

# CROSS LAMINATED TIMBER, SLEUTEL TOT SUCCES?

**Houtbouw lijkt sinds de VPRO Tegenlicht uitzending (18 oktober 2019) de sleutel tot succes voor de enorme bouwopgave en uitdagingen met betrekking tot het milieu waar we voor staan. Maar is dat wel zo? Kun je steenachtige bouwsystemen zomaar vervangen voor hout, of zijn er extra aandachtspunten? In dit artikel gaan we in op de consequenties van het toepassen van hout massiefbouw (CLT) voor de geluidisolatie in woningen en woongebouwen.**

CLT staat voor Cross Laminated Timber (kruislaags verlijmd hout). CLT is een massief houtbouwsysteem in tegenstelling tot houtskeletbouw (HSB) waarbij sprake is van houten raamwerk van stijlen en regels.

Voor de meeste bouwkundigen vormen steenachtige bouwsystemen het referentiekader voor bescherming tegen geluidhinder, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen het wettelijk minimum (Bouwbesluit) en een eventueel comfortniveau bij woningen in het hogere segment. Bij CLT en ook andere vormen van houtbouw moet dat referentiekader bijgesteld worden. De ééngetalswaarden,  $D_{nT,A,k}$  en  $L_{nT,A}$  voor bescherming tegen hinder door lucht- en contactgeluid, krijgen bij CLT een ander betekenis dan bij steenachtige bouw. Die betekenis moet opnieuw verkend worden. Daarom wordt bij de ontwikkeling van een gebouw in (massief) hout het volgende stappenplan aanbevolen:

1. Samen met de koper/gebruiker of investeerder/ontwikkelaar de gewenste geluidisolatie verkennen, inclusief een beschrijving van de streefwaarden in een voor leken begrijpelijke taal. Deze gewenste geluidisolatie is dus niet per definitie de minimum waarde in het Bouwbesluit.
2. Opstellen van een geluidconcept: eerste selectie van elementen op basis van de constructieve en akoestische uitgangspunten.
3. Voorspelling van de geluidisolatie. Waarbij prognose van de geluidisolatie van elementen en knooppunten veilig worden aangehouden. Ook worden ervaringen bij vergelijkbare gebouwen meegenomen.
4. Bijsturen van het ontwerp.
5. Implementatie en monitoring tijdens de bouwvoorberedings- en bouwfase.
6. Meting na uitvoering.

## STAP 1: VOORSCHRIFTEN EN GEWENSTE GELUIDISOLATIE

Geluidisolatie is net als andere aspecten in het bouwfy-sisch domein onderworpen aan minimumeisen op grond van bouwvoorschriften. In het Bouwbesluit zijn vereisten opgenomen voor verschillende gebruiksfuncties van gebouwen. Het Bouwbesluit geeft grenswaarden en wijst NEN 5077 aan als bepalingsmethode. NEN 5077 beschrijft de procedure voor een geluidmeting.

Wettelijke minimumeisen zijn bedoeld om ontoelaatbare verstoringen te voorkomen. Deze minimumeisen zijn niet

de beste maatstaf. Zeker bij woningen met woningscheidende ankerloze spouwmuren en (luke) appartementen met verend opgelegde dekvloeren verwachten bewoners een verhoogde mate van comfort. Vaak wordt daar onvoldoende aandacht aan geschonken, waardoor bewoners niet krijgen wat ze (mogen) verwachten. In geval van CLT is er een extra complicatie van geluidoverdracht bij lage frequenties die wel wordt waargenomen, maar door NEN 5077, niet wordt beoordeeld. Daarover later meer.

De vereisten uit het Bouwbesluit moeten – zelfs als dat niet privaatrechtelijk is overeengekomen – altijd nageleefd worden. Als net wordt voldaan aan die wettelijke ondergrens, dan zal met CLT regelmatig verstoring van de privacy optreden, ook bij een gelijksoortig leefpatroon en als men rekening houdt met elkaar. Spraak is soms waarneembaar, maar niet verstaanbaar, zeer luide spraak is verstaanbaar. Muziek is vaak hoorbaar, met name de lage tonen. Loopgeluiden zijn veelal hinderlijk. Verstoring van de privacy ontstaat vooral bij een laag achtergrondgeluidniveau, waarbij een laag achtergrondniveau  $L_{A,eq}$  van 25 dB eerder regel dan uitzondering is.

### Besteed aandacht aan lage tonen

Bij gebouwen met steenachtige woningscheidende wanden en vloeren zijn de ervaringen van burengeluiden anders dan bij CLT. De ervaren geluidniveaus van lage tonen van muziekgeluid en loopgeluiden zijn lager dan bij CLT. Hierdoor ontstaat in een gebouw met steenachtige woningscheidende constructies minder geluidoverlast dan bij een vergelijkbaar houten gebouw.

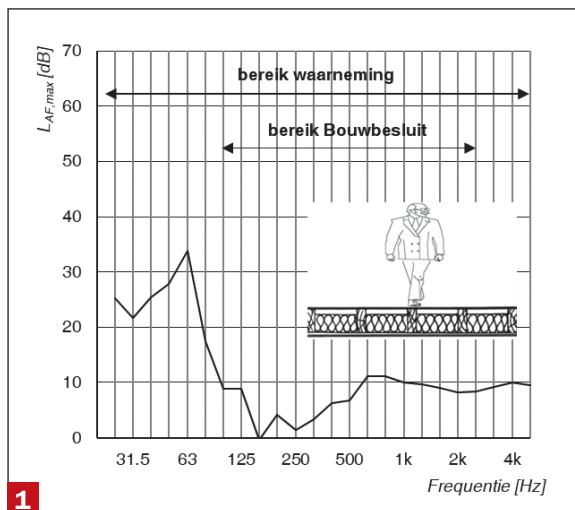
Ten aanzien van contactgeluiden wordt dat toegelicht in afbeelding 1. In deze afbeelding staat het maximale A-gewogen geluidniveau ( $L_{AF,max}$ ) dat in de ondergelegen ruimte ontstaat bij een houten vloer schematisch weergegeven. In het frequentiebereik tussen 100 Hz en 2.5 kHz bedraagt het totale geluidniveau 21 dB. Dat frequentiebereik wordt beschouwd door het Bouwbesluit. Als ook de lage tonen beschouwd worden, dan bedraagt het geluidniveau 36 dB, een verschil van 15 dB! De afbeelding toont dat een groot deel van de geluidenergie in de ontvangruimte onder 100 Hz ontstaat. Dit impliceert dat het beoordelen van de contactgeluidisolatie op basis van de waarde  $L_{nT,A}$  volgens NEN 5077 geen betrouwbare maatstaf is voor het beoordelen van hinder door contactgeluiden. Een vergelijkbaar effect ontstaat bij betonvloeren met een verend opgelegde dekvloer, hoewel het eerder



ing. K.M. (Koen) Temmink, specialist geluidisolatie lichte bouwsystemen, Nieman Raadgevende Ingenieurs



ing. P. (Peter) Kuindersma, integrator specialist CLT, Nieman Raadgevende Ingenieurs



1

Loopgeluidniveau op een houten vloer (schematisch)

genoemde verschil daar aanmerkelijk kleiner is. Bij monoliete, steenachtige vloeren is dat niet aan de orde.

### Spectrumaanpassing

Dat het frequentiebereik tussen 100 en 2.5 kHz geen goede en betrouwbare maatstaf is voor het voorspellen en beoordelen van contactgeluiden wordt bevestigd door een onderzoek van Rabold [1]. Daaruit blijkt dat er geen duidelijke correlatie ontstaat bij de ééngetalswaarde  $L_{n,w}$  (die het frequentiebereik vanaf 100 Hz beschouwt) en de ervaren contactgeluiden. Wanneer een spectrumaanpassing voor lage frequenties doorgevoerd wordt, dan ontstaat wel een duidelijke correlatie. Dat wordt getoond in afbeelding 2. De spectrumaanpassing betreft  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ . De correctie  $C_{1,50-2500}$  beschrijft de afwijking van loopgeluiden ten opzichte van het genormeerde hamerapparaat. Of bij houten vloeren sprake is van een goede correlatie tussen de waarde  $L_{nT,A}$  en de beoordeling van contactgeluiden is niet bekend.

Uit het onderzoek van Rabold blijkt dat bij een waarde  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  kleiner dan 46 dB loopgeluiden nauwelijks waarneembaar zijn en dat loopgeluiden bij niveaus boven 50 – 53 dB als storend ervaren worden.

### Voorstel voor streefwaarden bij CLT

Het is belangrijk om samen met de koper/gebruiker of investeerde/ontwikkelaar de gewenste geluidisolatie vast te stellen. Als hulpmiddel worden voor CLT (maar ook voor andere houtbouw concepten) de streefwaarden in tabel 1 voorgesteld. Die streefwaarden zijn ontstaan uit bureauervaringen en het handboek “Schallschutz im

Holzbau” [4]. Als het niveau “Bouwbesluit” gehanteerd wordt, dan zijn er veel klachten te verwachten, vooral bij contactgeluiden in appartementengebouwen. Hoewel wordt voldaan aan de minimale bouwvoorschriften, wordt dat niveau te allen tijde afgeraden.

Het niveau ‘minimaal wenselijk’ is qua hoorbaarheid en ervaring van geluiden het best te vergelijken met een steenachtig bouwwerk dat voldoet aan het niveau Bouwbesluit. Ten opzichte van het niveau Bouwbesluit is het de contactgeluidisolatie  $L_{nT,A}$  aangescherpt en zijn spectrumaanpassingen doorgevoerd in verband met lage tonen die ontstaan bij muziek en lopen. Die spectrumaanpassing wordt vooralsnog alleen voorgesteld voor de (theoretische) ontwerpwaarde van de wanden en vloeren. Lage tonen zijn vanwege de grote golflengte namelijk vaak niet nauwkeurig meetbaar en betrouwbaar te controleren.

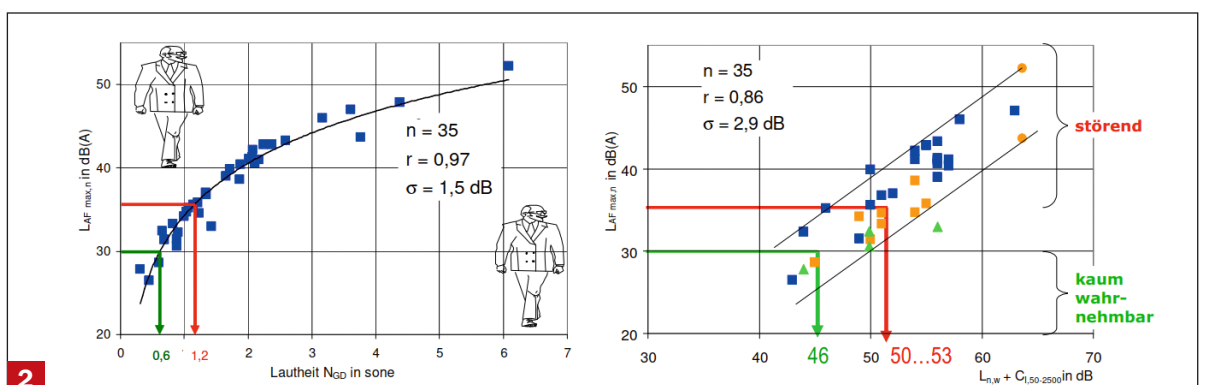
Bij het niveau ‘comfort’ is sprake van een verhoogde bescherming tegen burengeluiden. Onder normale omstandigheden biedt dit een goede bescherming zonder al te veel beperkingen aan bewonersgedrag. Gewone spraak is niet hoorbaar, hardere spraak en muziek zijn soms hoorbaar maar niet verstaanbaar. Zeer luide spraak en muziek, feestjes zijn duidelijk hoorbaar, maar spraak niet verstaanbaar. Loopgeluiden zijn in het algemeen niet storend hoorbaar.

### STAP 2: OPSTELLEN GELUIDCONCEPT: EERSTE SELECTIE VAN ELEMENTEN

De eerste selectie van elementen wordt vaak gedaan door de constructeur. Die bepaalt de minimale constructieve dikte van de draagstructuur en de positie van constructieve koppelingen. Het is ook verstandig alvast rekening te houden met zaken zoals gipsplaten ter bescherming van de hoofdconstructie bij brand, enkelschalige woningscheidende wanden (met voorzetwanden) versus dubbelschalige wanden, de wens voor hout als zichtwerk, de benodigde verzwaringen van woningscheidende vloeren en ruimte creëren voor leidingen van installaties.

### STAP 3: VOORSPELLING VAN GELUIDISOLATIE

Om geluidoverdracht goed te kunnen voorspellen, is het belangrijk inzicht te hebben in de relevante paden van geluidoverdracht. Die zijn in afbeelding 3 schematisch weergegeven. Bij boven elkaar gelegen rechthoekige ruimten is bij luchtgeluidoverdracht sprake van 13 overdrachtspaden, namelijk de directe scheidingsconstructie (Dd) en 4 flankerende paden via de wanden die kunnen worden onderverdeeld in 3 sub paden (Df, Ff en Fd). Bij contactge-



2

Correlatie tussen loopgeluidniveau en contactgeluidniveau met een hamerapparaat

Tabel 1: Wettelijke grenswaarden en belangrijke streefwaarden voor geluidisolatie

Casco	Niveau van bescherming	Luchtgeluid	Contactgeluid
	Bouwbesluit (niet wenselijk)	$D_{nT,A,k} \geq 52 \text{ dB}^{(1)}$	$L_{nT,A} \leq 54 \text{ dB}^{(1)}$
Hout	Minimaal wenselijk	$D_{nT,A,k} \geq 52 \text{ dB}^{(1)}$ $R_w + C_{150-5000} \geq 52 \text{ dB}^{(2)}$	$L_{nT,A} \leq 48 \text{ dB}^{(1)}$ $L_{nT,A} + C_{150-2500} \leq 50 \text{ dB}^{(2)}$
	Comfort	$D_{nT,A,k} \geq 57 \text{ dB}^{(1)}$ $R_w + C_{150-5000} \geq 52 \text{ dB}^{(2)}$	$L_{nT,A} \leq 43^{(1)}$

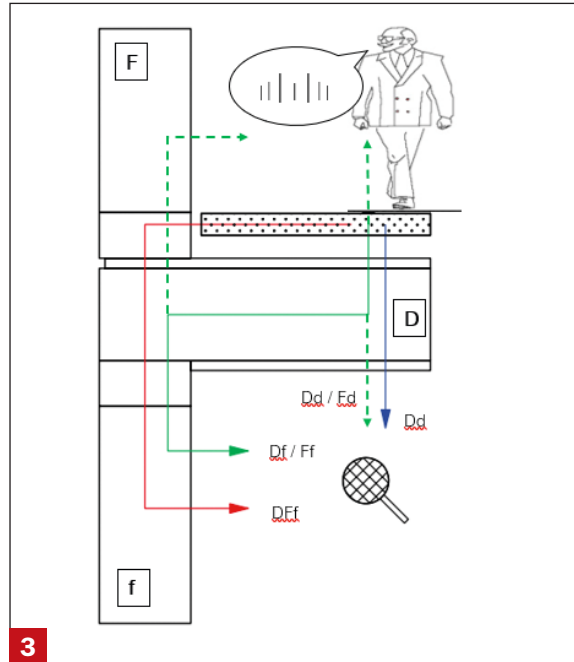
1) Gemeten waarde volgens NEN 5077; 2) aanvullende ontwerpwaarde voor contactgeluidseis, alleen voor de constructie zonder flankerend geluid

luid is er sprake van 5 of 9 paden, namelijk de directe scheidingsconstructie (Dd) en 4 flankerende paden via wanden (Df). Bij een verend opgelegde dekvloer komen daar nog 4 paden bij, namelijk via de aansluiting van de dekvloer met de wand. De laatste wordt doorgaans verwaarloosd, maar kan in geval van een onjuiste akoestische ont koppeling wel degelijk relevant zijn. Al met al is er dus een groot aantal overdrachtspaden die allen in meer of mindere mate bijdragen aan geluidoverdracht.

**Procedure voor de voorlopige berekening**

NEN-EN-ISO 12354 [2] [3] beschrijft zeer uitgebreid een methode om een prognose van de geluidisolatie te maken. In het begin van het ontwerp stadium, bij de eerste selectie van de elementen voert het te ver om de uitgebreide rekenmethodiek volgens NEN-EN-ISO 12354 te volgen. Dat is een tijdrovende klus. Om toch sturing te kunnen geven aan het ontwerp proces is onderstaand een stappenplan uitgewerkt.

1. Bepalen van de ontwerpwaarde (is gebaseerd op streefwaarde) voor de directe scheidingsconstructie op basis van. De ontwerpwaarde is een luchtgeluidisolatie  $R_{A,element}$  die hoger is dan of gelijk aan de streefwaarde



3 Paden van geluidoverdracht

Uit de verkregen luchtgeluidisolatie  $R'$  kunnen de waarden voor het (karakteristiek) lucht-geluidniveaoverschil  $D_{nT,A}$  en  $D_{nT,A,k}$  berekend worden evenals het contactgeluidniveau  $L_{nT,A}$ .

Voor luchtgeluid is de geluidoverdracht als volgt in een formule te beschrijven [2]:

$$R' = - \left\{ 10 \lg \left\{ 10^{-\frac{R_{Dd}}{10}} + \sum^n 10^{-\frac{R_{ij}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{Df}}{10}} \sum_{F=1}^n 10^{-\frac{R_{Fd}}{10}} \right\} \right\} \text{ dB} \tag{1}$$

Waarin  $R_{Dd}$  de gewogen luchtgeluidisolatie voor directe geluidtransmissie is,  $R_{Dd}$ ,  $R_{Ff}$  en  $R_{Df}$  de gewogen luchtgeluidisolatie voor flankerende geluidtransmissie, en  $n$  is het aantal flankerende elementen.

De gewogen luchtgeluidisolatie voor directe geluidtransmissie kan wordt verkregen uit:

$$R_{Dd} = R_s + \Delta R_{Dd} \text{ dB} \tag{2}$$

Waarin  $R_s$  is de luchtgeluidisolatie van het element en  $\Delta R_{Dd}$  is de luchtgeluidislatieverbetering door voorzetconstructies.

De gewogen luchtgeluidisolatie voor flankerende geluidtransmissie wordt verkregen uit:

$$R_{Ff} = \frac{R_F + R_f}{2} + \Delta R_{Rf} + K_{Ff} + \left( 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \right) \tag{3}$$

$$R_{Fd} = \frac{R_F + R_d}{2} + \Delta R_{Rd} + K_{Fd} + \left( 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \right) \tag{4}$$

$$R_{Df} = \frac{R_s + R_f}{2} + \Delta R_{Df} + K_{Df} + \left( 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \right) \tag{5}$$

Waarin  $R_F$  en  $R_f$  de gewogen luchtgeluidisolatie van het flankerend element is in dB,  $\Delta R$  de verbetering van de luchtgeluidisolatie is als gevolg van een voorzetconstructie (voorzetwand, verend opgelegde dekvloer, etc.) in dB,  $K_{Ff}$ ,  $K_{Fd}$  en  $K_{Df}$  de trilling reductie index van het knooppunt is in dB,  $S_s$  is de oppervlakte van de directe scheidingsconstructie in  $m^2$ ,  $l_f$  is de lengte van de koppeling in m en  $l_0$  is de referentielengte van de koppeling (1 m).

$D_{nT,A,k} + 7$  dB én de luchtgeluidisolatie  $R_w + C_{1,50-5000}$  van het element is hoger of gelijk aan de streefwaarde (zie tabel 1).

- Bepaal het criterium voor de flankerende geluidoverdracht waarbij de flankerende geluidwering  $D_{n,f}$  van elk van de flankerende elementen ten minste gelijk is aan de waarde  $D_{nT,A,k} + 7$  dB.

*De waarde van 7 dB is gebaseerd op een verwachte onzekerheid van 2 dB van de rekenmethode en bij 5 dB verlies door flankerend geluidoverdracht.*

Bij woningscheidende vloeren geldt de volgende aanvulling:

- Bepalen van de ontwerpwaarde (is gebaseerd op streefwaarde) van de vloerconstructie, zijnde een contactgeluidniveau  $L_{n,w} + C_1$  van die lager of gelijk is aan de streefwaarde  $L_{nT,A} - 5$  dB en  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  van de vloer die lager of gelijk is dan de streefwaarde.

*De waarde van 5 dB is gebaseerd op een verwachte onzekerheid van 3 dB van de rekenmethode en bij 2 dB verlies door flankerend geluidoverdracht. Flankerend contactgeluidoverdracht is ondergeschikt aan flankerend luchtgeluidoverdracht en hoeft derhalve in het begin van het ontwerp stadium niet beoordeeld te worden.*

#### STAP 4: BIJSTUREN ONTWERP

Deze stap spreekt voor zich, zo lijkt het. Echter, in deze fase van het ontwerp worden idealiter ook de andere bouw-fysische en constructieve uitgangspunten bij elkaar gebracht en op elkaar afgestemd. Veel afstemming en overleg dus!

Bij deze stap hoort ook een afsluitende rekenkundige onderbouwing. De normen NEN-EN-ISO 12354 deel 1 (luchtgeluid) en deel 2 (contactgeluid) kunnen daarbij gebruikt worden om een prognose van de lucht- en contactgeluidisolatie te maken. Het voert hier te ver om die normen hier uitgebreid toe te lichten. Daarom wordt in een kader de hoofdlijn voor luchtgeluidisolatie beschreven. Overdracht van contactgeluid is op een soortgelijke wijze beschreven [3].

#### STAP 5 EN 6: BEWAKEN EN METEN

Bij CLT wordt gewerkt met andere methoden en materialen dan bij steenachtige bouw. Met name bij akoestische oorkoppelingen - die bij CLT veelvuldig voorkomen - schuilen risico's. Een toelichting van het ontwerp door de (akoestisch) adviseur aan het bouwbedrijf, controle van werktekeningen en controles op de bouwplaats zijn middelen om de kwaliteit te bewaken. Dit is ook het laatste moment om te beoordelen of de elementen voldoende geluidwerend zijn ten aanzien van lage tonen.

Het verdient de aanbeveling om, meer dan bij steenachtige bouw, achteraf metingen te verrichten. Ten eerste om te beoordelen of de gewenste geluidisolatie gerealiseerd is en ten tweede om van te leren voor een volgend project. De procedure voor de meting staat beschreven in NEN 5077 [9] en is voor CLT niet anders dan bij steenachtige bouw. De streefwaarden zijn wel anders (zie stap 1).

## VOORBEEDEN VOOR EEN CASCO MET CLT

Tabelle 26: Massivholzdecken ohne Unterdecken						
Spalte	1	2	3	4	5	
Zeile	Schnitt	Dämmung d in mm s' in MN/m²	Beschwerung d in mm m' in kg/m²	$L_{n,w}$ ( $C_{1,50-2500}$ ) in dB	$R_w$ ( $C_{50-1000}$ ; $C_{50-5000}$ ) in dB	
Massivholzdecken ohne Unterdecken mit Aufbauten aus mineralisch gebundenen Estrichen						
1		MW (DES-sh) d ≥ 40 s' ≤ 7	Schüttgut	-	62° (-6;-18)	
2				d ≥ 40 m' ≥ 60	46° (5)	68° (-7;-20)
3				d ≥ 60 m' ≥ 90	40° (8)	72° (-8;-21)
4				d ≥ 100 m' ≥ 150	38° (4)	77° (-13;-28)
5				d ≥ 40 m' ≥ 100	45° (4)	72° (-8;-23)
6		MW (DES-sh) d ≥ 30 s' ≤ 8	Schüttgut	d ≥ 60 m' ≥ 90	40° (9)	74° (-9;-24)
7				d ≥ 100 m' ≥ 150	38° (5)	76° (-10;-25)
8		MW (DES-sh) d ≥ 40 s' ≤ 7	Schüttgut	d ≥ 60 m' ≥ 90	40° (7)	73° (-16;-32)
Massivholzdecken ohne Unterdecken mit Aufbauten aus Dielenböden						
9		WF + Leisten d ≥ 40 s' ≤ 30	Schüttgut	d ≥ 100 m' ≥ 150	50° (1)	65° (-5;-16)

- (1) Mineralisch gebundener Estrich nach Tabelle 21 / Zeile 1; Dicke d ≥ 50 mm; flächenbezogene Masse m' ≥ 120 kg/m²  
 (2) Dielenböden aus Holzdielen nach Tabelle 21 / Zeile 4; Dicke d = 24 mm  
 (3) Trittschalldämmung aus Dämmplatten nach Tabelle 21 / Zeile 5; Dicke d angegeben; dynamische Steifigkeit s' angegeben  
 (4) Rohdeckenbeschwerung aus gebund./ungebund. Schüttgut nach Tabelle 21 / Zeile 6; Dicke d angegeben; m' angegeben  
 (5) Rohdeckenbeschwerung aus Betonsteinplatten nach Tabelle 21 / Zeile 6; Dicke d angegeben; m' angegeben  
 (6) Tragwerk aus Brettsperrholz-, Brettschichtholz- oder Brettspatелеmenten nach Tabelle 21 / Zeile 10  
 (7) Unterdeckenbekleidung aus Gipsfaserplatten nach Tabelle 21 / Zeile 14; Dicke d = 15 mm; m' ≥ 17 kg/m²

4

Luchtgeluidisolatie van woningscheidende wanden (voorbeeld) [4]

#### ELEMENTEN

Stel dat bij een woongebouw het comfortniveau 'minimaal wenselijk' (tabel 1) als streefwaarde geldt, dan zijn de volgende uitgangspunten van toepassing:

- Luchtgeluid  $D_{nT,A,k} ≥ 52$  dB en  $R_w + C_{1,50-5000} ≥ 55$  dB
- Contactgeluid:  $L_{nT,A} ≤ 48$  dB en  $L_{n,w} + C_{1,50-2500} ≤ 50$  dB

Voor de woningscheidende wand geldt dat de luchtgeluidisolatie  $R_A (= R_w + C)$  ten minste 59 dB en  $R_w + C_{1,50-5000}$  ten minste 55 dB moet bedragen. Als sprake is van een gebouw met een draagconstructie van CLT, dan zou bijvoorbeeld constructie 4 uit 'tabelle 42' [4] volstaan. Dat is een ankerloze spouwmuur van 2 x 90 mm CLT die aan weerszijden is voorzien van 2 gipsplaten. De spouw tussen de wanden is 60 mm breed en gevuld met 50 mm minerale wol.

In geval van CLT-wanden als zichtwerk - wat bij eengezinswoningen met een lage eis aan de brandwerendheid van de hoofdconstructie goed mogelijk is - kan dan bijvoorbeeld voor een opbouw van 2 x 120 mm CLT en een brede lichtsponw van 100 mm worden gekozen, waarbij de spouw is gevuld met ten minste 80 mm minerale wol. Ook is het mogelijk om gipsplaten aan de zijde van de spouw te plaatsen, waardoor de breedte van de spouw en daarmee de breedte van de wand in zijn geheel kleiner wordt.

Bij een woningscheidende vloer geldt dat naast genoemde de luchtgeluidisolatie, de contactgeluidisolatie  $L_{n,T,A}$  ( $\approx L_{n,w} + C_i$ ) niet hoger is dan 43 dB en  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  niet hoger is dan de streefwaarde van 50 dB. Bij een vloer zou constructie 3 uit 'tabelle 26' [4] volstaan. Dat is een CLT-element met een dikte van ten minste 120 mm, 60 mm kalksplit (korrelstructuur waarin o.a. leidingwerk opgenomen kan worden) met een gewicht van 1.500 kg/m<sup>3</sup>, een hoogwaardige isolatielaag met een zeer lage dynamische stijfheid van niet meer dan 7 MN/m<sup>3</sup> (bijvoorbeeld glaswol) en een zware dekvloer met een gewicht 120 kg/m<sup>2</sup>.

**Opmerkingen:**

Voor de minimaal gewenste geluidisolatie is een vloer nodig met voldoende massa (in casu CLT met een gewicht van 60 kg/m<sup>2</sup> en kalksplit met een gewicht van 90 kg/m<sup>2</sup> en een hoogwaardige isolatielaag. Dit betekent dat CLT-elementen zonder de toegevoegde massa niet kunnen voldoen aan de minimaal gewenste geluidisolatie.

Een comfortniveau is te bereiken met een grotere massa, bijvoorbeeld 100 mm kalksplit. Zie constructie 7 in 'tabelle 26'.

In het 'Hozlbau Handbuch' [4] en op het internet [5] [6] sites is veel informatie te vinden over de geluidisolatie van elementen.

**BOUWKNOPEN EN VOORZETCONSTRUCTIES**

Voorzetconstructies zoals een voorzetwand, verend opgelegde dekvloer en verlaagd plafond verbeteren niet alleen de geluidisolatie van directe scheidingsconstructie tussen twee ruimten, maar dragen ook in belangrijke mate bij aan beperken van flankerend geluidoverdracht. Daarnaast neemt de brandwerendheid van de hoofdconstructie toe. Besef ook dat CLT als zichtwerk zeer gevoelig is voor vervuiling tijdens het bouwen. De verbetering van de geluidisolatie door een voorzetconstructie varieert bij CLT van 1 dB bij een enkelvoudige gipsplaat tot ordegrrootte 15 dB bij volwaardige voorzetwanden. Afbeelding 6 [7] geeft daarvan een overzicht.

Op plaatsen waar elementen op elkaar aansluiten, vind een demping van geluidoverdracht plaats. Zonder specifieke akoestische verbindingsmiddelen varieert die demping tussen ordegrrootte 3 dB bij een doorgaand element zoals traject 1 – 3 in afbeelding 7,

Tabelle 42: Wohnungstrennwände Massivholzbau

Spalte	1	Konstruktionsdetails		4
		2	3	
Zeile	Schnitt horizontal	Dämmschichtdicke $S_D$ Schalenabstand $S$ Massivholzteile $S_M$ mm	Beplankung/ Bekleidung mm	$R_w$ ( $C, C_{50-5000}$ ) dB
1		$S_D \geq 75$ WH $S \geq 85$ $S_M \geq 90$ MH	① $\geq 12,5$ GKF ② $\geq 75$ CW	62 <sup>m</sup> (-2; -3)
2		$S_M \geq 90$ MH	① $\geq 15$ GKF ② $\geq 50$ L-SB ③ $\geq 40$ WH	67 <sup>m</sup> (-6; -13)
3		$S_D \geq 50$ WH $S \geq 60$ $S_{M1} \geq 90$ MH $S_{M2} \geq 100$ MH	① $\geq 12,5$ GKF	57 <sup>m</sup> (-2; -1)
4		$S_D \geq 50$ WH $S \geq 60$ $S_M \geq 90$ MH	① $\geq 12,5$ GKF	61 <sup>m</sup> (-2; -2)
5		$S_{M1} \geq 100$ MH $S_{M2} \geq 90$ MH	① $\geq 50$ WH' ② $\geq 10$ LS ③ $\geq 50$ WH ④ $\geq 60$ L-SB ⑤ $\geq 12,5$ GKF	67 <sup>m</sup> (-3; -8)

CW C-Wandprofil nach Tabelle 36  
 GKF Gipsplatte Typ F nach Tabelle 36  
 LS Luftschicht  
 L-SB Holzlatzung auf Schwingbügel nach Tabelle 36 mit Dämmstoff nach Tabelle 37, e  $\geq 600$  mm  
 WH Faserdämmstoff nach Tabelle 36, Materialien nach Tabelle 37 mit der angegebenen Dicke  
 WH' Faserdämmstoff nach Tabelle 36, Materialien nach Tabelle 37 mit der angegebenen Dicke;  $\rho \geq 18$  kg/m<sup>3</sup>  
 MH Massivholzelement nach Tabelle 36, mit der angegebenen Dicke

5

Lucht- en contactgeluidisolatie van woningscheidende vloeren (voorbeeld) [4]

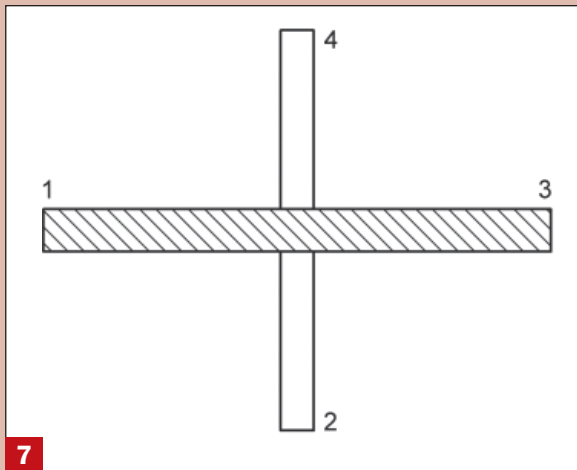
	Ausführung der Innenbekleidung	Verbesserung
	einseitige Bekleidung durch 1 x 12,5 mm Gipskartonplatten	1 dB
	zweiseitige Bekleidung durch 1 x 12,5 mm Gipskartonplatten	2 dB
	einseitige gedämmte Vorsatzschale auf Schwingbügel	< 7 dB
	beidseitige gedämmte Vorsatzschale auf Schwingbügel	< 10 dB
	einseitige Vorsatzschale, vollständig entkoppelt <sup>1)</sup> mit 85 mm Hohlraum mit Hohlraumdämpfung 50 mm Mineralwolle zw. CW-Profil und mit 2 Lagen Gipskartonplatte bekleidet	< 11 dB
	zweiseitige Vorsatzschale, vollständig entkoppelt <sup>1)</sup> mit 85 mm Hohlraum mit Hohlraumdämpfung 50 mm Mineralwolle zw. CW-Profil und mit 2 Lage Gipskartonplatte bekleidet	< 15 dB

<sup>1)</sup>: Befestigung ausschließlich an der Decke und dem Boden

**Abbildung 1:** Verbesserung der Luftschalldämmung durch unterschiedliche Art der Innenwandbekleidung (in rot), bei zweischaliger CLT-Wand mit Hohlraumdämmung (60mm Mineralfaser) [2].

6

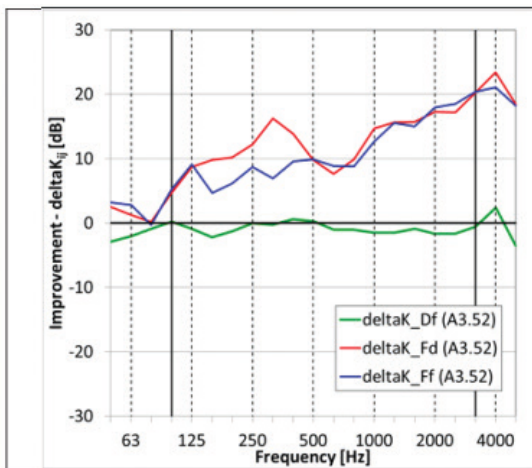
Verbetering van de geluidisolatie door voorzetconstructies bij CLT [7]



7

Schematische weergave van een knooppunt [2]

tot 20 dB bij traject 2 – 4. Door toevoeging van akoestisch oplegmateriaal kan de verbindingsdemping tot ordegrrootte 30 dB toenemen, zoals aangegeven in afbeelding 8. Als zichtwerk van hout bij wanden en/of plafonds gewenst zijn, dan is een akoestische ont-koppeling. Het samenstellen van voorzetwanden en akoestische ont-koppelingen is een behoorlijke puzzel, zeker bij woongebouwen. Deze puzzel kan het best worden opgelost door de constructeur, leverancier van CLT en akoestisch adviseur samen te laten werken. Dat kan bijvoorbeeld leiden tot oplossingen zoals gegeven in de onderstaande figuren.



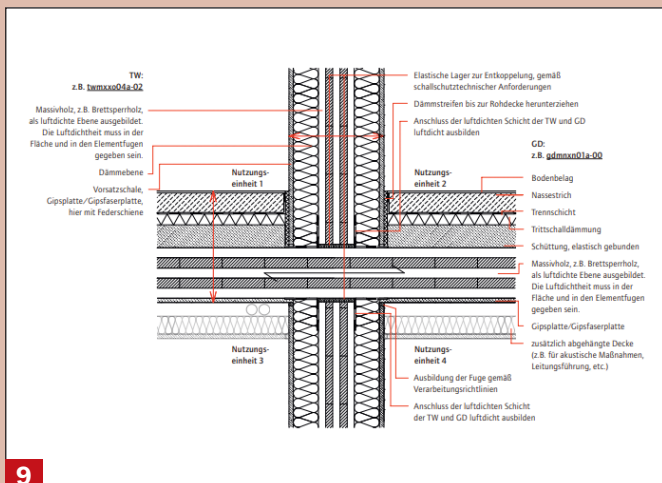
K <sub>ij</sub> (200 Hz – 1.25 kHz):		
Ff	33.4	dB
Fd	24.5	dB
Df	10.8	dB



Figure 4 – Improvement of vibration reduction index  $\Delta K_{ij}$  of path Ff, Fd and Df for elastic interlayer with 3 decoupled angles - Left:  $\Delta K_{ij}$ -Spectrum, middle: Single number  $K_{ij}$ , left: Connection details

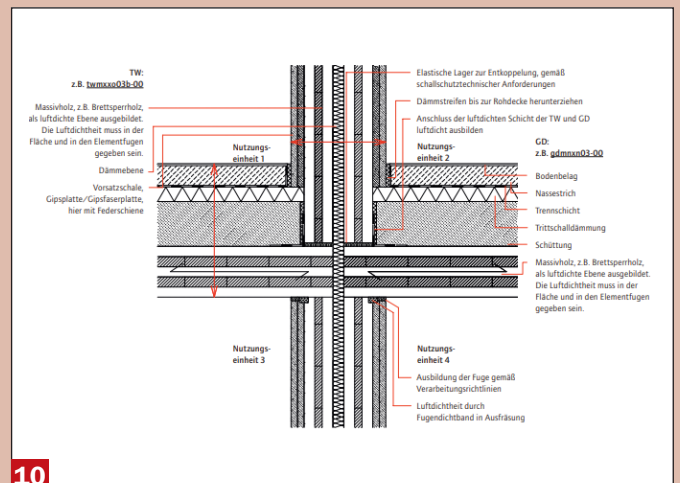
8

Knooppuntsdemping  $K_{ij}$  bij de aansluiting van een vloer die is ingeklemd tussen twee wanden. Op de vloer, onder de bovenste wand is een akoestisch oplegmateriaal toegepast. De verbindingsmiddelen zijn ook akoestisch onderbroken [8]



9

Voorbeeld van een knooppunt voor een woongebouw met een enkele wand, een vloer die is verzaard met 90 kg/m<sup>2</sup>, een akoestisch plafond en een dubbele akoestische ont-koppeling tussen vloer en wand [5]



10

Voorbeeld van een knooppunt voor een woongebouw met een dubbele wand, een vloer die is verzaard met 180 kg/m<sup>2</sup> en een enkele akoestische ont-koppeling tussen vloer en wand [5]

## CONCLUSIES

De sleutel tot een succesvol project met CLT in relatie tot geluidisolatie begint bij het volgen van een stappenplan. In relatie tot geluidisolatie is daarvoor in dit artikel een aanzet gegeven. Vanzelfsprekend dragen ook zaken zoals de constructieve veiligheid, andere bouwfysische zaken en de praktische uitvoerbaarheid daaraan bij. Een integrale benadering is noodzakelijk voor een succesvol project. De constructieve veiligheid en geluidisolatie zijn ontwerptechnisch vaak bepalend voor de samenstelling van de woningscheidende constructies.

De minimum wettelijke eisen (Bouwbesluit 2012) zijn bij (massief) houtbouwssystemen vaak geen goede maatstaf. Zeker bij luxere woningen verwachten mensen meer dan dat. Bespreek samen met de koper/gebruiker of investeerder/ontwikkelaar vooraf de streefwaarden voor geluidisolatie.

Bij CLT en -houtbouw in het algemeen - is de geluidisolatie bij lage tonen beduidend minder dan bij steenachtige bouw. Een deel van de lage tonen die in woningen ontstaan wordt niet beoordeeld door NEN 5077. Dat geldt met name bij contactgeluiden van woningscheidende vloeren en in mindere mate voor muziekgeluid. Door een uitbreiding van het spectrum, zoals dat bij het beoordelen van installatiegeluid wel gebeurt, kan dat ondervangen worden. Voor wat betreft installatiegeluid zien wij bij houtbouw overigens ook een verhoogd risico op geluidhinder als gevolg van de lage tonen die met name compressoren van warmtepompen veroorzaken.

Geluidisolatie kan voorspeld worden met behulp van NEN-EN-ISO 12354. Ook op het internet wordt veel informatie over de geluidisolatie van elementen en knooppuntsdemping gedeeld. Houdt rekening met flankerend geluidoverdracht en neem voldoende veiligheidsmarge bij de verdere uitwerking van het plan.

Het is verstandig om tijdens de realisatie van een houtbouwproject toezicht te houden op de akoestische kwaliteit van de elementen en specifiek de aansluitingen. Door het achteraf uitvoeren van geluidmetingen en het analyseren en evalueren van de resultaten wordt waardevolle informatie over het bouwen met CLT verkregen.

In een volgend artikel gaan we in op het begrip 'fire resilience' in relatie tot massief houtbouw. In dit kader alvast een voorproefje.

### 'FIRE RESILIENCE'

Wanneer een gebouw in een CLT bouwsysteem wordt opgebouwd zal deze, bij het voldoen aan de bouwregelgeving, bij brand voldoende lang in stand blijven. Echter, het is de vraag of het gebouw na een brand nog functioneel en bruikbaar is, dit noemen we ook wel "fire-resilient". Naar verwachting heeft een onbeschermde CLT-constructie na een brand onvoldoende draagvermogen in gebruikscondities en mogelijk ook onvoldoende brandwerendheid voor een eventuele volgende brand. Het is goed om hier al in het ontwerpstadium over na te denken.

Tot slot wordt opgemerkt dat houtbouw/CLT op zich niet de sleutel tot succes is. Alleen door de meerwaarde van het bouwsysteem te herkennen en te anticiperen op de wellicht 'minder goede eigenschappen' kan het materiaal op een juiste wijze worden toegepast. Pas dan is een succesvol project te realiseren. ■

### BRONNEN

- [1] Rabold, Schanda, Kollmannsberger, Rank: Schallschutz im mehrgeschossigen Holzbau", Bauingenieur
- [2] NEN-EN-ISO 12354-1, Geluidwering in gebouwen – Berekening van de akoestische eigenschappen van gebouwen met de eigenschappen van de bouwelementen – Deel 1: Luchtgeluidisolatie tussen ruimten (ISO 12354-1:2017, IDT)
- [3] NEN-EN-ISO 12354-2, Geluidwering in gebouwen – Berekening van de akoestische eigenschappen van gebouwen met de eigenschappen van de bouwelementen – Deel 2: Contactgeluidisolatie tussen ruimten (ISO 12354-2:2017, IDT)
- [4] Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Verbesserung, Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 1, Informationsdienst Holz
- [5] [www.dataholz.eu](http://www.dataholz.eu)
- [6] [www.lignumdata.ch](http://www.lignumdata.ch)
- [7] productinformatie Stora Enso
- [8] Schuwald, Kumer, Wiederin, Bleicher, Furrer: Application of elastic interlayers at junctions in massive timber buildings, International Congress on Acoustics 2019, Aachen

## WAT STOND ER 5 JAAR GELEDEN IN BOUWFYSICA?

*Is er in ons vakgebied veel veranderd, of zien we nog vaak dezelfde onderwerpen voorbij komen? Vanaf nu plaatst de redactie met enige regelmaat een 'oud' artikel om dit te onderzoeken. Deze editie is dit een kort afstudeerartikel over cellenbeton.*