⁾		B	–
	Floor structure type 6 CLT slab 50 heavy insulation, density ≥ 100 kg/m³	250	106	68	¹⁾
		Residential houses sound insulation class ²⁾		–	–
		Not suitable for offices		–	–

Floor structure type	Material (mm)	Total height (mm)	Weight (kg/m²)	Vertical sound insulation (dB)	
				Impact sound level, <i>L</i>	Airborne sound insulation, <i>D</i>
	Floor structure type 7 14 wood flooring 3 foam 22 fibreboard, floating 12 impact insulation, damping 4 dB 13 plasterboard, screwed 200 CLT slab 50 heavy insulation, density ≥ 100 kg/m³	334	160	60	¹⁾
		Residential houses sound insulation class ²⁾		–	–
		Offices sound insulation class ³⁾		B	–
	Floor structure type 8 14 wood flooring 3 foam 22 fibreboard, floating 20 impact insulation, damping 4 dB 22 fibreboard 95 floor joists 95 insulation 25 sylodyn 200 mm CLT slab	401	145	54 (+6)	52 (-4)
		Residential houses sound insulation class ²⁾		D	D
		Offices sound insulation class ³⁾		B	B
	Floor structure type 9 14 wood flooring 3 foam 13 plasterboard 22 fibreboard 20 impact insulation 80 washed gravel, 8-11 mm 200 CLT slab	352	235	44 (+6)	63 (-1)
		Residential houses sound insulation class ²⁾		B	A
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A
	Floor structure type 10 14 wood flooring 2x13 plasterboard 22 fibreboard beams with struts 200 insulation 130 CLT slab 13 plasterboard	413	130	56	52
		Residential houses sound insulation class ²⁾		C	C
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A
	Floor structure type 11 14 wood flooring 2x13 plasterboard 22 fibreboard beams with struts 260 insulation 160 CLT slab 13 plasterboard	493	145	56	56
		Residential houses sound insulation class ²⁾		B	B
		Offices sound insulation class ³⁾		A	A

¹⁾ Value not available.
²⁾ Space outside home to space inside home.
³⁾ From space to space for private work or conversations.

¹ Voor meer informatie over akoestische eisen in woongebouw, zie deze [memo](#)

VLOEROPBOUW



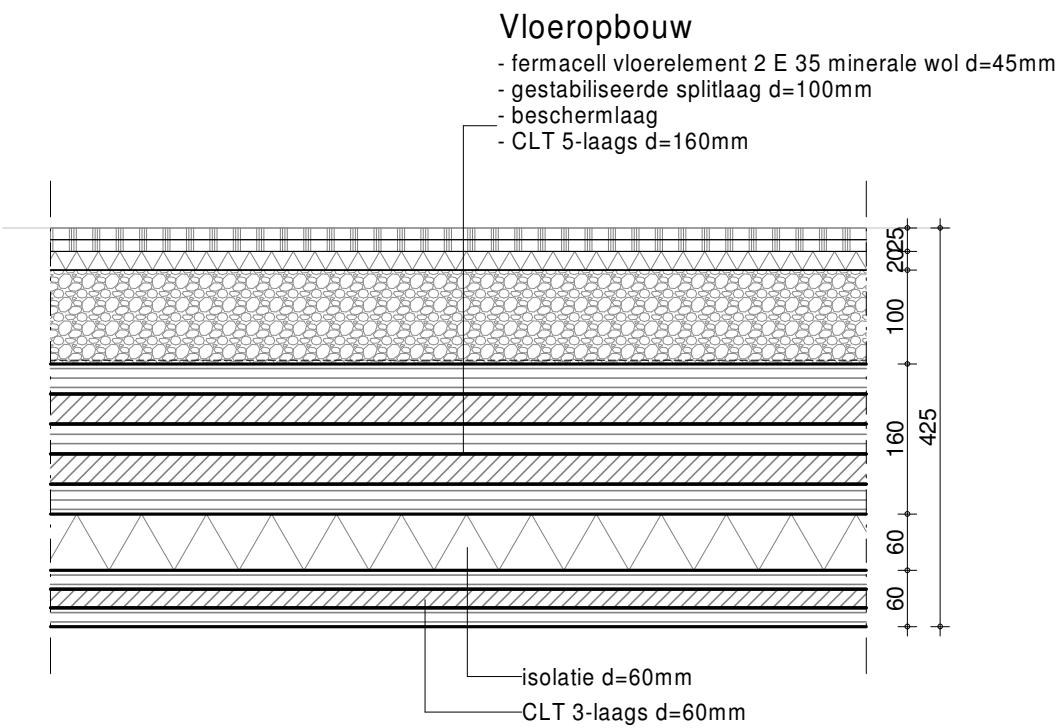
BAUPHYSIKALISCHE UND ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG		
Brandschutz	REI	90
max. Spannweite $l = 5 \text{ m}$		
max. Last $(q_{fi, d}) = 5,06 \text{ [kN/m}^2\text{]}$; Klassifizierung durch IBS		
Wärmeschutz	$U \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,37
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,8,A} \text{ [kg/m}^2\text{]}$	34,7
Speicherwirksame Masse oben: $102,7 \text{ kg/m}^2$		
Berechnung durch HFA		
Schallschutz	R_w	77
	$L_{n,w}$	38
Ökologie*	$OI3_{Kon}$	14,5
Berechnung durch IBO		

BAUSTOFFANGABEN ZUR KONSTRUKTION, SCHICHTAUFBAU
(von außen nach innen, Maße in mm)

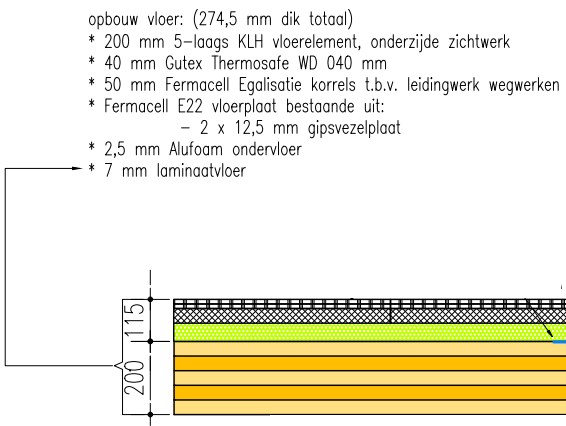
	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brennbarkeitskl. EN 13501-1
			λ	μ min – max	ρ	c	
A	50,0	Zementestrich	1,330	50-100	2000	1,080	A1
B	40,0	Trittschalldämmung MW-T [s'=6MN/m ³]	0,035	1	80	1,030	A2
C	100,0	Splittschüttung gebunden	0,700	2	1500	1,000	A1
D		Rieselschutz	0,200	423	636	0,000	E
E	147,0	Brettsperrholz BBS (5-lagig)	0,130	50	470	1,600	D

Totaal: 337 mm

Vloertype 12: zelf samengesteld op [massivholzhandbuch.com](#) (CLT in het zicht aan plafondzijde)



Vloertype 13: vloeropbouw bij modulair bouwen (CLT in het zicht aan plafondzijde)



Vloeropbouw Molslaan, Urban Climate Architects.

Voldoet aan 60 min. brandwerendheid en de geluidseisen in het Bouwbesluit (nieuwbouw, woningbouw)

WANDOPBOUW INTERN

Ook woningscheidende wanden binnen de houtbouw worden grotendeels bepaald door de akoestiek- en brandveiligheidseisen in het Bouwbesluit.

Akoestische eisen voor woningscheidende wanden¹:

- lucht-geluidniveauverschil ≥ 52 dB

Brandveiligheidseisen voor constructieve wanden: 60, 90 of 120 min. (afhankelijk van het hoogst gelegen verblijfsgebied).

De wandopbouwen hiernaast zijn vergeleken met de bovenstaande akoestische eisen.

Hieruit is het volgende geconcludeerd:

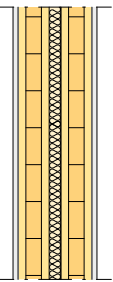
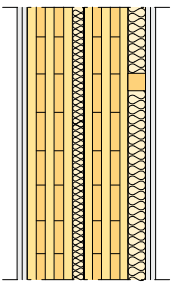
- Wall type 1 en 2 voldoen beide
- Internal partition wall 1 voldoet bij een spouw ≥ 100mm
- Internal partition wall 2 voldoet bij een spouw ≥ 100mm
- Internal partition wall 3 voldoet

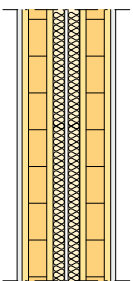
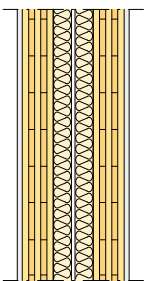
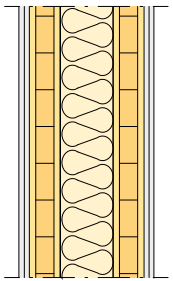
Op de volgende pagina staan onder andere voorbeelden van wandopbouwen waarbij het CLT in het zicht is gebleven. En een wandopbouw bij modulaire bouw.

Op massivholzhandbuch.com kun je zelf een wand samenstellen op basis van bouwfyische eigenschappen, zoals brandwerendheid en geluidsisolatie.

Voor de voor- en nadelen van enkelwandige en dubbelwandige CLT opbouwen, zie hoofdstuk [Aansluitdetails Intern](#).

Table 6.8 Selection of partition wall designs.

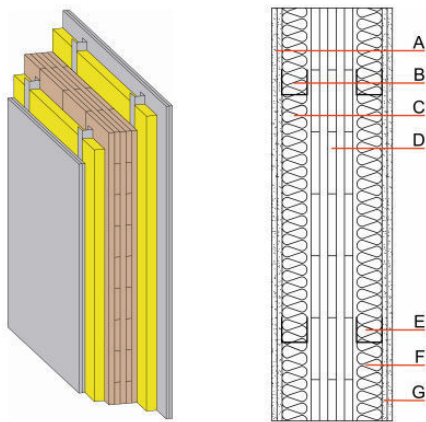
Wall type	Material (mm)	Total thickness (mm)	Fire class	Sound insulation $D_w (C; C_w)$
	Wall type 1 13 plasterboard 80 CLT panel 30 insulation 80 CLT panel 13 plasterboard	216	REI60	56 (-;-)
	Wall type 2 22 x 13 plasterboard 100 CLT panel 30 insulation 100 CLT panel 45 studs and insulation 2 x 13 plasterboard	327	REI90	62 (-;-)

Wall type	Material (mm)	Total thickness (mm)	Airborne sound $D_w (C, C_w)$ (dB)	Fire safety class/ U-value (W/m² °C)
	Internal partition wall type 1 15 fire-resistant plasterboard 80 CLT panel 45 – 70 insulation 20 cavity 45 – 70 insulation 80 CLT panel 15 fire-resistant plasterboard	300 – 350	≥ 52 (100 mm between CLT panels) or ≥ 48 (50 mm between CLT panels) ≥ 56 (170 mm between CLT panels) ≥ 58 (200 mm between CLT panels)	EI60 (fire on one side)
	Internal partition wall type 2 13 plasterboard 120 CLT panel 45 insulation 20 cavity 45 insulation 120 CLT panel 13 plasterboard	376	≥ 55 (100 mm between CLT panels) or ≥ 50 (50 mm between CLT panels) ≥ 60 (170 mm between CLT panels) ≥ 61 (200 mm between CLT panels)	EI60 (fire on one side)
	Internal partition wall type 3 2 x 15 fire-resistant plasterboard 70 CLT panel 170 loose fill insulation 70 CLT panel 2 x 15 fire-resistant plasterboard	370	$D'_{w+C50-3150} \geq 60$	EI60 (fire on one side)

© Swedish Wood

¹ Voor meer informatie over akoestische eisen in woongebouw, zie deze [memo](#)

WANDOPBOUW
INTERN

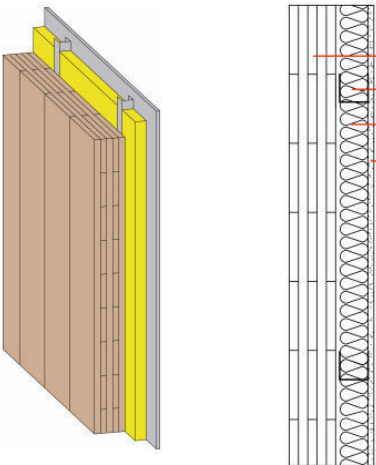


Bauphysikalische und ökologische Bewertung			
 Brandschutz	REI	90	
max. Knicklänge l = 3 m; max. Last (q _{fi} , d) = 80 [kN/m]			
 Wärmeschutz	U [W/m²K]	0,195	
 Schallschutz	R _w [dB]	68	
 Ökologie	ΔOI3	61	

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau | von außen nach innen

	Dicke [mm]	Baustoff	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m · K)]	Rohdichte ρ [kg/m³]	Brennbarkeitsklasse EN 13501-1
A	25	Rigips Feuerschutzplatte RF* (2 x 12,5 mm)	0,25	800	A2
B	85	Freistehende Vorsatzschale (Rigips Rigiprofil CW 75)	—	—	A1
C	60	Mineralwolle, z.B. Isover Kontur KP 1-035	0,034	24	A1
D	100	Brettsper Holz BBS, 5-schichtig	0,12	450	D
E	85	Freistehende Vorsatzschale (Rigips Rigiprofil CW 75)	—	—	A1
F	60	Mineralwolle, z.B. Isover Kontur KP 1-035	0,034	24	A1
G	25	Rigips Feuerschutzplatte RF* (2 x 12,5 mm)	0,25	800	A2
Gesamt	32 cm			92,68 kg/m²	

Wandopbouw: zelf samengesteld op massivholzhandbuch.com, CLT uit het zicht

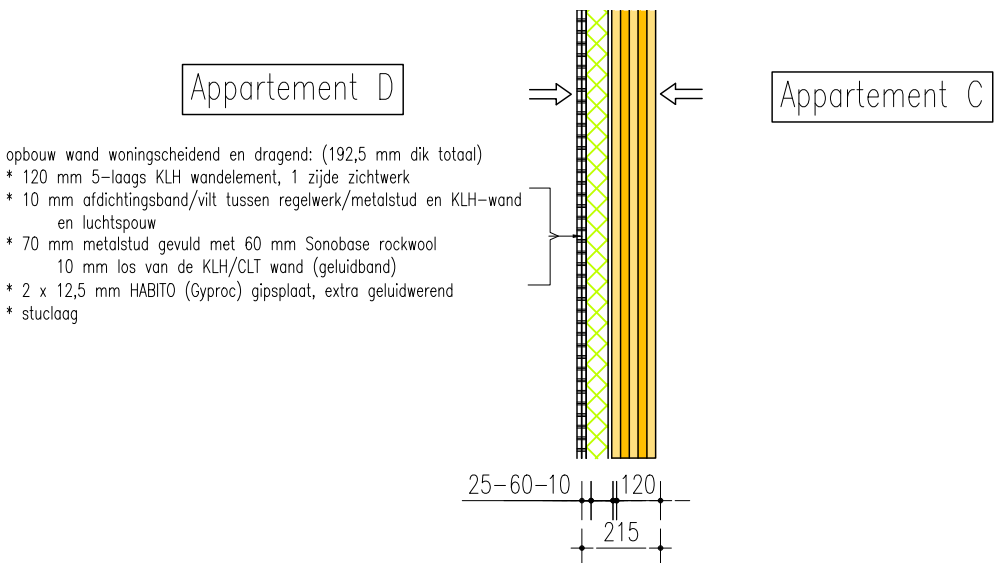


Bauphysikalische und ökologische Bewertung			
 Brandschutz	REI	60 60	
max. Knicklänge l = 3 m max. Last (q _{fi} , d) = Schicht A 60 [kN/m] max. Last (q _{fi} , d) = Schicht D 80 [kN/m]			
 Wärmeschutz	U [W/m²K]	0,327	
 Schallschutz	R _w [dB]	57	
 Ökologie	ΔOI3	37	

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau | von außen nach innen

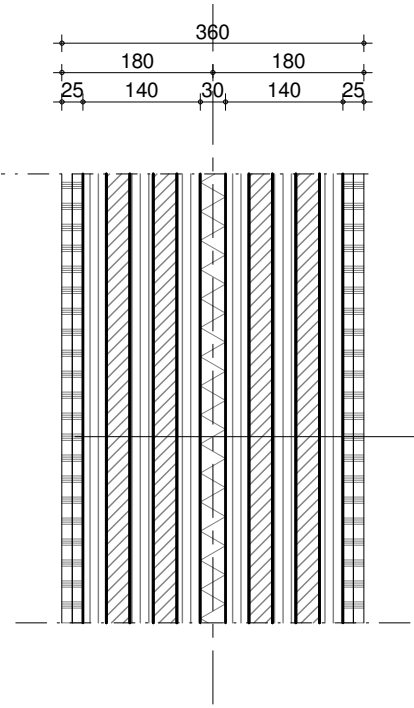
	Dicke [mm]	Baustoff	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m · K)]	Rohdichte ρ [kg/m³]	Brennbarkeitsklasse EN 13501-1
A	100	Brettsper Holz BBS, 5-schichtig	0,12	450	D
B	85	Freistehende Vorsatzschale (Rigips Rigiprofil CW 75)	—	—	A1
C	60	Mineralwolle, z.B. Isover Kontur KP 1-035	0,034	24	A1
D	12,5	Rigips Feuerschutzplatte RF*	0,25	800	A2
Gesamt	19,75 cm			58,84 kg/m²	

Wandopbouw: zelf samengesteld op massivholzhandbuch.com, CLT aan één zijde in het zicht



Wandopbouw Molslaan, Urban Climate Architects.

Voldoet aan 60 min. brandwerendheid en de geluidseisen in het Bouwbesluit (nieuwbouw, woningbouw)



Wandopbouw
- dubbele gipsplaat d=2x12,5mm
- CLT 5-laags d=140mm
- isolatie d=30mm
- CLT 5-laags d=140mm
- dubbele gipsplaat d=2x12,5mm

Wandopbouw bij modulair bouwen,

120 min. brandwerend, CLT uit het zicht

AANSLUITDETAILS INTERN

Hier staan een aantal voorbeelden van aansluitingen van (woningscheidende) wanden en vloeren.

Idealiter komen deze details al in een vroege fase tot stand in samenwerking met de betreffende adviseurs, zoals de constructeur, houtleverancier en bouwfysische adviseur. Dit onder andere om de volgende redenen:

Akoestiek

Vooraf bij woningscheidende details dient er aandacht geschonken te worden aan de akoestische eisen zie [Akoestiek](#). Vaak moeten de vloeren en wanden akoestische ontkoppeld worden, door middel van oplegvilt of veren, om contactgeluid tegen te gaan. Deze akoestische ontkoppeling kan ten koste gaan van de stabiliteit van de constructie. Overleg met akoestisch adviseur en constructeur hierover is dus noodzakelijk.

Brandveiligheid

Er zijn verschillende manieren om een CLT wand voldoende brandwerend te maken, zie [hoofdstuk Brandveiligheid](#). De keuze hiervoor is van invloed op de dikte van je wand, de kosten, de zichtbaarheid van de CLT, etc.

Zettingen

Als je gebouw bestaat uit een hybride constructie (bijvoorbeeld een betonkern met CLT vloeren en wanden), dan krijg je te maken met de verschillende zettingen van de materialen.

Wandopbouw

Er worden hier twee soorten principe details behandeld: enkelwandige en dubbelwandige CLT details.

Een wand opgebouwd uit één CLT paneel en isolatie heeft als voordeel dat dit materiaalbesparend is en daarom betaalbaarder.

Een wand bestaande uit een dubbel CLT paneel met daartussen isolatie heeft als voordeel dat er makkelijker aan de eisen op het gebied van akoestiek en brandveiligheid wordt voldaan. Daarnaast kan bij deze opbouw het CLT paneel aan twee zijdes in het zicht gelaten worden.

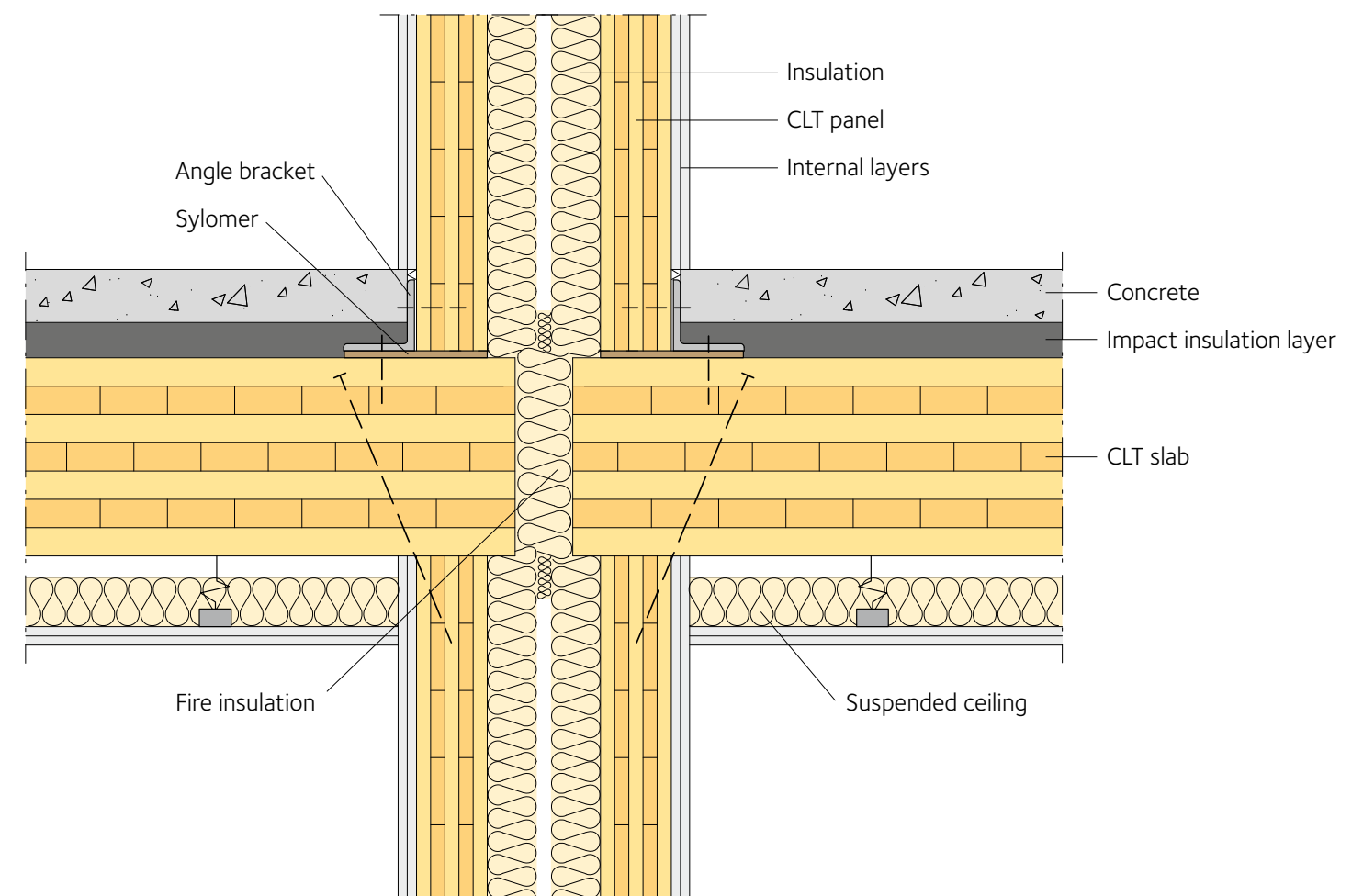
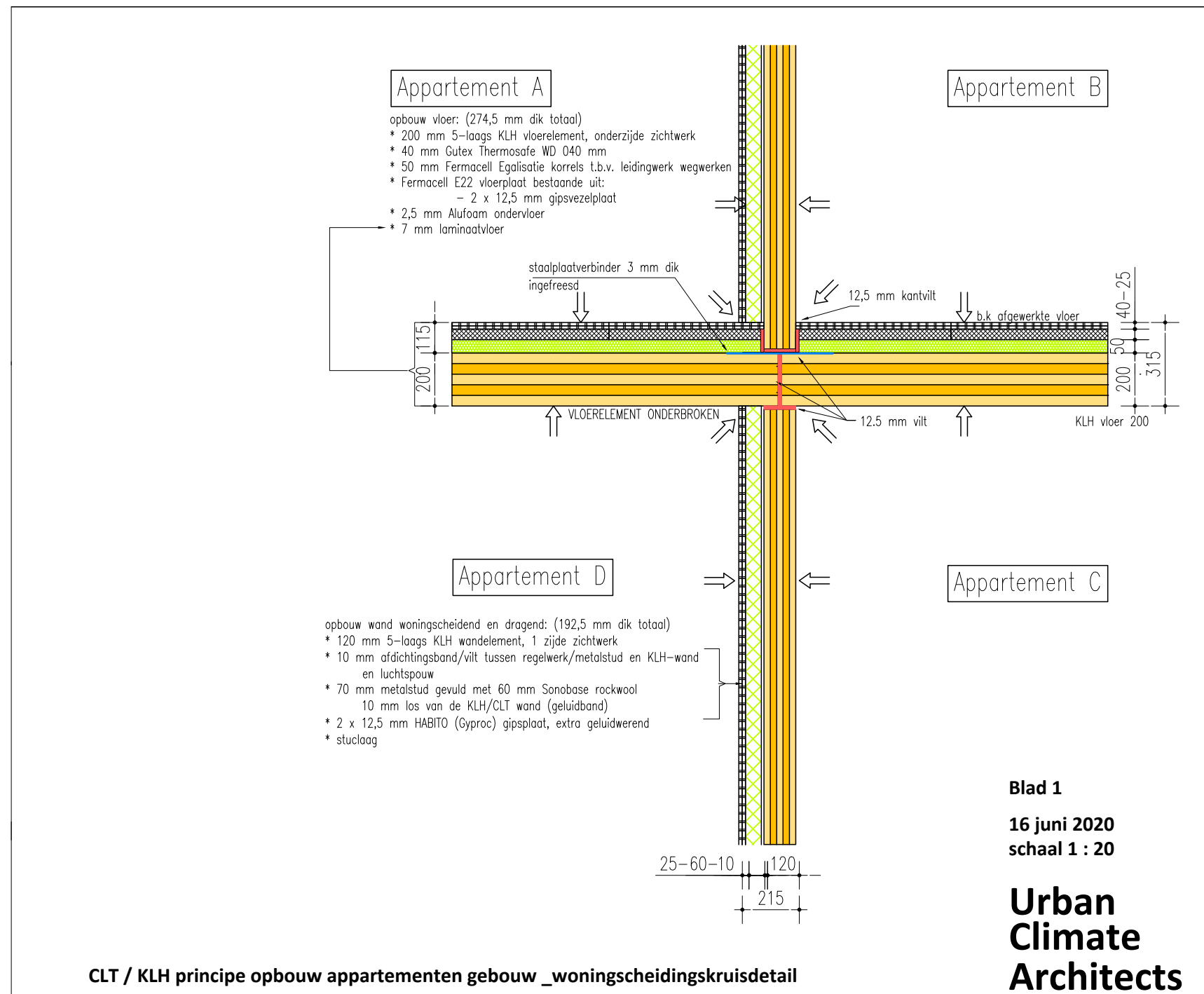


Figure 5.14 Vertical section for building with high demands, regarding sound insulation. Joint flooring to load-bearing apartment separating wall.

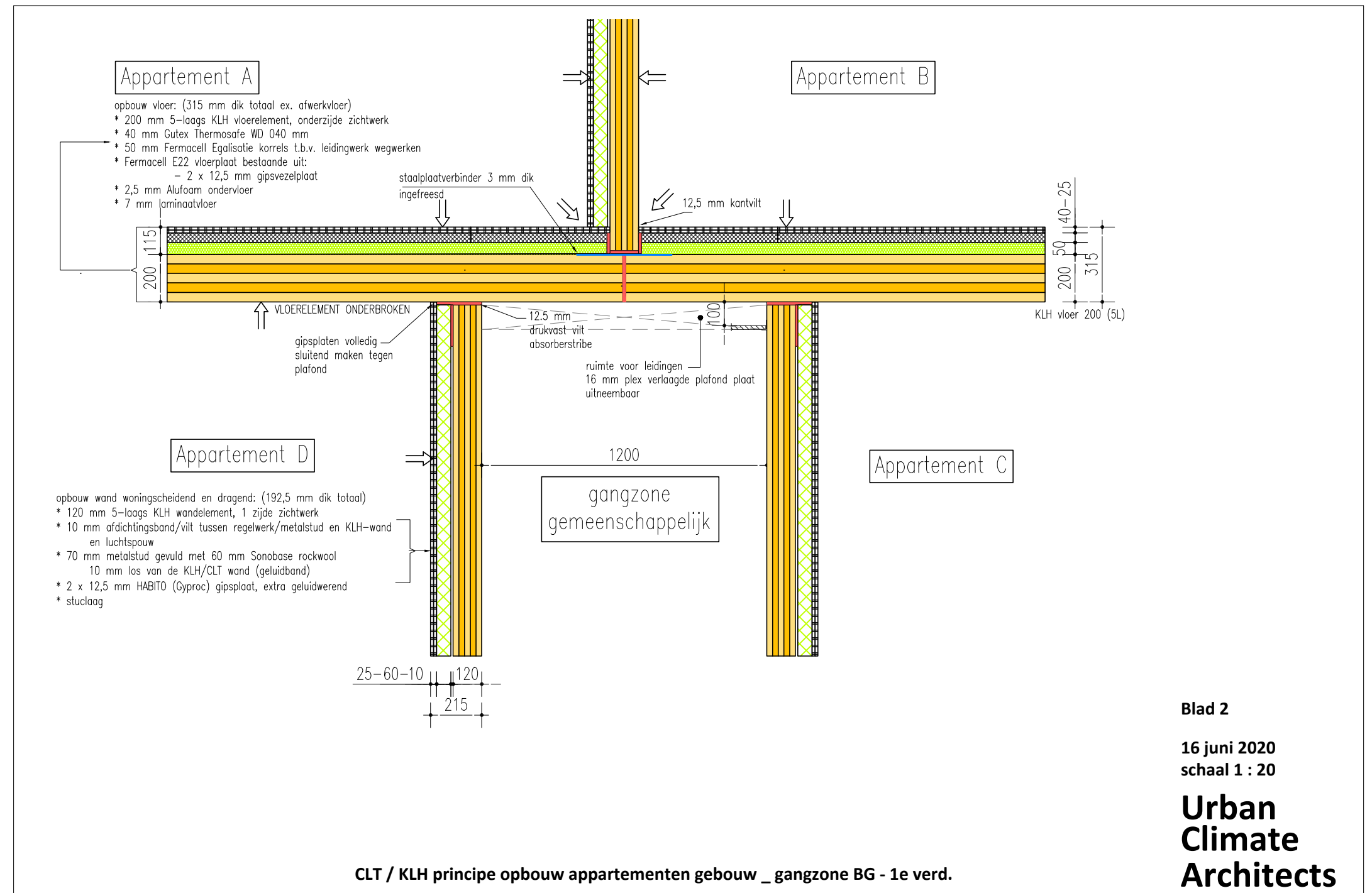
AANSLUITDETAILS INTERN

- Woningscheidend detail van het eerste volledig in CLT uitgevoerde woongebouw in Nederland; Molslaan, Delft (Ontwerp en engineering Urban Climate Architects, Delft. Uitvoering CLT: JM Concepten, 's Hertogenbosch).
- Voldoet aan 60 min. brandwerendheid en de geluidseisen in het Bouwbesluit (nieuwbouw, woningbouw). Er is hier gekozen voor een eternit dekvloer in verband met de losmaakbaarheid. Goedkoper alternatief is een cementdekvloer of anhydriet.



AANSLUITDETAILS INTERN

- Woningscheidend detail van het eerste volledig in CLT uitgevoerde woongebouw in Nederland; Molslaan, Delft (Ontwerp en engineering Urban Climate Architects, Delft. Uitvoering CLT: JM Concepten, 's Hertogenbosch).
- Voldoet aan 60 min. brandwerendheid en de geluidseisen in het Bouwbesluit (nieuwbouw, woningbouw). Er is hier gekozen voor een eternit dekvloer in verband met de losmaakbaarheid. Goedkoper alternatief is een cementdekvloer of anhydriet.

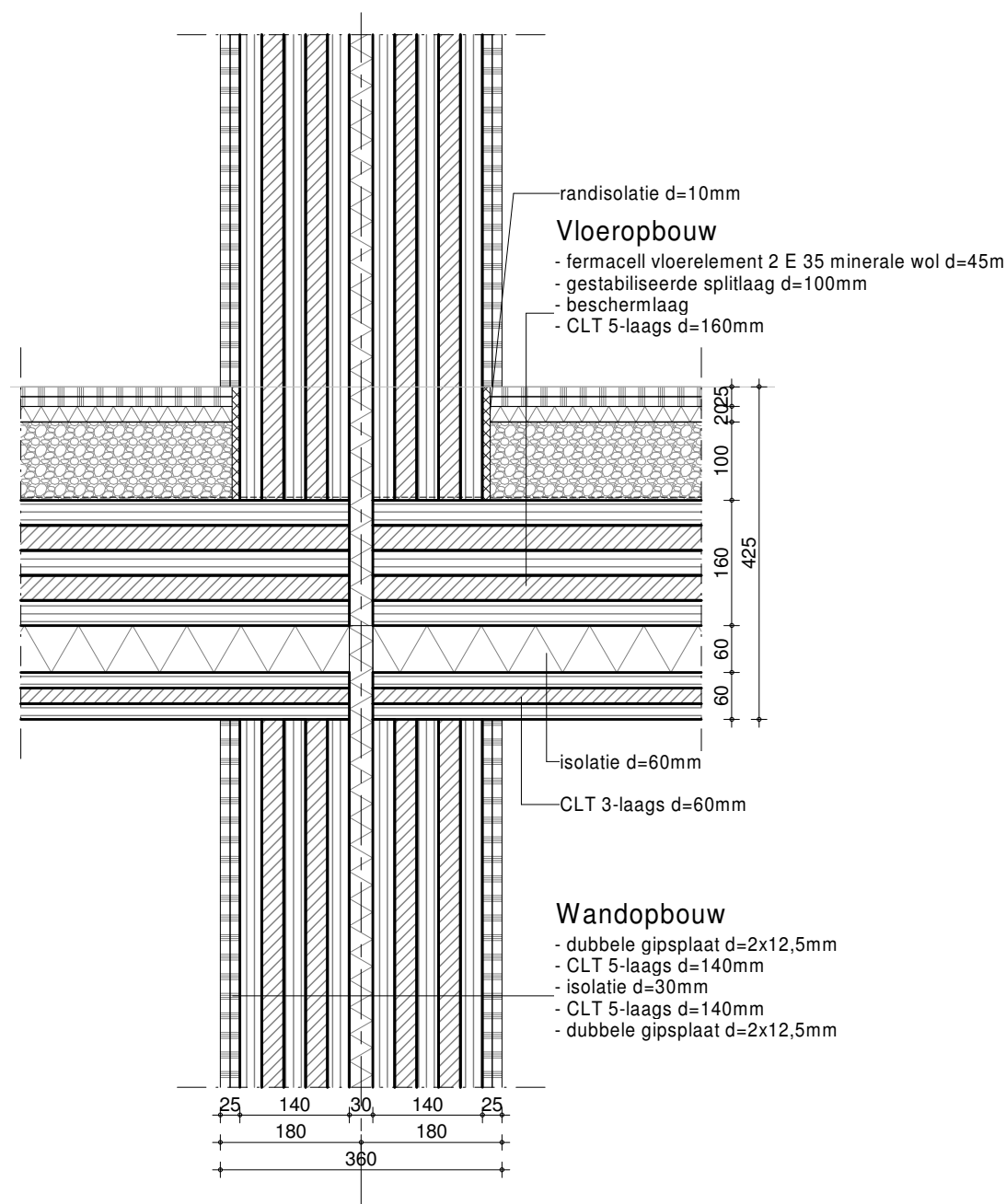


Blad 2

16 juni 2020
schaal 1 : 20

**Urban
Climate
Architects**

AANSLUITDETAILS
INTERN



Woningscheidend detail bij modulair bouwen

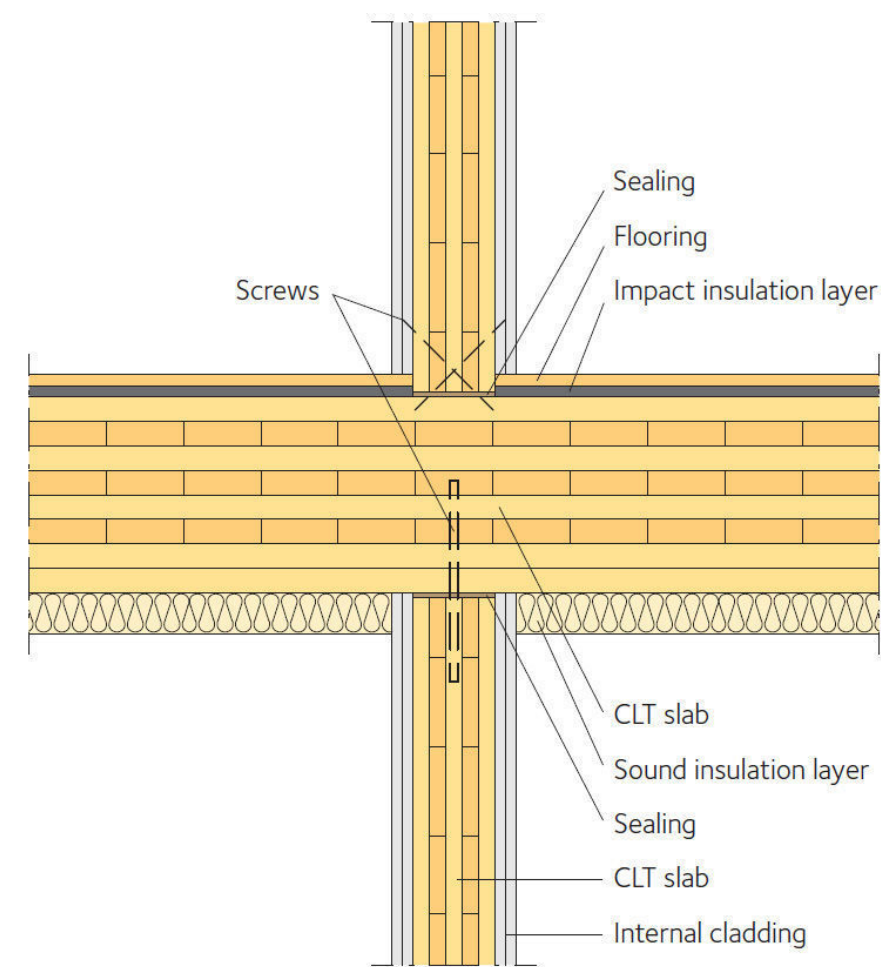


Figure 5.12 Vertical section for building without higher requirements, premises, regarding sound insulation. Joint flooring to bearing inner wall.

Niet-woningscheidend detail - © Swedish Wood

WANDOPBOUW EXTERN

Hier staan diverse voorbeelden van gevelopbouwen met houten gevelbekleding.

Je kunt zelf een buitengevel samenstellen op basis van bouwfysische eigenschappen, op massivholzhandbuch.com

Table 8.15 Selection of wall designs.

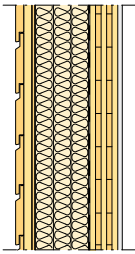
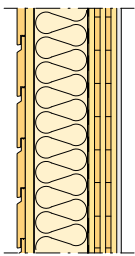
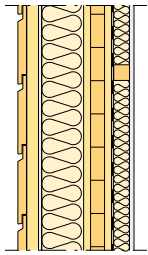
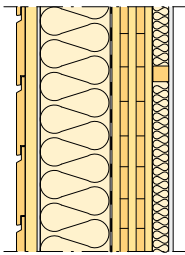
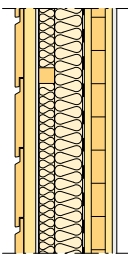
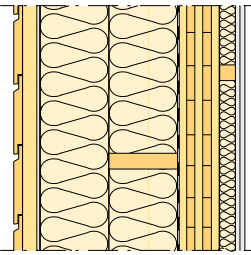
Wall type	Material (mm)	Total thickness (mm)	Airborne sound D'_{w} (C , C_{tr}) (dB)	Fire safety class/ U-value ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
	External wall type 1 22 exterior cladding 22 battens Wind barrier 12 x 70 plywood 70 heavy insulation 145 studs 70 + 70 insulation Vapour retarder 120 CLT panel 15 fire-resistant plasterboard	412	$D'_{w} = 48 - 55$	EI90 / 0.15
	External wall type 2 22 exterior cladding 27 x 97 LVL, c600 200 heavy insulation Vapour retarder 120 CLT panel 15 fire-resistant plasterboard	384	$D'_{w} = 52$	EI90 / 0.15

Table 6.7 Selection of external wall designs.

Wall type	Material (mm)	U-value [W/m^2K]	Total thickness (mm)	Fire class	Sound insulation D_{w} (C , C_{tr})
	Wall type 1 22 external cladding 34 battens Wind protection 120 heavy insulation 80 CLT panel Vapour retarder 45 studs and insulation 13 plasterboard	0.25	314	REI60	38 (-1;-4)
	Wall type 2 22 external cladding 34 battens Wind protection Vapour retarder 195 heavy insulation 100 CLT panel 45 studs and insulation 13 plasterboard	0.15	409	REI60	41 (-;-)
	Wall type 3 22 external cladding 34 battens Wind protection 45 studs and insulation 95 insulation Vapour retarder 80 CLT panel 15 fire-resistant plasterboard	0.25	291	REI60	51 (-3;-9)
	Wall type 4 22 external cladding 34 battens Wind protection 170 vertical studs and insulation 170 horizontal studs and insulation Vapour retarder 100 CLT panel 45 studs and insulation 2 x 13 mm plasterboard	0.10	567	REI90	52 (-;-)

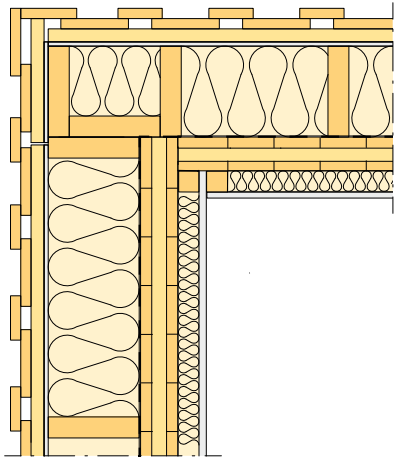
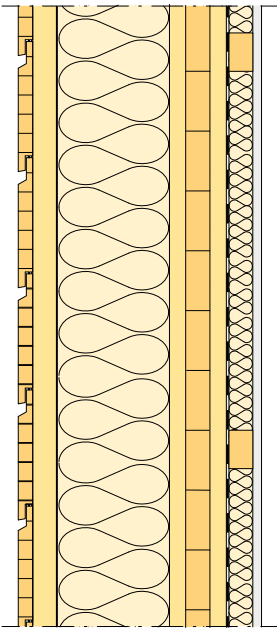


Figure 6.20 Design principle for corners of external walls, horizontal cross-section.



From outside in:
25 horizontal glulam cladding
34 x 70 vertical battens
Wind protection sheeting
Vertical studs and insulation
80 CLT panel
Vapour retarder
Horizontal studs and insulation
Internal cladding

Figure 6.1 Example of external wall structure using load-bearing CLT panel.

© Swedish Wood

AANSLUITDETAILS EXTERN

Hier staan diverse voorbeelden van externe aansluitdetails.

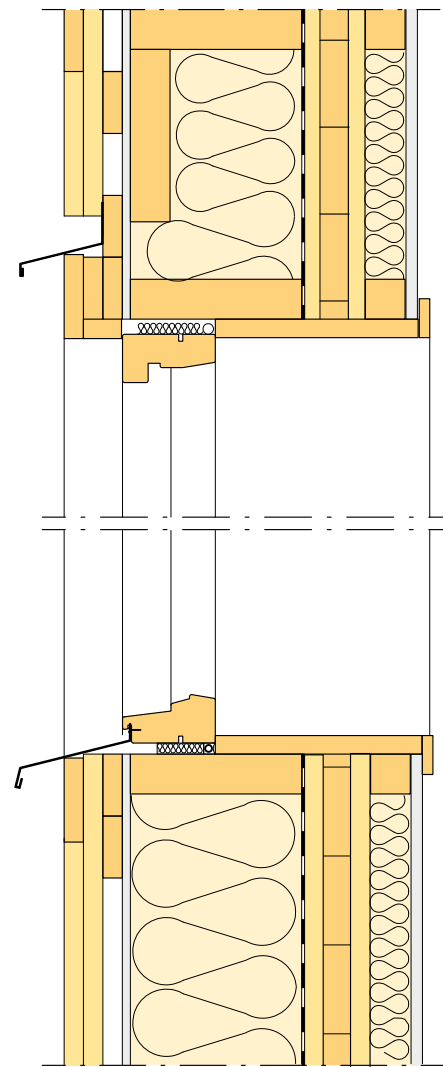


Figure 6.19 Design principle for window mounting.

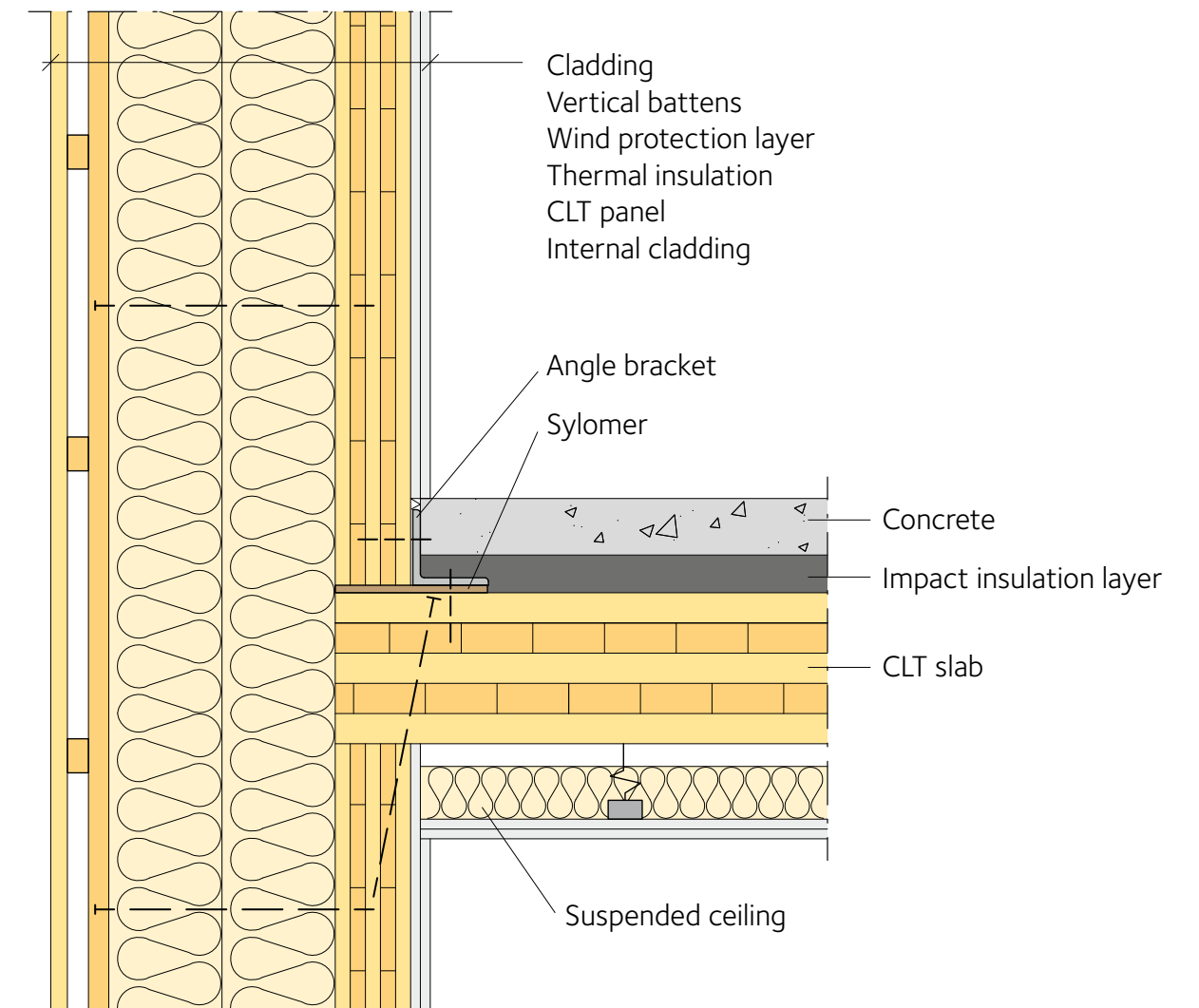
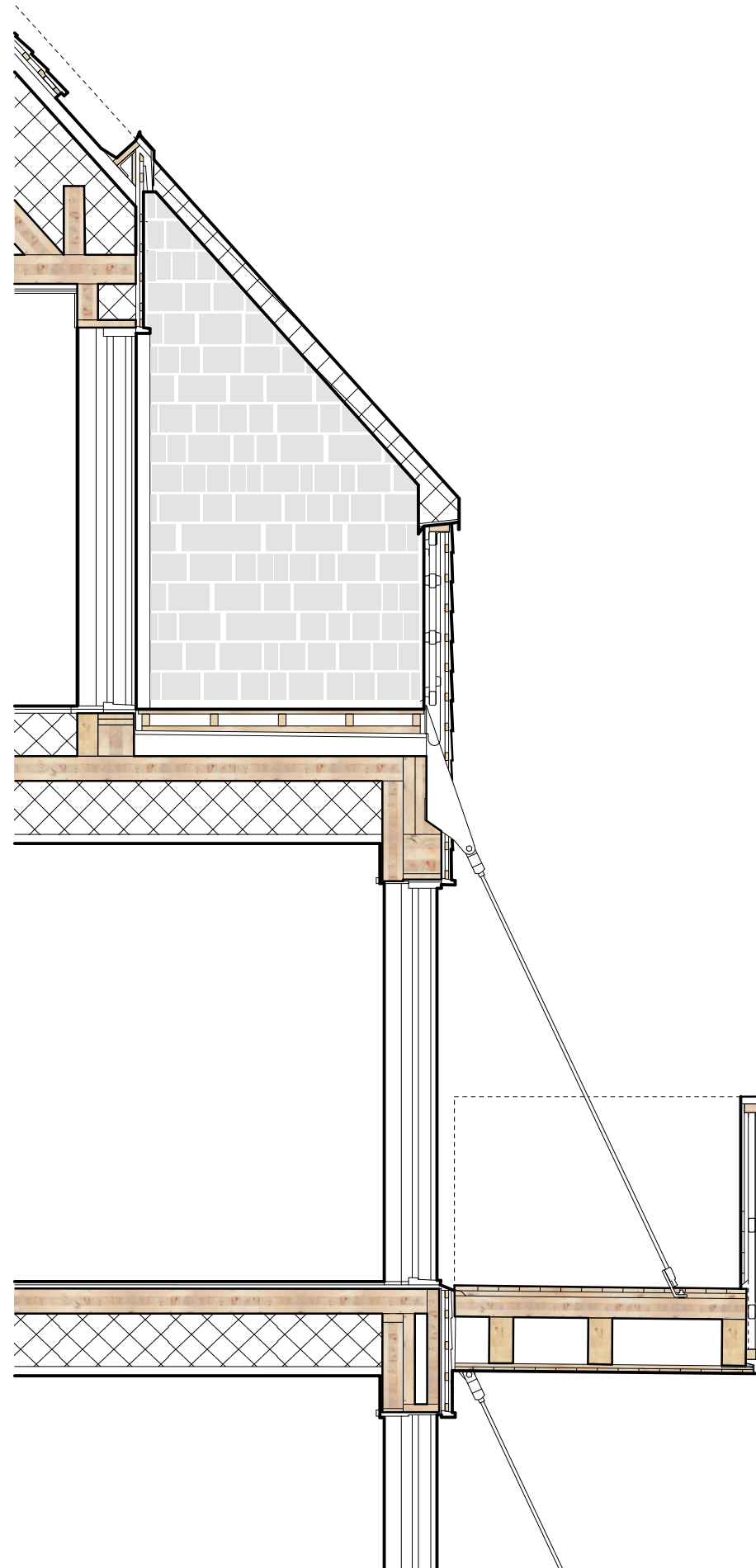


Figure 5.15 Vertical section for building with high demands regarding sound insulation. Joint to exterior wall.

© Swedish Wood

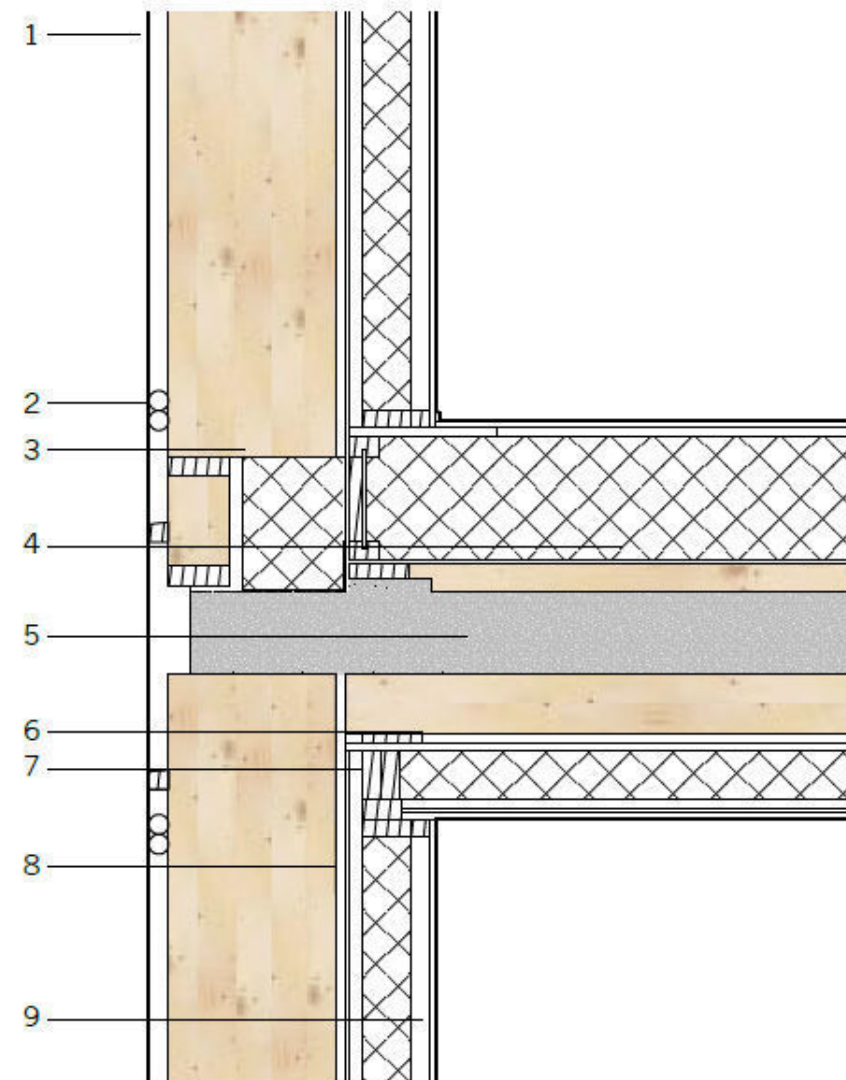
AANSLUITDETAILS EXTERN



Balkondetail van Strandparken - Wingårdhs.

Bron: Tall Wood Buildings. Design, Construction and Performance (Birkhäuser)

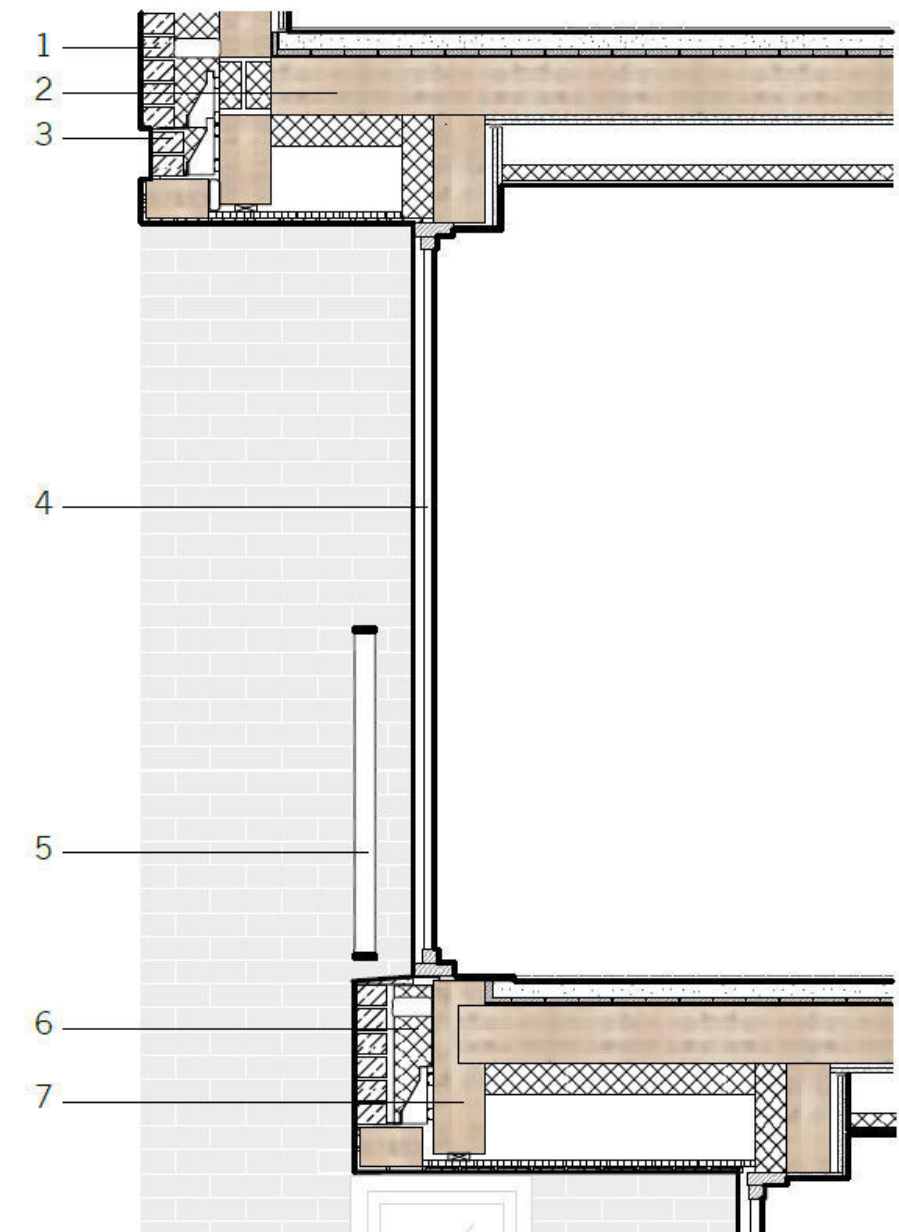
AANSLUITDETAILS EXTERN



Detail section

- 1 3mm Corten sheets
- 2 48mm × 48mm battens
- 3 Laminated timber
- 4 Rockwool flex insulation
- 5 'Power deck' concrete floor
- 6 Ventilated cavity
- 7 Dimensional lumber
- 8 Membrane
- 9 Gypsum wallboard

Bron: Tall Wood Buildings. Design, Construction and Performance (Birkhäuser)



Detail section

- 1 Brickwork finish to external wall
- 2 CLT structural wall
- 3 Brickwork setback for shadow gap
- 4 High-performance double-glazing composite timber/aluminum door system
- 5 Flat steel galvanized and pre-coated balustrade
- 6 Thermal insulation
- 7 Main structure of cross-laminated timber

Bron: Tall Wood Buildings. Design, Construction and Performance (Birkhäuser)

AANSLUITDETAILS OP BETON

In verband met vocht is het aan te raden om de fundering en de begane grond in beton uit te voeren. Hierop kan vervolgens een CLT paneel bevestigd worden. Tussen CLT en maaiveld dient minimaal 150mm zitten. Bij de uitwerking van het aansluitdetail tussen het CLT paneel en de onderconstructie moet bijzondere aandacht worden geschonken aan de waterdichtheid van het paneel en voorzieningen worden getroffen zodat het water zich niet aan de basis van het hout kan verzamelen.

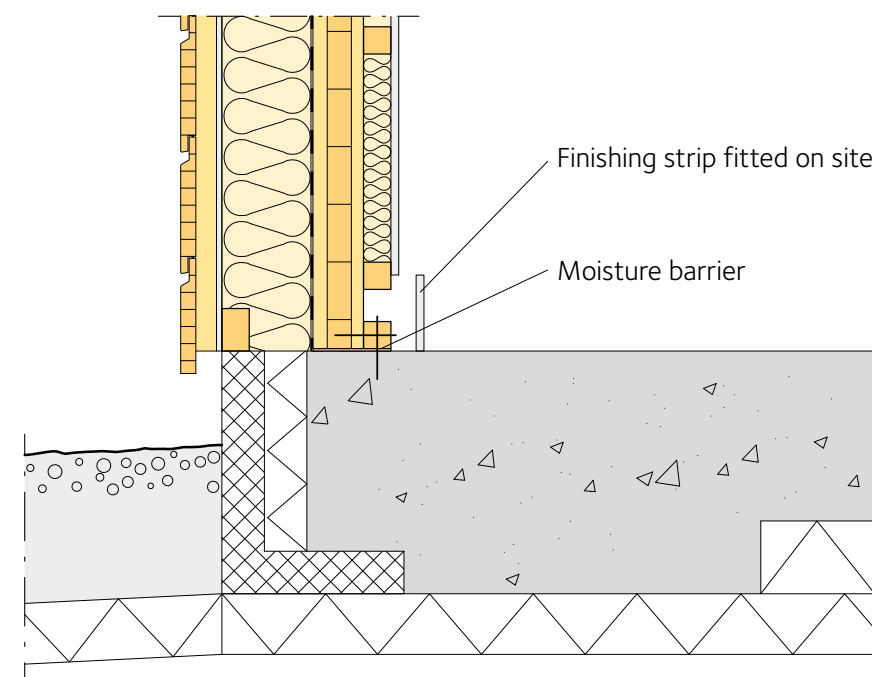
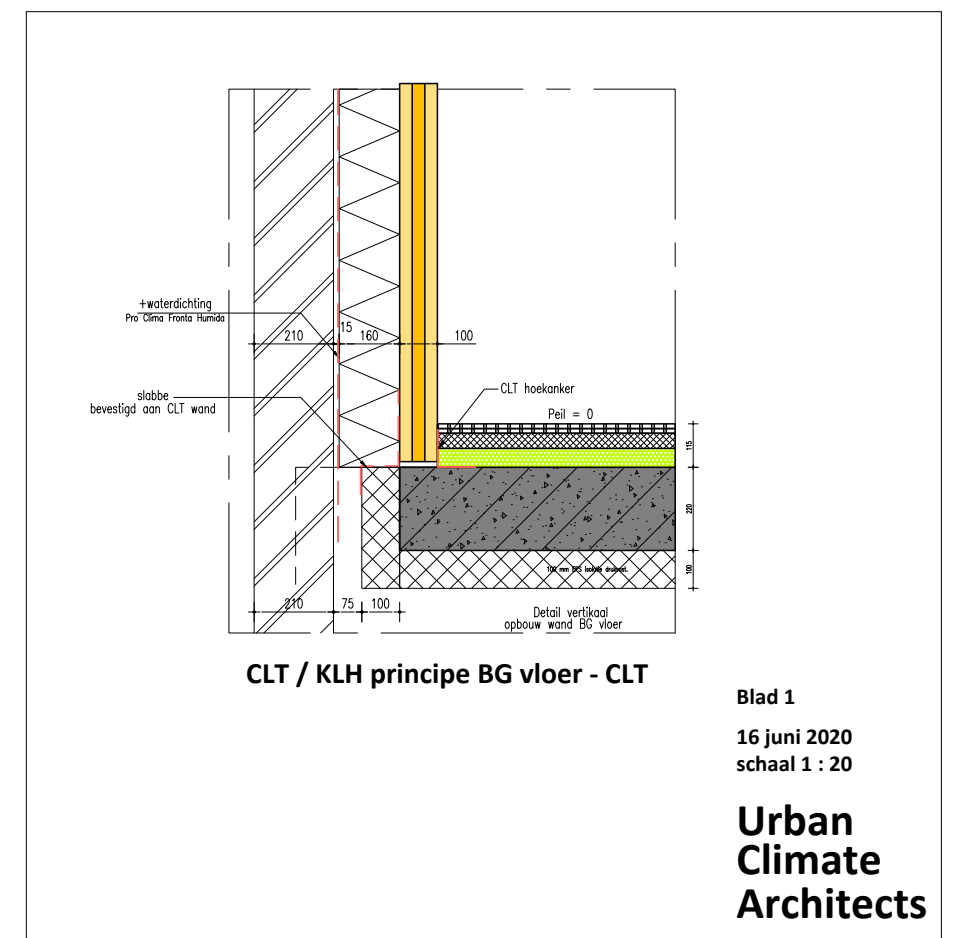


Figure 6.16 Connecting prefabricated external CLT wall to concrete slab.

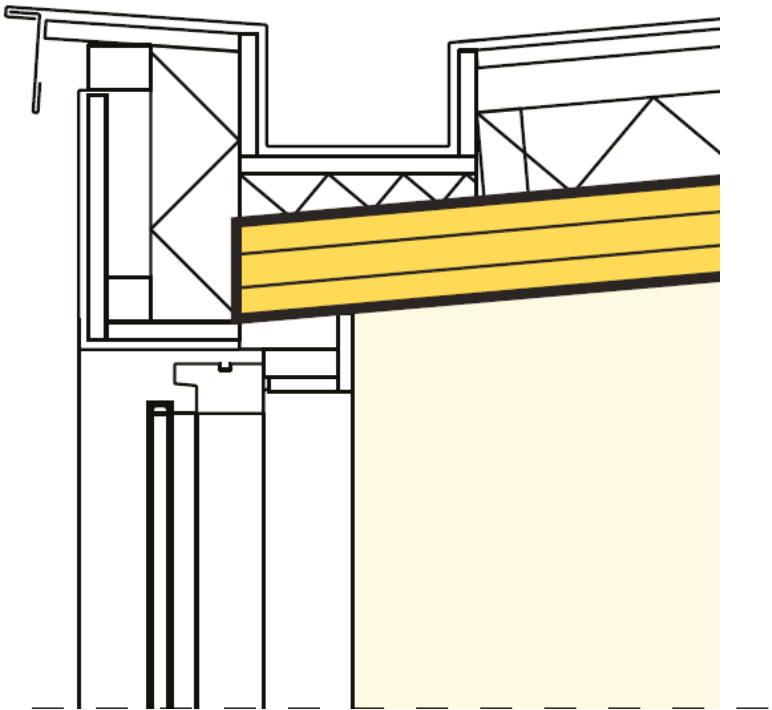
Aansluitdetail CLT op begane grondvloer - © Swedish Wood



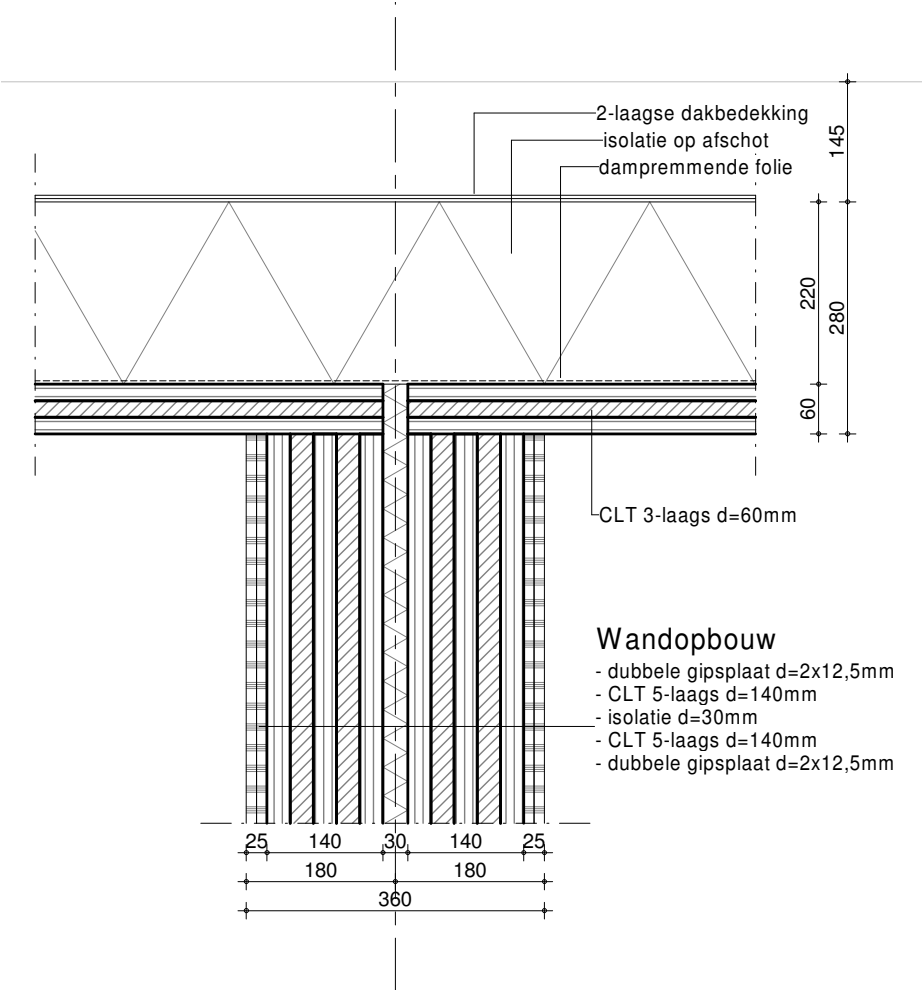
Aansluitdetail CLT op begane grondvloer Molslaan, Urban Climate Architects

AANSLUITDETAILS DAK

CLT isoleert beter dan beton. Hierdoor kan al snel een dunner dakpakket worden toegepast dan wanneer je een betondak zou gebruiken.



Dakaansluiting CLT



Dakaansluiting bij modulair bouwen



DATABANK

DATABANK

Internetlinks:

- massivholzhandbuch.com: Voor het samenstellen van wanden, vloeren en daken
- rothoblaas.com/cross-laminated-timber: Technische informatie over CLT
- centrumhout.nl: Overzicht van alle Nederlandse houtwebsites
- bouw.neweconomy.eco: Informatie over toekomstbestendig bouwen

Boeken:

- [100 Projects UK CLT](#) - Waugh Thistleton Architects
- Building in Timber - Room modules – Detail
- Manual of Multistorey Timber Construction – Detail
- Tall Wood Buildings : Design, Construction and Performance - Walter de Gruyter GmbH
- [The CLT Handbook](#) – Swedish Wood
- [NU build Modular Design Guide](#) - Waugh Thistleton Architects
- [Tomorrow's Timber](#) - Material District

Downloads:

- [Gevelbekleding van massief hout.pdf](#)
- [Houtsoortenkeuze versus toepassing.pdf](#)

CONTACTENLIJST

Houtconstructeurs:

- [Adviesbureau Lüning](#)
- [ABT](#)
- [Pieters Bouwtechniek](#)
- [Arup](#)
- [Sweco](#)
- [Koppellhuber](#) (Oostenrijk)
- [Solid Timber](#)
- [ARCON houtconstructies](#)

Bouwfysisch adviseurs:

- [Level Acoustics](#)
- [Adviesbureau Peutz](#)
- [LPB Sight](#)
- [DGMR](#)
- [Arup](#)
- [Pieters Bouwtechniek](#)
- [Nieman](#)

Duurzaamheid adviseurs:

- [NIBE](#)
- [New Economy](#)

Houtleveranciers:

- [Derix](#)
- [Brüninghoff](#)
- [EkoFlin](#)
- [Nur Holz](#)
- [Stora Enso](#)
- [De Groot Vroomshoop](#)
- [JM Concepten](#)
- [CLT-s](#)
- [Heko](#)
- [Laminated Timber Solutions](#)
- [Binderholz](#)
- [WOODTEQ](#)

Aannemers:

- [Heutink Groep](#)
- [JP van Eesteren](#)
- [Ursem](#) (modulaire bouw)
- [Eco + Bouw](#)
- [Van Hout's Aannemingsmaatschappij](#)
- [Treetek](#)
- [JM Concepten](#)

Architecten:

- [INBO](#)
- [Waugh Thistleton Architects](#)
- [Team V Architectuur](#)
- [SeARCH](#)
- [Studio Nauta](#)
- [Olaf Gipser Architects](#)
- [Mirck Architecture](#)
- [Urban Climate Architects](#)
- [MAATworks](#)
- [MeesVisser](#)
- [Natrufied Architecture](#)
- [Studio Marco Vermeulen](#)

Kostendeskundigen:

- [BBN](#)
- [Skaal](#)

Houtsystemen:

- [Finch Buildings](#)
- [Nur Holz](#) *(zonder lijm)*
- [NU Build System](#) (VK)
- [b_solution](#) (by Treetek)

REFERENTIE PROJECTEN

Gestapelde woningbouw:

- HAUT – Team V Architectuur *(NL)*
- Patch 22 – Tom Frantzen *(NL)*
- Stories – Olaf Gipser *(NL)*
- Molslaan Delft - Urban Climate Architects *(NL)*
- M'DAM – Finch Buildings *(NL) (modulair)*
- Buiksloterham – Finch Buildings *(NL) (modulair)*
- Moholt Timber Towers - MDH arkitekter
- HOHO Wien Holzhoch - Rüdiger Lainer + Partner
- Carbon 12 - Kaiser + Path
- The Rye Apartments - Tikari Works
- Mjøstårnet Tower - Voll Arkitekter
- Kajstaden Tall Timber Building - CF Møller Architects
- Dalston Lane – Waugh Thistleton Architects
- Bridport House, Londen, VK - Karakusevic Carson Architects
- Skaio - Kaden + Lager
- Strandparken – Wingardhs
- Mansion House, Manchester - Shed km *(modulair)*
- Freilager Zürich - Rolf Mühlethaler
- Puukuokka, Jyväskylä, Finland – OOEPA *(modulair)*
- Wenlock Cross - Hawkings and Brown
- SAWA – Mei architects
- Mazarin House, Londen, VK - Arboreal
- Murray Grove, Londen, VK - Waugh Thistleton Architects
- Fairmule House, VK - Quay2C Architects
- Treet Tower, Bergen, Noorwegen - Artec *(modulair)*
- Residential Complex in Toulouse, Frankrijk - PPA architectures *(modulair)*
- De Warren - Natrified Architecture

Studentenhuisvestingen:

- Woodie Student Hostel, Hamburg, Duitsland - Sauerbruch Hutton *(modulair)*
- Brock Commons, Vancouver, Canada - Acton Ostry Architects
- Cowan Court, Churchill College, Cambridge, VK - 6a Architects
- UEA Blackdale, Norwich, VK - LSI Architects

Grondgebonden woningbouw :

- House by the Lake - Studio Nauta *(NL)*
- Kea Boumanstraat - MeesVisser *(NL)*
- Elix – MIX architectuur *(NL)*
- Mijn Houten Huis - MAATworks *(NL)*
- BongWong - NAT Architecten *(NL)*
- Sociale huurwoningen Weert - Nur Holz woningen *(NL)*
- 59rut - Vallribera Arquitectes
- Dune House, VK - Jarmund/Vigsnæs Architects and Mole Architects
- Hunsett Mill, VK - SCME

Uitiliteitsbouw:

- Triodos bank – RAU *(NL)*
- SYNEGIC Office – UENOA
- Santo Office - Junichi Kato & Associates
- BMW Artville - G2 Architecten
- Verne Workspace - Verne Arquitectura
- Illwerke Zentrum Montafon - Architekten Hermann Kaufmann
- Wood Innovation Design Centre - Michael Green Architecture
- Community Center - NORD Architects
- 6 Orsman Road – Waugh Thistleton Architects
- Stroud Church - Nicolas Pople Architects
- Bürohaus Küng Alpnach, Zwitserland - Seiler Linhart
- Finansparken Bjergsted, Stavanger, Noorwegen - SAAHA
- GSK Centre for Sustainable Chemistry, VK - Fairhursts Design Group

Scholen:

- School Klein Amsterdam – SeARCH *(NL)*
- Basisschool Het Epos- SeARCH *(NL)*
- Secondary School - PPAG Architects
- Junior School - DK-CM
- European School, Frankfurt, Duitsland - NKBAK *(modulair)*
- Modular Schools, Zuirich, Zwitserland - Bauart Architekten *(modulair)*
- Tring Park School for Performing Arts, VK - Burrell Foley Fischer
- West Buckland School, VK - Rundell Associates
- Sandal Magna School, Wakefield, VK - Sarah Wigglesworth
- Arcadia Nursery, Edinburgh, VK - Malcom Fraser Architects
- Mayfield School, VK - David Miller Architects

REFERENTIE PROJECTEN

Hotel:

- Hotel Jakarta – SeARCH *(NL)* *(modulair)*
- Tungestølen Hiking Cabin – Snøhetta
- Hotel Ammerwald, Reutte, Oostenrijk - Oskar Leo Kaufmann en Albert Rüb *(modulair)*
- Hotel Katharinenhof, Dornbirn, Oostenrijk - Johannes Kaufmann Architektur *(modulair)*

Zorg:

- Residential and Care Home with a Nursery, Fieberbrunn, Oostenrijk - Sitka Kasere Architekten *(modulair)*
- Senior Citizens’ Home, Hallein, Oostenrijk - sps architekten *(modulair)*
- Maggie’s Cancer Centre, Leeds, VK - Thomas Heatherwick
- Maggie’s Cancer Centre, Oxford, VK - Wilkinson Eyre

Stedenbouw:

- Vejlands Quarter - Henning Larsen
- Woodhouse Rosendal, Uppsala, Zweden - Kjellander Sjöberg
- Trenezia Zero Carbon Community (concept), Bergen, Noorwegen - Waugh Thistleton Architects

Overig:

- Refugee Accommodation in Hanover, Duitsland - MOSAIK architekten
- Electric car charging stations, Denemarken - COBE
- 1,3km brug, Lake Mjøsa, Noorwegen
- Alfriston Swimming Pool, VK - Duggan Morris Architects
- Hastings Pier, VK - dRMM
- Wildernesse Restaurant, VK - Duggan Morris Architects

Concept projecten:

- Urban Village Project - EFFEKT en SPACE10
- Living Unit, Ljubljana Castle - OFIS
- Wander Wood Pavilion - Centre for Advanced Wood Processing, Vancouver, Canada



INBO

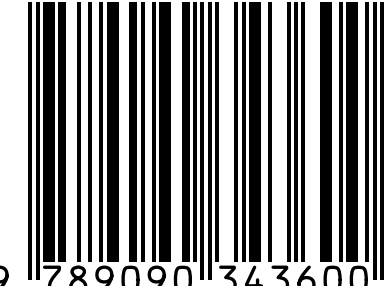
Kon. Wilhelminaplein 29

1062 HJ Amsterdam

T +31 (0)20 421 24 22

www.inbo.com

ISBN 978-90-90-34360-0



9 789090 343600