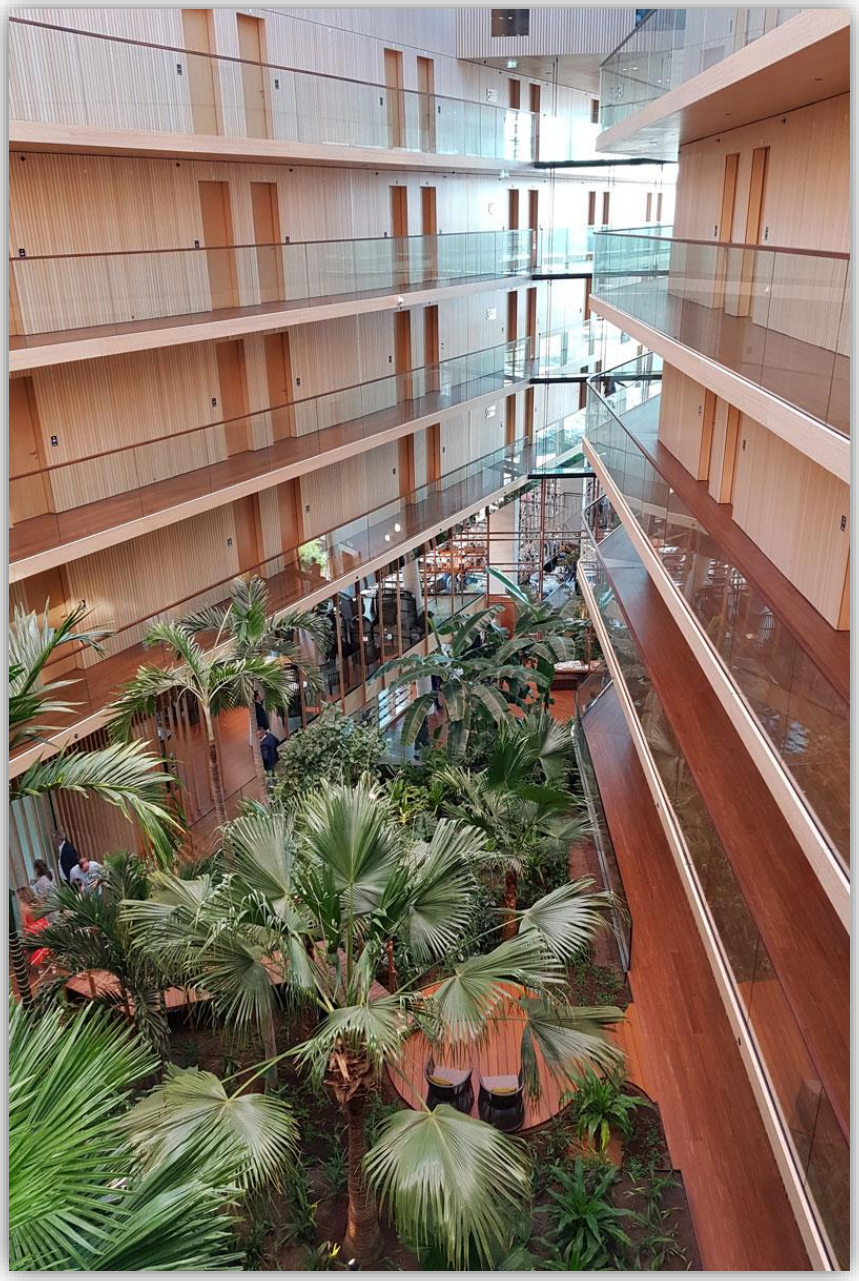
ONDERZOEKSVERSLAG

Ontwerpen met Cross Laminated Timber (CLT)

CLT, constructie, ontwerp, schroefverbindingen, hoogte



Figuur 1 - *Hotel Jakarta* (Pieters Bouwtechniek, 2016)

Naam	Arno Hilgeman	**Datum**	27-05-2019
Studentnummer	1573532	**Versie**	Definitief
Cursus	TBBE-VAFOECOS-18	**Aantal woorden**	6.000
Collegejaar	2018/2019		

Colofon

Gegevens Student

Naam	: Arie Nico (Arno) Hilgeman
Adres	: -
Telefoonnummer	: -
Studentnummer	: 1573532
Opleiding	: Bachelor Built Environment
E-mail	: arno.hilgeman@student.hu.nl
Afstudeerrichting	: Design en Constructie
Cursuscode	: TBBE-VAFOECOS-18

Gegevens Hogeschool

Naam	: Hogeschool Utrecht
Afdeling	: Instituut voor Gebouwde Omgeving (IGO)
Adres	: Padualaan 99
Postcode/plaats	: 3584 CH Utrecht

Afstudeerbegeleider

1e examinator/ begeleider

Naam	: ir. Martijn Zegers
E-mail	: martijn.zegers@hu.nl

2e examinator/ coördinator

Naam	: ir. Olaf Verschuren
E-mail	: olaf.verschuren@hu.nl

Gegevens stagebedrijf

Bedrijf	: Raadgevend ingenieursbureau Van Dijke BV
Adres	: Antonie van Leeuwenhoekweg 32E
Postcode/plaats	: 2408 AN Alphen aan den Rijn
Telefoonnummer	: 0172-495200

Begeleider van Dijke (bedrijfsbegeleider)

Naam	: ir. Gert-Jan Roos
Functie	: Raadgevend ingenieur/ bedrijfspartner
E-mail	: gertjan@vandijkebv.nl
Telefoonnummer	: -

Voorwoord

Het eindtraject van de opleiding “Bachelor Built Environment” aan de Hogeschool Utrecht (Hierna: HU), bestaat uit het opzetten en uitvoeren van praktijkgericht onderzoek. Binnen deze opleiding heb ik de specialisatie “Engineering van de compacte stad” (heet nu “Design en constructies”) gevolgd. Omdat ik in de constructieve richting wil afstuderen heb ik gericht gezocht naar een constructief vraagstuk.

Bij de organisatie “Raadgevend ingenieursbureau van Dijke BV” (Hierna: ‘van Dijke’) te Alphen aan den Rijn, lag er een vraagstuk om onderzoek te verrichten naar het toepassen van massieve houtbouwsystemen. Doordat het thema milieu en duurzaamheid erg belangrijk is en op dit moment zeer actueel is, vond ik dit een mooi onderwerp om mij in te verdiepen.

Bij dit onderzoek heb ik mij verdiept in de mogelijkheden en de beperkingen van het massieve houtbouw product “Cross Laminated Timber” (CLT). Om een goed beeld te krijgen van het product heb ik mij verdiept in de eigenschappen van dit systeem.

Ik vind het leuk om mij te verdiepen in constructieve vraagstukken waar ik nog weinig tot geen kennis van heb. Tijdens mijn opleiding heb ik praktisch geen les gehad over houtconstructies en het berekenen van deze constructies. Ik vond het dan ook erg leuk om mij te verdiepen in een houtbouwsysteem dat steeds meer in opkomst is in Nederland. Door mij in dit onderwerp te verdiepen heb ik inzicht gekregen over de manier van rekenen met hout en heb ik inzicht gekregen over het ontwerpen met CLT.

Ik wil graag de docenten van de Hogeschool Utrecht bedanken voor hun kennis, feedback en begeleiding tijden de opleiding en het afstudeertraject.

Ik wil graag van Dijke BV bedanken voor de mogelijkheid die ik heb gehad om bij hen af te studeren. Met name wil ik Gert-Jan Roos bedanken voor het begeleiden van mijn afstudeeronderzoek. Als ik tegen constructieve vragen aanliep kon ik bij hem terecht.

Uiteindelijk wil ik Hugo Immink van EkoFlin, Bas Boellaard en Ard-Jan Lootens van SolidTimber en Bertjan Kraaijeveld van IBT bedanken voor het verstrekken van informatie en het beantwoorden van mijn vragen.

Alphen aan den Rijn, mei 2019

Arno Hilgeman

Samenvatting

In het klimaatakkoord is afgesproken dat de uitstoot van broeikasgassen drastisch moet verminderen voor 2030 en 2050. Hout heeft als grote voordeel dat het meer CO_2 opslaat dan dat er CO_2 vrijkomt tijdens het verwerken van dit materiaal. Dit bouwmateriaal heeft daardoor grote potentie om een aandeel te leveren bij het behalen van dit klimaatakkoord.
Het bouwen met cross laminated timber (CLT) is nog relatief nieuw in Nederland. Daarnaast zijn er nog geen algemene rekenregels opgenomen in de Eurocode 5 om met CLT te rekenen. De vraag ontstond wat de mogelijkheden en beperkingen zijn tijdens het ontwerpen met CLT. Daarnaast vroeg men zich af tot welke hoogte er gebouwd kan worden met dit bouwsysteem, zonder dat daar andere bouwmaterialen bij gebruikt worden.

De onderzoeksvraag die is opgesteld luidt als volgt:
Tot welke hoogte kan er met systeembouw gebouwd worden in massieve houtbouw? Op welke manier hebben de constructieve ontwerpaspecten, verbindingen en brand hier invloed op?

In dit onderzoek is literatuuronderzoek uitgevoerd naar de constructieve en bouwfysische eigenschappen van het materiaal. Op constructief gebied is er onderzocht op welke manier de sterkte en stijfheid van het materiaal bepaald kan worden. Er is onderzocht op welke wijze er gebouwd kan worden met CLT en welke verbindingen daarbij gebruikt worden. Voor de verbindingen worden de schroefverbindingen verder uitgewerkt en zullen deze doormiddel van de gevonden rekenregels getoetst worden.
Vervolgens is er een casus uitgewerkt zodat de gevonden literatuur in de praktijk toegepast kan worden. Met de casus is bepaald welke afmetingen de CLT-panelen dienen te krijgen en welke schroefverbindingen toegepast dienen te worden om een stabiel gebouw te realiseren. De verbindingen zijn getoetst aan de hand van de eisen van de NEN-EN 1995-1-1 en met aanvullende literatuur die door constructeurs wordt gebruikt om met CLT te rekenen.

Uit de resultaten van de casus is gebleken dat het toepassen van CLT interessant is tot ongeveer 8 bouwlagen. Tot deze hoogte zijn er geen complexe verbindingen nodig om het gebouw te realiseren. De factor brand heeft uiteindelijk weinig invloed op het maximumaantal bouwlagen, maar het heeft wel groot effect op de opbouw van de constructie. Bij het dimensioneren van de elementen is de factor brand over het algemeen maatgevend voor het minimaal toe te passen paneeldikte. Vanaf de ontwerpfase dient er rekening gehouden te worden met geluid.
Door het lage gewicht heeft de constructie een relatief slechte geluidswering en dient daar van begin af aan rekening mee gehouden te worden in het ontwerp.
Uit dit onderzoek is gebleken dat het lichte gewicht van het constructiemateriaal kan leiden tot trekspanningen in de constructie. Wanneer dat het geval is dient er voldoende verankering aanwezig te zijn ter plaatse van de verdiepingsvloeren en de fundering. Met dit onderzoek is aangetoond tot welke hoeveelheid bouwlagen er gebouwd kan worden voordat er complexe situaties ontstaan en de schroefverbindingen, die over het algemeen worden toegepast, niet meer gebruikt kunnen worden.

In dit onderzoek zijn de trillingen en de eigen frequentie van de constructie niet meegenomen in het ontwerpproces. Dit kan echter wel effect hebben op de afmetingen van de toe te passen panelen. De kans is aanwezig dat de panelen dikker uitgevoerd dienen te worden en dat heeft effect op het eigen gewicht van de constructie. Dit heeft een positief effect op de te behalen bouwhoogte, omdat er in dat geval meer gewicht op de constructie rust en er daardoor minder trekbelasting op zal treden.

Symbolen

Symbool	**Naam**	**Eenheid**
$\sigma_{t,0,d}$	Rekenwaarde trekspanning // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{t,90,d}$	Rekenwaarde trekspanning (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{c,0,d}$	Rekenwaarde drukspanning // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{c,90,d}$	Rekenwaarde drukspanning (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{t,0,d}$	Rekenwaarde trekspanning // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
τ_d	Rekenwaarde van de afschuifspanning	N/mm²
γ_m	Partiële factor	
ρ_k	Volumieke massa	Kg/m³
A_{ef}	Effectieve contactzone bij druk loodrecht op de vezel	mm²
b_{ef}	Effectieve breedte	mm
$D_{nT,A,k}$	Karakteristieke waarde luchtgeluidisolatie	dB
$E_{0,mean}$	Elasticiteitsmodulus // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$E_{0,05}$	Elasticiteitsmodulus uiterste grens toestand	N/mm²
$E_{90,mean}$	Elasticiteitsmodulus (Loodrecht op vezel)	N/mm²
$E_{mean,fin}$	Uiteindelijke gemiddelde elasticiteitsmodulus	N/mm²
$f_{t,0,k}$	Treksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{t,90,k}$	Treksterkte (Loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$f_{t,0,d}$	Rekenwaarde treksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{t,90,d}$	Rekenwaarde treksterkte (loodrecht de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,0,k}$	Druksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,90,k}$	Druksterkte (Loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,0,d}$	Rekenwaarde druksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,90,d}$	Rekenwaarde druksterkte (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$F_{c,90,d}$	Rekenwaarde drukkracht (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$f_{m,0,k}$	Karakteristieke waarde buigsterkte	N/mm²
$f_{m,0,d}$	Rekenwaarde buigsterkte	N/mm²

$f_{v,0,k}$	Karakteristieke schuifsterkte	N/mm²
$f_{v,d}$	Rekenwaarde afschuifsterkte	N/mm²
G_k	Afschuivingsmodulus	N/mm²
$G_{mean,fin}$	Uiteindelijke gemiddelde afschuivingsmodulus	N/mm²
$G_{r,mean}$	Rolschuifmodulus	N/mm²
$k_{c,90,d}$	Rekenfactor voor splijtmogelijkheid en drukvervorming	
k_{def}	Vervormingsfactor t.b.v. kruip	
k_{mod}	Modificatiefactor	
$K_{mean,fin}$	Uiteindelijke gemiddelde verschuivingsmodulus	N/mm²
$L_{nT,A,k}$	Karakteristieke waarde contactgeluidniveau	dB
R_d	Rekenwaarde van de weerstand (sterkte)	N/mm³
R_k	Karakteristieke waarde van de weerstand (sterkte)	N/mm³
u_{inst}	Ogenblikkelijke vervorming	mm
$u_{inst,G}$	Ogenblikkelijke vervorming blijvende belasting G	mm
$u_{inst,Q1}$	Ogenblikkelijke vervorming overheersende veranderlijke belasting Q1	mm
$u_{inst,Qi}$	Ogenblikkelijke vervorming gelijktijdige veranderlijke belasting Qi	mm
u_{fin}	Uiteindelijke vervorming	mm
$u_{fin,G}$	Uiteindelijke vervorming blijvende belasting G	mm
$u_{fin,Q1}$	Uiteindelijke vervorming overheersende veranderlijke belasting Q1	mm
$u_{fin,Qi}$	Uiteindelijke vervorming gelijktijdige veranderlijke belasting Qi	mm
X_d	Rekenwaarde van een sterkte-eigenschap	N/mm²
X_k	Karakteristieke waarde van een sterkte-eigenschap	N/mm²

Tabel 1 - lijst met symbolen

Veel voorkomende afkortingen

CLT	Cross Laminated Timber
HSB	Houtskeletbouw
UGT	Uiterste grenstoestand
BGT	Bruikbaarheidstoestand
H.O.H.	Hart op hart

Inhoudsopgave

Colofon 1
Voorwoord 2
Samenvatting 3
Symbolen 4
Inhoudsopgave 6
1. Inleiding 8
1.1 Aanleiding 8
1.2 Probleemstelling 8
1.3 Doelstelling 8
1.4 Onderzoeksvragen 8
1.5 Afbakening 9
1.6 Leeswijzer 9
2. Onderzoeksmethode 10
2.1 Methode 10
3. Theoretisch kader 11
3.1 Wat is CLT? 11
3.2 Projecten in CLT 11
3.3 Constructieve eigenschappen 12
3.3.1 Materiaal 12
3.3.2 Werking 12
3.4 Bouwfysische eigenschappen 13
3.4.1 Geluid 13
3.4.2 Brand 13
3.4.3 Warmteweerstand 13
3.5 Fabricage 14
3.6 Constructieve berekeningsmethoden 14
3.6.1 Sterkte/stijfheid 14
3.6.2 Software 14
3.7 Ontwerpaspecten 15
3.7.1 Paneeldikte 15
3.7.2 Deling vloeren 15
3.7.3 Afwerking 15
4. Casus 16
4.1 Omschrijving/uitgangspunten casus 16

4.1.1 Uitganspunten 16
4.1.2 Ontwerp 16
4.2 Krachtverdeling 17
4.3 Dimensionering constructieonderdelen 17
4.4 Stabiliteit 18
4.4.1 Belastingverdeling wind 18
4.4.2 Horizontale doorbuiging 19
4.5 Belastingen 20
4.6 Verbindingen 21
4.6.1 Toetsing verbindingen 23
4.6.2 Resultaat 31
5. Conclusie en aanbevelingen 32
5.1 Conclusie 32
5.2 Discussie 33
5.3 Aanbevelingen 34
Literatuurlijst 35
Overzicht competenties 40
Bijlagen 41

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In het klimaatakkoord is vastgesteld dat de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met 49% moet zijn afgenomen en in 2050 met 95% (Rijksoverheid, 2018). Om de doelstelling van het klimaatakkoord te halen, zullen er grote veranderingen moeten plaatsvinden, zo ook in de bouwsector. In het artikel van Beyer (2010) wordt geschreven: “De energie die gebruikt wordt voor het maken van bouwmaterialen bedraagt gemiddeld 22% van de totale energie die gebruikt wordt gedurende de levensduur van een gebouw”. Dit betekent dat er veel winst te behalen is op het gebied van materiaalkeuze in de bouw.
Volgens het artikel van Michiel Haas in duurzaam gebouwd (2018), blijkt uit berekeningen dat er voor elke m^3 hout die wordt gebruikt, in plaats van steenachtig materiaal, er 2 ton CO_2 bespaard kan worden. Dit bestaat uit de besparing van CO_2-uitstoot van het productieproces en de CO_2 die het houtproduct vasthoudt (Beyer, 2010). Daarnaast is hout een hernieuwbare bron van materiaal en zal het altijd blijven bestaan, mits er goed wordt omgegaan met hout en bosbeheer.

1.2 Probleemstelling

Binnen de organisatie is er weinig kennis en ervaring met het toepassen van massieve houtbouw als constructiemateriaal. Om dit bouwsysteem toe te passen in projecten is er meer bekendheid en inzicht nodig over dit bouwsysteem. De vraag vanuit de opdrachtgever is wat de constructieve mogelijkheden en aandachtpunten zijn voor het ontwerpen met massieve houtbouw. Daarnaast was er de vraag hoe hoog er gebouwd kan worden met massieve houtbouw.

1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om inzichtelijk te krijgen welke mogelijkheden en beperkingen er zijn met het gebruik van massieve houtbouw (CLT). Er dient inzicht te worden opgedaan zodat duidelijk wordt op welke manier deze bouwsystemen toegepast kunnen worden en hoe ontworpen kan worden met CLT-bouwsystemen. Aan de hand van een casus zal worden aangetoond wat de mogelijkheden zijn met CLT-bouwsystemen en hoe hoog er gebouwd kan worden met CLT.

1.4 Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen zijn opgesteld:

<u>Hoofdvraag</u>

Tot welke hoogte kan er met systeembouw gebouwd worden in massieve houtbouw? Op welke manier hebben de constructieve ontwerpaspecten, verbindingen en brand hier invloed op?

<u>Kennisvraag</u>

Tot welke hoogte kan er gebouwd worden met CLT met schroefverbindingen?

Onderzoeksvragen (deelvragen)

1. Wat zijn massieve houtbouwsystemen?
2. Wat voor verschillende projecten zijn in massieve houtbouw (CLT) gerealiseerd?
3. Wat zijn de constructieve, bouwfysische en uitvoeringstechnische eigenschappen van CLT?
4. Welke constructieve en bouwfysische aspecten hebben invloed op het constructief ontwerp?
5. Welke constructieve verbindingen worden er toegepast bij CLT?
6. Welke berekeningsmethoden kunnen gehanteerd worden voor de constructieve berekeningen?
7. Welke beperkingen zijn er met het gebruik van massieve houtbouwsystemen?

1.5 Afbakening

In dit onderzoek wordt er geconstrueerd met CLT en wordt een hybride bouwsysteem buiten beschouwing gelaten. Er zal uitsluitend met schroefverbindingen gerekend worden. Alternatieve verbindingen zullen worden benoemd. Er wordt geen rekening gehouden met de eigen frequentie en trillingen in de constructie. Bouwfysische aspecten worden globaal meegenomen in het ontwerp, maar er zal niet uitgebreid aan gerekend worden.

1.6 Leeswijzer

Het onderzoek heeft de volgende opbouw:

- In hoofdstuk 2 zal allereerst de onderzoeksmethode omschreven worden. Er zal uitgelegd worden op welke manier het onderzoek uitgevoerd zal worden en welke stappen er genomen zullen worden.
- Hoofdstuk 3 bestaat uit het theoretisch kader. Er zal in dit hoofdstuk een samenvatting geschreven worden over het literatuuronderzoek dat is verricht.
- Hoofdstuk 4 bestaat uit de resultaten van de gemaakte casus. Aan de hand van de casus zullen mogelijkheden en beperkingen van CLT inzichtelijk worden gemaakt.
- In hoofdstuk 5 zal een conclusie geschreven worden aan de hand van de resultaten van de casus.
  Vervolgens zal in de discussie teruggekeken worden op het gedane onderzoek en zullen discussiepunten aangekaart worden. Uiteindelijk zullen er aanbevelingen gedaan worden voor vervolgonderzoek.

2. Onderzoeksmethode

2.1 Methode

Tijdens dit onderzoek zullen de mogelijkheden van het toepassen van massieve houtbouw (CLT) onderzocht worden en hoe de constructieve verbindingen hier invloed op hebben. Het gaat hier om een open vraag en daardoor is er kwalitatief onderzoek nodig. Er is informatie nodig over het onderwerp om inzicht te krijgen over het gebruik van CLT.

Doormiddel van literatuuronderzoek zullen de kenmerken van massieve houtbouw inzichtelijk gemaakt worden. Daarnaast zullen er interviews gehouden worden met deskundigen om informatie te valideren.

Nadat het theoretische kader is uitgewerkt zal er een casus uitgewerkt worden. Met behulp van deze casus zullen mogelijkheden en knelpunten in kaart worden gebracht. Er zullen diverse constructieve schroefverbindingen onderzocht worden en er zal bepaald worden hoe hoog er gebouwd kan worden met CLT.

Aan de hand van de literatuur en de resultaten van de casus, zal er een conclusie worden getrokken en een discussie worden opgesteld. Eventuele discussiepunten zullen hier worden aangekaart.

Instrumenten

Er is diverse software beschikbaar om met CLT te rekenen. De software van “CLTdesigner” van de TU Graz zal gebruikt worden voor het dimensioneren van de constructie.

Voor de interviews zullen verschillende partijen benaderd worden. Op die manier wordt er onderzocht hoe verschillende disciplines in het ontwerpproces omgaan met het ontwerpen van massieve houtbouw.

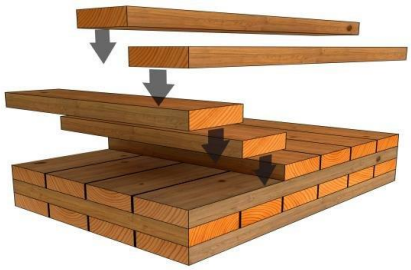
Voor de berekeningen wordt de Eurocode 5 aangehouden met aanvullende literatuur over CLT van Gagnon & Pirvu (2011), Blaß en Uibel (2012) en Walner-Novak, Koppelhuber en Pock (2014).

3. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van het literatuuronderzoek dat is verricht. In bijlage A.1 is het volledige literatuuronderzoek opgenomen.

3.1 Wat is CLT?

Cross Laminated Timber (CLT), of ook wel kruislaaghout (KLH), bestaat uit kruislings verlijmde houten lamellen. Door de lamellen kruislings te verlijmen kunnen er massieve panelen gecreëerd worden die worden toegepast voor vloeren, daken en wanden. Volgens KLH Massivholz GmbH (2013) heeft de kruislingse verlijming een positief effect op de maatvastheid van het materiaal. De krimp en de uitzetting van het materiaal zijn door het kruislings verlijmen van de lamellen minimaal. De panelen kunnen variëren van minimaal 3 lagen lamellen tot wel 11 lamellen.



Figuur 2- Opbouw CLT-plaat. *Further development of Cross-Laminated Timber (CLT) (Buck, Wang, Hagman, & Gustafsson, 2016).*

3.2 Projecten in CLT

Bij de meeste projecten wordt de onderliggende constructie tot en met de 1e verdieping uitgevoerd in beton. In het artikel van Tom Ravenscroft (2017) wordt er geschreven dat de meeste gebouwen die uit hout bestaan wel een basis hebben van beton, zodat er geen hout langdurig in aanraking komt met vocht. Beton wordt ook toegepast om het gebouw meer massa te geven en omdat het op akoestisch gebied positief werkt.



Figuur 3- *Stadthaus, Murray Grove, London* (TRADA technology, 2009).



Figuur 4- *Haut aan de Amstel* (Haut Amsterdam, z.d.).

De stabiliteit wordt op verschillende manieren gewaarborgd. Er zijn projecten waar een betonnen kern in het gebouw is geplaatst die voor stabiliteit zorgt, maar er zijn ook diverse projecten waar de stabiliteit wordt gewaarborgd door een kern die is uitgevoerd in CLT of door CLT-wanden.

3.3 Constructieve eigenschappen

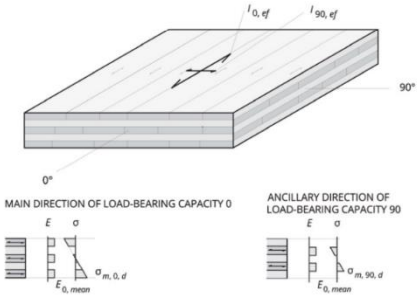
Om te ontwerpen met CLT is het noodzakelijk om te begrijpen welke constructieve eigenschappen het materiaal heeft.

3.3.1 Materiaal

Hout is anisotroop materiaal. Dit houdt in dat de eigenschappen van het materiaal verschillend zijn in de verschillende richtingen van de houtdoorsnede (Anisotroop, z.d.). De maximaal toelaatbare trek- en drukspanningen evenwijdig aan de vezelrichting zijn een stuk hoger dan loodrecht op de vezelrichting.
Uit de literatuur en interviews blijkt dat houtsterkte klasse C24 over het algemeen wordt toegepast voor CLT (Bouwtotaal, 2017).

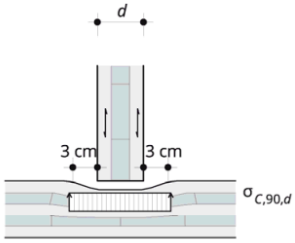
3.3.2 Werking

Bij de vloerelementen werken de lamellen, waarbij de houtvezel evenwijdig georiënteerd is aan de overspanningsrichting, mee om de belasting te dragen. In figuur 5 is het spanning-rek diagram te zien die geldt voor een CLT-element die op buiging wordt belast.

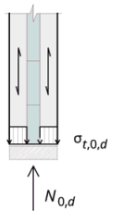


Figuur 5- Spanning in vloerplaat. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

De verticale belasting die op een wandelementen rust, wordt grotendeels gedragen door de lamellen die evenwijdig zijn georiënteerd aan de overspanningsrichting van het wandelement. De belasting wordt over deze netto oppervlakte verdeeld. In figuur 7 is te zien wat de spanningsverdeling is van de wanddoorsnede.



Figuur 6- Verdeling belasting loodrecht op de vezelrichting. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).



Figuur 7- Spanning in wandschijf evenwijdig aan de vezelrichting. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

Als een wand op een plaat wordt geplaatst zal er belasting loodrecht op de vezel plaatsvinden. Zodra deze belasting uit druk zal bestaan, wordt de belasting als in figuur 6 verdeeld.
Aan elke zijde van de wanddoorsnede, waar een vloerpaneel aanwezig is, mag er 30mm opgeteld worden bij de breedte van het element om de effectieve oppervlakte te bepalen.

3.4 Bouwfysische eigenschappen

Het gemaakte ontwerp dient te voldoen aan de eisen van het bouwbesluit. In bijlage A.1.4 zijn de eisen opgenomen waar een ontwerp aan dient te voldoen.

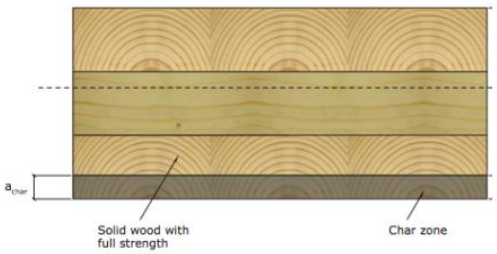
3.4.1 Geluid

Volgens de presentatie van Starink van Nieman (2015) is er een massa nodig van 550 kg/m² om te voldoen aan de luchtgeluidisolatie eisen en 800 kg/m² om te voldoen aan de contactgeluidisolatie eisen. Door het lage eigengewicht van hout (+/-400 kg/m³) is het in de praktijk niet haalbaar om aan deze eisen te voldoen zonder maatregelen te treffen. Er zijn diverse maatregelen die genomen kunnen worden om de geluidsprestaties te verbeteren, zoals:

- Het plaatsen van een voorzetwand.
- Het creëren van een gescheiden constructie.
- Het toepassen van een zwevende dekvloer.
- Het toepassen van een verlaagd/systeem plafond.
- Het toepassen van geluiddempende kunststofplaatjes onder de wanden.

3.4.2 Brand

Hout heeft als eigenschap dat het brandbaar materiaal is. Zodra het hout begint in te branden verzwakt de constructie doordat er materiaal verloren gaat. De rand van het houten paneel zal verkolen naarmate de brandtijd verstrekt. Deze verkoolde laag werkt vervolgens als isolerende laag die de rest van het hout beschermd tegen de brand (Newcraft, 2018; De Groot Vroomshoop, 2017; AKV-houtbouw, z.d.). Volgens de Eurocode bedraagt de inbrandsnelheid van CLT ongeveer 0,65mm/min (Bouwtotaal, 2017).



Figuur 8- Koolvorming hout. *Brandwerendheid* (Newcraft, 2018).

3.4.3 Warmteweerstand

Hout heeft als eigenschap dat het van nature een relatieve goede warmteweerstand heeft. Uit de specificaties blijkt dat CLT een lambda waarde heeft van ongeveer 0,11-0,13 W/m.K (De Groot Vroomshoop, 2017; Cross Timber Systems, 2016). Om aan de warmteweerstand eisen te voldoen is het echter wel nodig om isolerend materiaal toe te passen.

3.5 Fabricage

De CLT-panelen worden geprefabriceerd. In de fabriek worden de lamellen onder hoge druk aan elkaar verlijmd en worden de benodigde sparingen en eventuele kabelsleuven in het paneel aangebracht. De panelen kunnen vaak geleverd worden tot een maximale afmeting van ongeveer 3mx20m (bxl). Het materiaal is zeer maatvast. Uit verschillende literatuur en interviews is gebleken dat daardoor een maattolerantie van 1 á 2mm voldoende is bij CLT-constructies (Aangenamer bouwen, 2015).

3.6 Constructieve berekeningsmethoden

CLT is tot op heden nog niet opgenomen in de Eurocode, maar naar verwachting zal deze in 2020 in de NEN-EN 1995 worden opgenomen. Er zijn diverse rekenmethodes opgesteld waarmee gerekend kan worden met CLT. Volgens het CLT-handbook van Gagnon en Pirvu (2011) zijn er verschillende methodes om de stijfheid van de doorsnede te bepalen en om de optredende spanning te bepalen.

3.6.1 Sterkte/stijfheid

Om de buigsterkte en stijfheid te bepalen van een CLT-element zijn er volgens het CLT-handbook van Gagnon en Pirvu (2011) een drietal berekeningsmethoden die gebruikt kunnen worden, namelijk:

1. De gamma methode (Op basis van "*Mechanisch verbonden liggers"* Bijlage B NEN-EN 1995-1-1).
2. De K-methode (Composite Theory, Timoshenko).
3. Analoge afschuif methode

In bijlage A.2 zal aan de hand van een voorbeeld het verschil in berekeningen aangetoond worden. In bijlage A.1 zijn de rekenmethodes gedetailleerd opgenomen.

Voor de sterktetoetsing zullen de toetsingsregels van de NEN-EN 1995-1-1 aangehouden worden. Uit de interviews is gebleken dat het artikel Proholz van Walner-Novak, Koppelhuber & Pock (2014) door constructeurs wordt gebruikt om CLT-constructies te berekenen.

3.6.2 Software

Er zijn diverse softwarepakketten beschikbaar die zijn ontworpen om met CLT te rekenen, zoals: CLT-designer, Calculatis en RFlaminate.

CLT-designer is ontwikkeld door de TU Graz in samenwerking met verschillende CLT-leveranciers. Dit programma berekent CLT-elementen op basis van de Eurocode en nationale bijlagen. Dit programma zal worden gebruikt voor het dimensioneren van de CLT-panelen. Doormiddel van een handberekening en vergelijking is deze software getoetst (bijlage A.2)[1].

[1] Competentie kritisch

3.7 Ontwerpaspecten

3.7.1 Paneeldikte

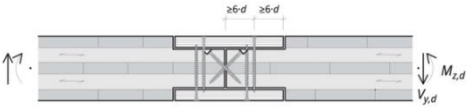
Naast de constructieve eisen zijn er andere aspecten die bepalend zijn voor het dimensioneren van de panelen. Men dient na te gaan of het wenselijk is of het CLT-paneel nog afgewerkt wordt of dat het hout in het zicht blijft. Wanneer het paneel niet wordt afgewerkt dient deze de gehele brandwerendheid op zich te nemen. In tabel 2 is weergeven welke paneeldikte er in dat geval minimaal nodig is. Wanneer er een afwerking wordt toegepast, zal deze meewerken in de brandwerendheid. Daardoor zal het paneel niet de gehele brandduur aangetast worden door het vuur en kan deze dunner uitgevoerd worden. Wanneer er schroeven in het vlak van de wand worden toegepast, kan dit effect hebben op de minimaal toe te passen wanddikte. De schroeven hebben namelijk een minimale afstand nodig vanaf de randen van de wand. De minimale schroefafstanden zijn opgenomen in bijlage 7.1.

Brandwerendheideis (Minuten)	Minimale paneeldikte (mm)
60	120
90	160
120	200

Tabel 2- Minimale wanddikte bij onbeklede CLT-panelen

3.7.2 Deling vloeren

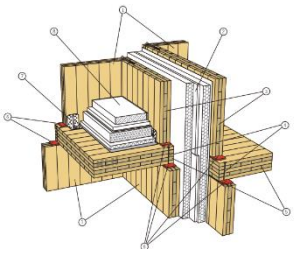
Er zijn verschillende manieren om de vloeren aan elkaar te koppelen. Er kan voor gekozen worden om de vloerdeling onder een wand plaats te laten vinden. Dit heeft echter gevolgen voor de toe te passen wanddikte i.v.m. de minimale schroefafstanden. De deling van de vloeren kan ook in het veld worden aangebracht. De koppeling die in dat geval wordt toegepast dient de dwarskrachten en de momenten die in de vloer optreden op te kunnen nemen. Deze vloerkoppeling is ook nodig om de vloer als één schijf te laten werken. Daardoor zullen er schuifspanningen vanuit de wind in de vloerkoppeling optreden en deze dienen opgenomen te worden door de verbinding. In figuur 9 is weergeven hoe deze verbinding uitgevoerd kan worden.



Figuur 9- Vloer-vloerverbinding. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

3.7.3 Afwerking

Een afwerking kan gebruikt worden ter plaatse van de vloer of de wand om de geluidswering en/of brandwerendheid van de constructie te verbeteren. Het nadeel is echter dat er dan veel handelingen op de bouw moeten gebeuren en dat kost veel geld. Wanneer het wenselijk is dat de wanden en het plafond in het zicht blijven is het noodzakelijk dat deze onderdelen dikker worden uitgevoerd om aan de brandwerendheideisen te voldoen. Daarnaast dienen er maatregelen genomen te worden om de constructie te laten voldoen aan de geluidseisen. Wanneer de wanden onbekleed worden uitgevoerd, is het noodzakelijk dat er een gescheiden constructie wordt toegepast om aan de geluidseisen te voldoen. Dit houdt in dat er twee CLT-panelen worden geplaatst met daartussen een spouw waar isolatie en gipsplaten in geplaatst kunnen worden (figuur 10). Het nadeel van een onbeklede constructie is echter dat de leidingen in de wand verwerkt dienen te worden. Dit kan gerealiseerd worden door sleuven in het paneel te frezen en daar de leidingen in te verwerken. Het is echter in de uitvoering noodzakelijk dat dit netjes wordt afgewerkt. Daarnaast zijn de toe te passen verbindingen beperkt, omdat deze uit het zicht moeten blijven.



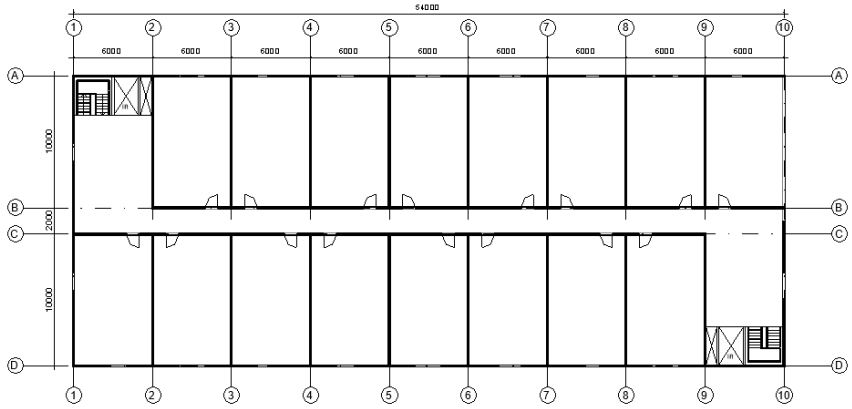
Figuur 10- Gescheiden constructie. *Component catalogue for multi-storey residential buildings.* (KLH Massivholz GmbH, 2012).

4. Casus[2]

4.1 Omschrijving/uitgangspunten casus

4.1.1 Uitganspunten

De casus betreft een appartementencomplex. Het gaat om een rechthoekig gebouw met de afmetingen 22x54m (b*l) en een verdiepingshoogte bedraagt 3,2m.



Figuur 11- Plattegrond casus

Volgens het Bouwbesluit (2018) geldt voor hoofddraagconstructies van gebouwen die hoger gaan dan 13m en een woonfunctie hebben, dat deze moeten voldoen aan een brandwerendheid van 120 minuten. Elke wand is onderdeel van de hoofddraagconstructie en dient, volgens artikel 2.10 van het bouwbesluit, aan deze eisen te voldoen.

4.1.2 Ontwerp

Om de constructie te laten voldoen aan de gestelde geluidseisen worden de volgende maatregelen genomen:

- Verlaagd plafond
- Droge afwerkvloer
- Voorzetwanden

Element	Brandwerendheid (minuten)
Vloerafwerking	55
Verlaagd plafond	81
Voorzetwand	72

Tabel 3- Brandwerendheid van afwerkelementen

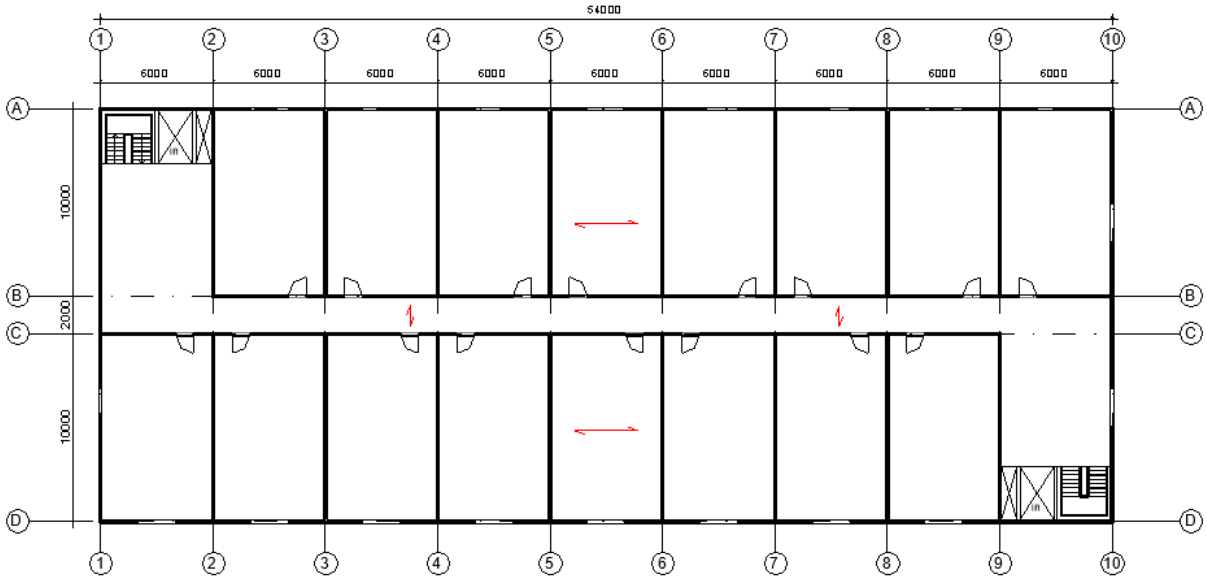
Onder de vloer wordt een verlaagd plafond toegepast. Daardoor wordt de brandwerendheid van de constructie vergroot en is het mogelijk om leidingen weg te werken. Voor de wanden wordt een voorzetwand toegepast. Deze voorzetwanden bestaan uit houten stijlen, steenwol en een gipsplaat.

Er wordt voor gekozen om afwerking toe te passen om de volgende redenen.
De voorzetwanden en het verlaagde plafond worden gebruikt om de geluid- en brandwering van de constructie te verbeteren. De brandwerendheid van de onderdelen is in bijlage B.3 berekend en is weergeven in tabel 3. Daarnaast kunnen de leidingen eenvoudig in de wand verwerkt worden. Het voordeel van het toepassen van de leidingen in de afwerking is dat deze uit het zicht worden geplaatst, de constructie niet verzwakt hoeft te worden en zodra er leidingen vervangen dienen te worden kunnen deze relatief eenvoudig benaderd worden. Daarnaast heeft het toepassen van een afwerking het voordeel dat de verbindingen uit het zicht worden verwerkt. Het nadeel is echter dat het arbeidsintensief is om alle afwerking te plaatsen[3].

[2] Competentie vakmanschap
[3] Competentie oordeelsvorming

4.2 Krachtverdeling

Doordat de vloer doorlopend is, wordt de vloer aanschouwd als een doorgaande ligger. De belastingafdracht per wand zal daardoor verschillen. In figuur 12 is de plattegrond van de casus opgenomen met de overspanningsrichting van de vloer.



Figuur 12- Krachtsafdracht vloer

4.3 Dimensionering constructieonderdelen

In bijlage B.4 is de invoer opgenomen voor het dimensioneren van de constructieonderdelen. De panelen zijn berekend met behulp van CLTdesigner van de TU Graz. De desbetreffende constructieonderdelen zijn als volgt gedimensioneerd:

Constructieonderdeel	Dikte
Dak	160mm
Verdiepingsvloer	180mm
Wanden	Min. 140mm

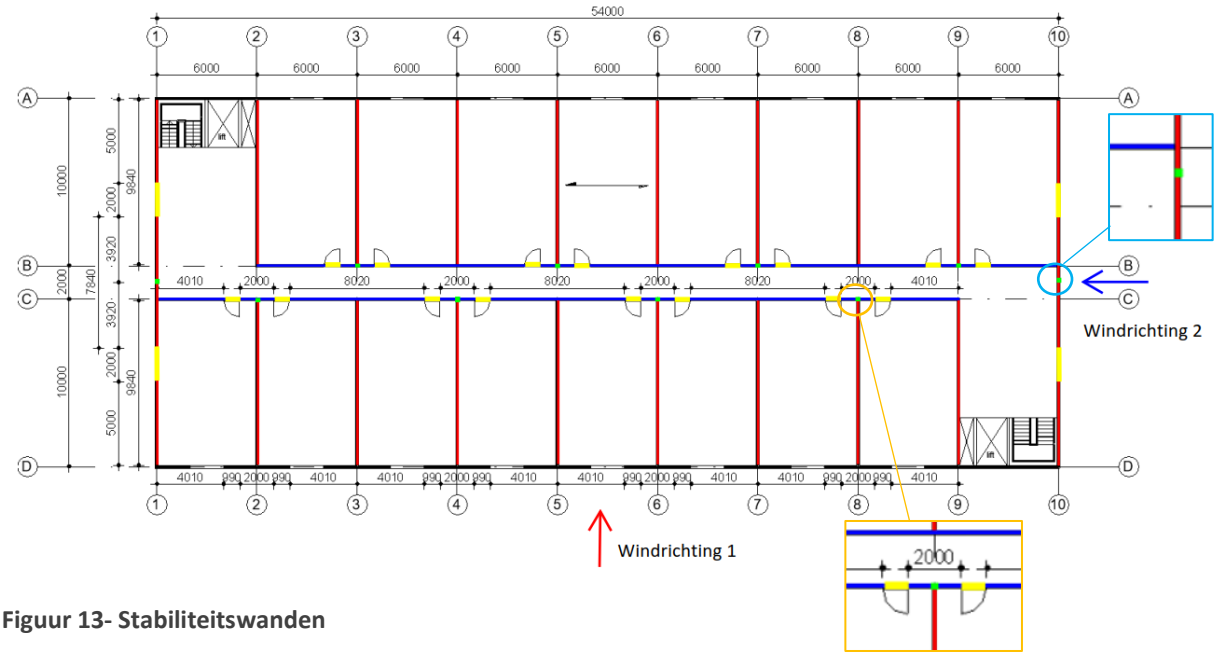
Tabel 4- Dimensionering elementen

4.4 Stabiliteit

4.4.1 Belastingverdeling wind

De vloer werkt als een schijf en verdeeld de windbelasting op basis van stijfheid over de stabiliteitswanden. De schijfwerking van de vloer wordt gerealiseerd door de vloerplaten aan elkaar te koppelen zoals in figuur 9 is weergeven. In Bijlage B.5 is de verdeling van de windbelasting berekend.

In windrichting 1 worden de woningscheidende wanden en de kopgevels uitgevoerd als stabiliteit wanden (in figuur 13 aangegeven in rood). De woningscheidende wanden bestaan uit één paneel en de kopgevels bestaan uit 2 panelen. In windrichting 2 zorgen de wanden die de woning scheiden met de hal voor de stabiliteit (in figuur 13 aangegeven in blauw). De langsgevels op stramen A en D worden niet meegenomen voor de stabiliteit. Hier is voor gekozen omdat het wenselijk kan zijn dat er grote glazen puien toegepast worden in de gevel. Er zijn diverse sparingen in de panelen aanwezig die ervoor zorgen dat er stijfheid verloren gaat (in figuur 13 aangegeven in geel). Doordat er meerdere losse panelen worden geplaatst, zijn er verschillende plekken waar twee losse panelen samenkomen en dus los van elkaar werken (in figuur 13 aangegeven in groen).



Figuur 13- Stabiliteitswanden

Onderdeel	
Stab.wand windrichting 1	
Stab.wand windrichting 2	
Samenkomst panelen	
Sparing	

Tabel 5- Legenda

Uit de vergelijking van bijlage B.5.2 blijkt dat het gunstig is om de panelen aan de kop van het gebouw met elkaar te koppelen, maar dat het koppelen van de wanden in windrichting 2 niet veel effect heeft. Er wordt voor gekozen om de panelen in de kopgevels in windrichting 1 te koppelen, maar de wanden in windrichting 2 niet.

4.4.2 Horizontale doorbuiging

In de bruikbaarheidstoetstand mag het gebouw maximaal 1/500 van de hoogte doorbuigen. Om de maximale doorbuiging van het gebouw te bepalen wordt de volgende vergelijking gebruikt:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

Waarbij:

$$\delta_1 = \frac{M}{C} * l$$

$$\delta_2 = \frac{q*l^4}{8EI}$$

Waarbij:

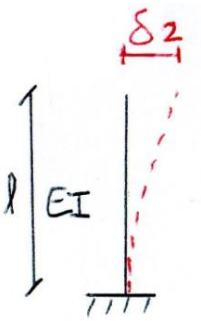
$E = E_{0,mean} = 11.000\ N/mm^2$

$$I = \frac{1}{12} * d_{0,net} * b^3$$

$d_{0,net}$ = Totale dikte van de lamellen die evenwijdig georiënteerd zijn aan de overspanningsrichting van de wand.



Figuur 15- Doorbuiging δ_1

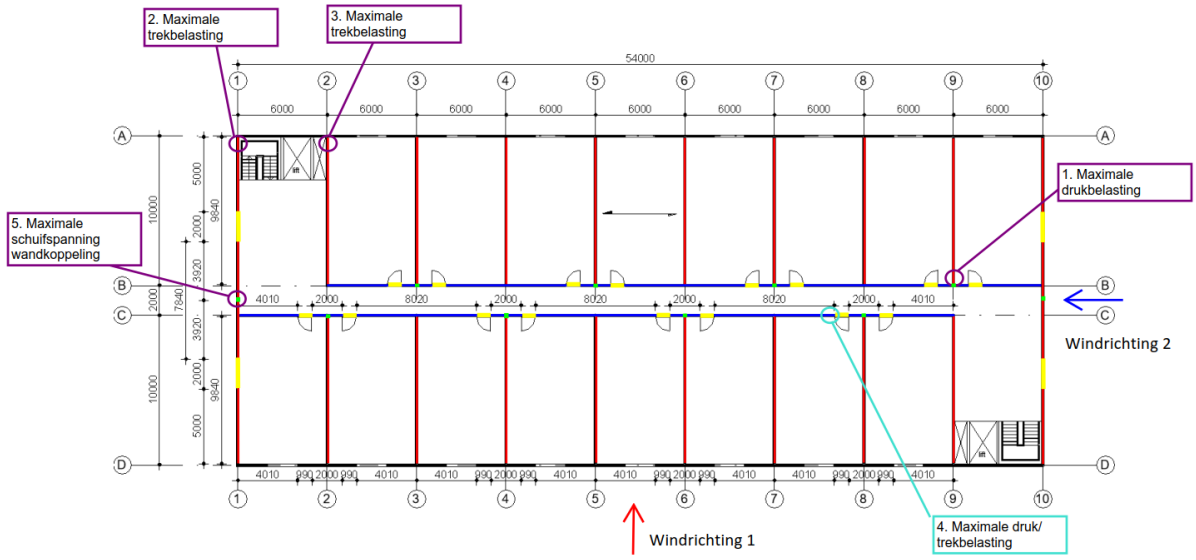


Figuur 14- Doorbuiging δ_2

De rotatieveerconstantie “C” wordt bepaald aan de hand van de onderliggende fundering. In bijlage B.4 is een aanname gedaan voor de onderliggende fundering en is de rotatieveerconstante bepaald. In bijlage B.5.3 is de windbelasting per wand bepaald. In bijlage B.5.4 is de doorbuiging per wanddikte per x aantal bouwlagen opgenomen. In tabel 9 en 10 van deze bijlage is te zien dat de doorbuiging in alle gevallen voldoet.

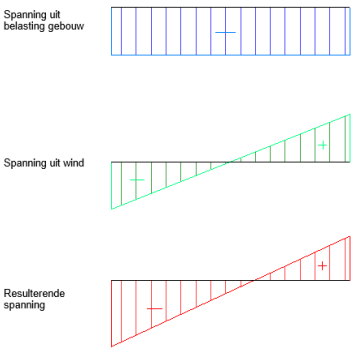
4.5 Belastingen

In figuur 16 is aangegeven op welke plekken de grootste spanningen ontstaan in de constructie. Dit is bepaald aan de hand van de gewichtsberekening die in bijlage B.6 is opgenomen.

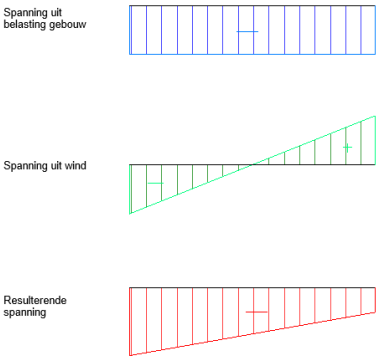


Figuur 16- Locatie maximale spanningen

De optredende belasting wordt bepaald aan de hand van de belasting vanuit het gebouw die op de dragende wanden staan en de windbelasting die via de wanden wordt afgedragen. De windbelasting zorgt ervoor dat er extra druk- of trekspanningen ontstaan. Zodra de trekbelasting vanuit de wind groter is dan de drukbelasting van het gebouw, zullen er trekspanningen aanwezig zijn die opgenomen dienen te worden door ankers.



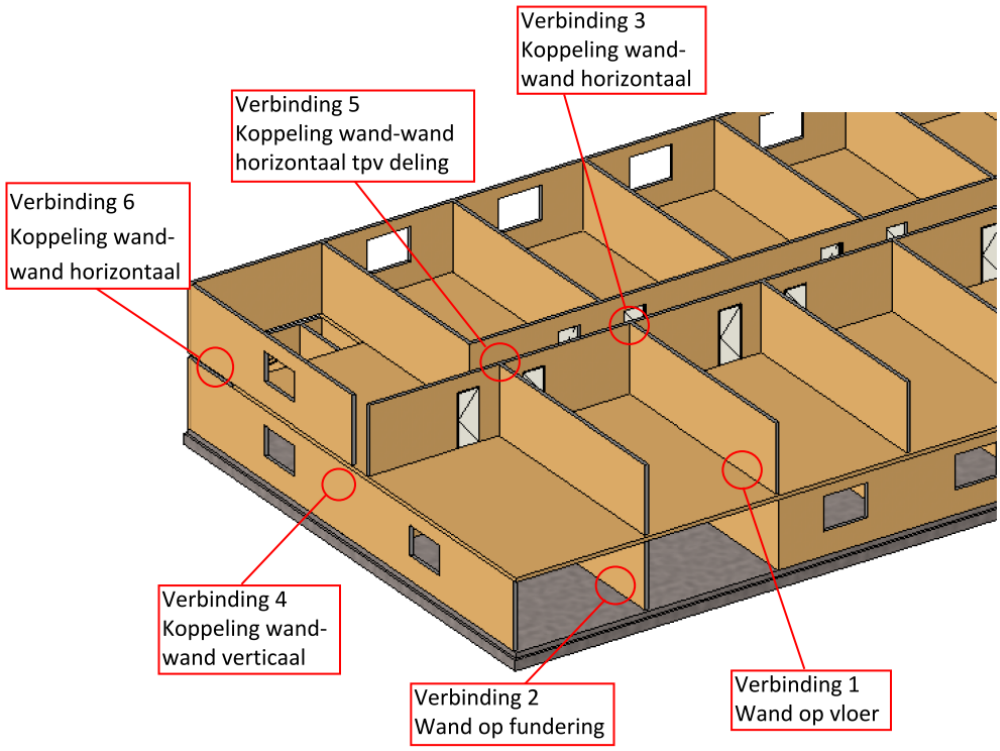
Figuur 18- Spanning principe trekspanningen



Figuur 17- Spanning principe drukspanningen

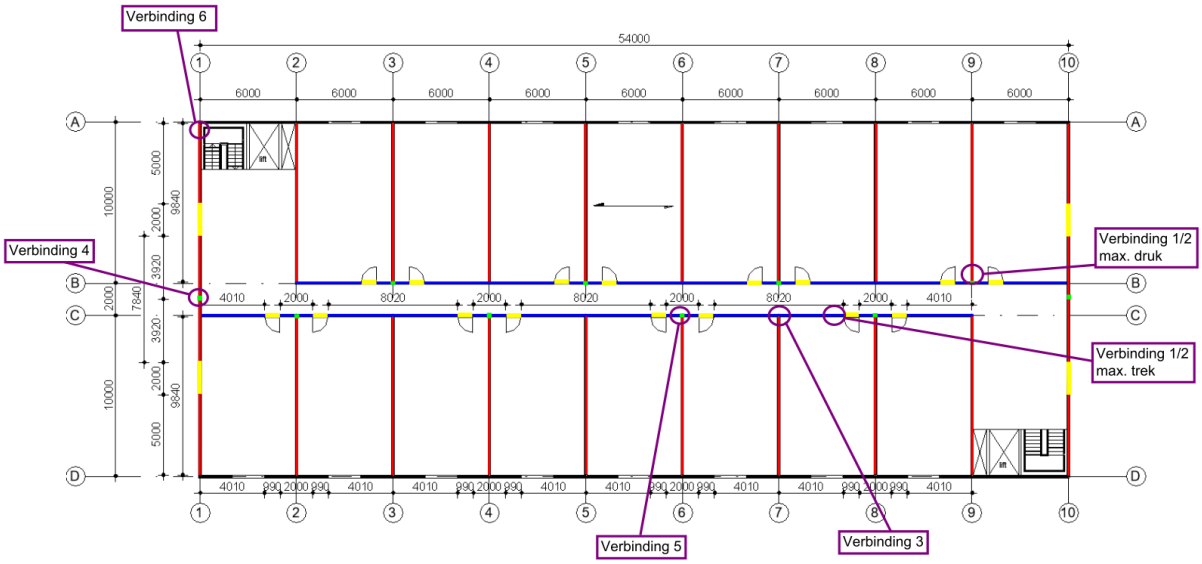
4.6 Verbindingen

In figuur 19 is weergeven welke verbindingen cruciaal zijn voor het ontwerpen met CLT. Aan de hand van de maatgevende verbindingen zullen de resultaten van de optredende spanningen vergeleken worden met de maximaal opneembare belastingen van de verbindingen (bepaald in bijlage B.7).



Figuur 19- Cruciale verbindingen

In figuur 20 zijn de locaties van de maatgevende belastingen opgenomen. De verbindingen zullen op deze locaties worden getoetst.



Figuur 20- Locaties van getoetste verbindingen

Verbinding 1 – Verbinding wand/verdiepingsvloer

Verbinding 1 bestaat uit twee delen, namelijk: het koppelen van de wanden aan de verdiepingsvloer en het koppelen van de verdiepingsvloer aan de onderliggende wand. Deze verbinding zal getoetst moeten worden op verschillende punten, namelijk:

- Druksterkte hout.
- Stuiksterkte van de staalplaatverbinding naar aanleiding van horizontale schuifkracht van de wind.
- Treksterkte van de schroeven naar aanleiding van de trekbelasting.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand naar aanleiding van de trekbelasting.

Verbinding 2 – Verbinding wand/fundering

Ter plaatse van verbinding 2 zullen de wanden gekoppeld worden aan de fundering. Deze verbinding zal getoetst moeten worden op dezelfde punten als verbinding 1.

Verbinding 3 – Wandkoppeling horizontaal

Verbinding 3 bestaat uit het koppelen van de stabiliteitswand aan een stabiliteitswand die dwars op de wand staat. Ter plaatse van verbinding 3 zal de verbinding belast worden met horizontale schuifkrachten uit de wind.

Verbinding 4 – Wandkoppeling verticaal

Ter plaatse van verbinding 4 zal er een koppeling uitgevoerd worden tussen twee CLT-panelen. Door de panelen met elkaar te koppelen zal dat wandgedeelte als één geheel werken. De wand zal daardoor meer belasting naar zich toe trekken, maar doordat de lengte van de wand groter wordt zal de belasting beter worden verdeeld. De verbinding zal horizontale en verticale schuifkrachten op moeten nemen.

Verbinding 5 – Wandkoppeling horizontaal bij deling

Verbinding 5 bestaat uit het koppelen van stabiliteitswanden aan de wand die dwars staat ter plaatse van de deling in windrichting 2. Ter plaatse van deze verbinding zal er enkel horizontale schuifkracht opgenomen moeten worden.

Verbinding 6 – Verbinding wand t.p.v. sparing

Verbinding 6 bestaat uit het koppelen van de wanden ter plaatse van de sparing. Er is daar geen vloer aanwezig waar de wanden aan gekoppeld kunnen worden. De wanden zullen op een gelamineerde houten balk geplaatst worden.

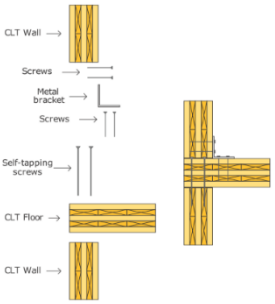
4.6.1 Toetsing verbindingen

In deze paragraaf zal het resultaat worden weergeven van de toetsing van de verbindingen. De sterkte van de verbindingen is bepaald in bijlage B.7. In bijlage B.8 is vastgesteld wat de grootste belastingen zijn die de verbindingen op dienen te nemen. Aan de hand van deze belastingen is bepaald hoeveel verbindingsmiddelen er toegepast moeten worden per x aantal bouwlagen om de belasting op te kunnen nemen. Wanneer er meerdere belastingen optreden in een verbinding (verbinding 1, 2, 4 en 6) zal er een extra controle berekening gemaakt worden waarbij de belastingen worden gecombineerd. In tabel 6 is weergeven tot welk aantal bouwlagen de druk loodrecht op de houtvezel maatgevend is per wanddikte. Aan de hand van deze uitkomst is de minimaal benodigde h.o.h.-afstand van een verbinding bepaald per wanddikte bij het maximaal aantal toe te passen bouwlagen.

Verbinding 1

Druk loodrecht op de houtvezel

Zodra de maximale spanning loodrecht op de houtvezel wordt overschreden kan ervoor gekozen worden om een dikker wandpaneel toe te passen, zodat de spanning over een groter oppervlak wordt verspreid. De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een korte belastingduur van wind (k_{mod} 0,9):



Figuur 21- Wand/verdiepingsvloer verbinding. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

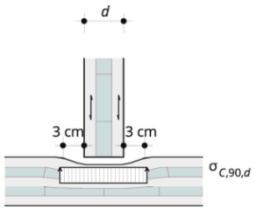
$$f_{c,90,d} = 0{,}9 * \frac{2{,}5}{1{,}25} = 1{,}8\ N/mm^2$$

De druk loodrecht op de vezel dient aan de volgende eis te voldoen:

$$f_{c,90,d} \geq \frac{q_{ed}}{A_{eff}}$$

Waarbij:

$$A_{eff} = Effectieve\ oppervlakte$$
$$= b * (wanddikte + (2 * 30mm))$$



Figuur 22- Effectieve oppervlakte. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

In tabel 6 is met 'x' aangegeven welke wanddiktes toegepast kunnen worden bij de verschillende toegepaste bouwlagen op basis van de maximale drukspanning loodrecht op de houtvezel.

Wanddikte (mm)	Aantal bouwlagen							
	6	7	8	9	10	11	12	13
140	X	X	X					
160	X	X	X	X				
180	X	X	X	X				
200	X	X	X	X	X			
220	X	X	X	X	X			
240	X	X	X	X	X	X		
260	X	X	X	X	X	X		
280	X	X	X	X	X	X	X	
300	X	X	X	X	X	X	X	
320	X	X	X	X	X	X	X	
340	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabel 6- Minimale wanddikte per x aantal bouwlagen

Wand-op-vloerverbinding

Dit is de verbinding ter plaatse van de wand op de verdiepingsvloervloer. De stuiksterkte ten gevolge van de trekbelasting van de schroeven in de wand is maatgevend bij de staalplaatverbinding. De staalplaten zullen aan beide zijde van de wand geplaatst worden. Tabel 7 geeft aan wat de minimale h.o.h.-afstand van de staalplaten dient te zijn om te voldoen.



Figuur 23- Staalplaatverbinding. *Handbook for CLT-buildings* (Rothoblaas, 2017, p. 72).

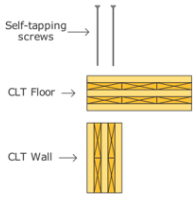
Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	700mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Waarbij VN = Voldoet niet

Tabel 7- Minimale h.o.h.-afstand staalplaten

Vloer-op-wandverbinding

Bij de vloer op wand verbinding is de treksterkte van de schroeven maatgevend. In onderstaande tabel is de benodigde h.o.h.-afstand opgenomen om de trekbelasting op te nemen. In tabel 8 is weergeven wat de minimale h.o.h.-afstand van de schroeven dienen te zijn om te voldoen.



Figuur 24- Vloer/wandverbinding. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Wand-dikte	Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	200mm	110mm	VN					
	2x	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.					
160	1x	200mm	110mm	VN	VN				
	2x	450mm	250mm	200mm	110mm				
180	1x				VN				
	2x				110mm				
200	1x					VN			
	2x					110mm			
220	1x					VN			
	2x					110mm			
240	1x						VN		
	2x						VN		
260	1x						VN		
	2x						VN		
280	1x							VN	
	2x							VN	
300	1x							VN	
	2x							VN	
320	1x							VN	
	2x							VN	
340	1x								VN
	2x								VN

Waarbij VN = Voldoet niet

Tabel 8- Minimale h.o.h.-afstand schroeven

Verbinding 2

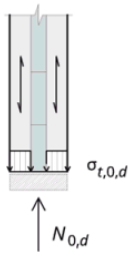
Druk evenwijdig aan de houtvezel

De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een korte belastingduur van wind (k_{mod} 0,9):

$$f_{c,90,d} = 0{,}9 * \frac{21}{1{,}25} = 15{,}12\ N/mm^2$$

De druk evenwijdig aan de vezel dient aan de volgende eis te voldoen:

$$k_c * f_{c,90,d} \geq \frac{q_{ed}}{A_{net}}$$



Figuur 25- Netto-oppervlakte. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

Waarbij:

A_{net} = Netto-oppervlakte. Dit zijn de lamellen die evenwijdig georiënteerd zijn aan de belastingafdracht.

k_c = Knikfactor

Uit de berekening van bijlage B.8.3.2 blijkt dat de druk evenwijdig aan de vezelrichting in geen geval maatgevend is.

Treksterkte

Voor deze verbinding zijn er twee mogelijkheden om de trekkrachten op te nemen, namelijk:

- Staalplaten
- Stalenplaatankers

Staalplaten

Bij de staalplaten is de treksterkte van de betonankers maatgevend. In onderstaande tabel is opgenomen welke h.o.h.-afstand van de staalplaten nodig is om de trekbelasting op te nemen. Tabel 9 geeft weer wat de minimale h.o.h.-afstand van de staalplaten dient te zijn om te voldoen.



Figuur 26- Staalplaatverbinding. *Handbook for CLT-buildings* (Rothoblaas, 2017, p. 22).

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	600mm	400mm	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Waarbij VN = Voldoet niet

Tabel 9- Minimale h.o.h.-afstand staalplaten

Stalenplaatankers

De stuiksterkte van de schroeven in de wand die belast worden op trekbelasting is bij deze verbinding maatgevend. De benodigde h.o.h.-afstand van deze verbinding is in onderstaande tabel opgenomen. Tabel 10 geeft weer wat de minimale h.o.h.-afstand van de staalplaatankers dient te zijn om te voldoen.



Figuur 27- Stalen-plaatankerverbinding. *Handbook for CLT-buildings* (Rothoblaas, 2017, p. 20).

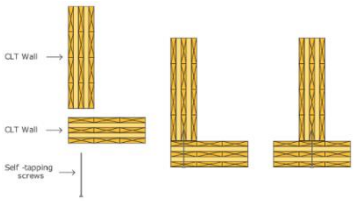
Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	900mm	600mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Waarbij VN = Voldoet niet

Tabel 10- Minimale h.o.h.-afstand stalenplaatankers

Verbinding 3

In tabel 11 is opgenomen welke h.o.h.-afstand er nodig is van de schroeven om de horizontale schuifkracht op te nemen.



Figuur 28- Horizontale wandkoppeling. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

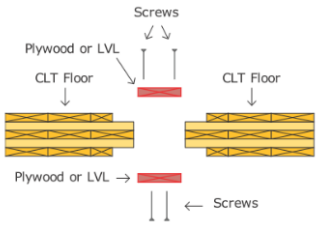
Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	150mm	150mm	100mm					
160				100mm				
180				100mm				
200					100mm			
220					100mm			
240						50mm		
260						50mm		
280							50mm	
300							50mm	
320							50mm	
340								50mm

Tabel 11- H.o.h.-afstand schroeven

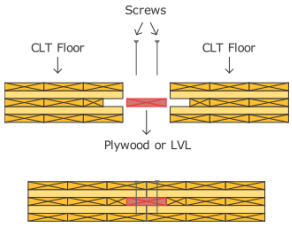
Verbinding 4

Uit de berekening van bijlage B.8.3.4 blijkt dat de verticale afschuiving maatgevend is bij deze verbinding. Er zijn diverse verbindingen onderzocht, namelijk:

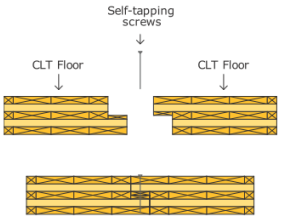
- Toepassen van multiplexplaten aan twee zijden
- Toepassen van een interne multiplexplaat
- Tandverbinding



Figuur 29- Tweezijdig multiplexplaat. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).



Figuur 30- Interne multiplexplaat. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).



Figuur 31- Tandverbinding. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Tweezijdig multiplexplaten

Voor deze verbinding (figuur 29) wordt aan twee zijden van de wand een multiplexplaat geplaatst om de twee losse wandpanelen met elkaar te koppelen. Deze multiplexplaten hebben een dikte van 22mm. Er zijn schroeven toegepast met een diameter van Ø6mm en een lengte van 60mm. De benodigde h.o.h.-afstanden van de schroeven is bij deze verbinding:

Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
	6	7	8	9	10	11	12	13
1x2	150mm	100mm	50mm	50mm	VN	VN	VN	VN
2x2	300mm	200mm	150mm	100mm	50mm	50mm	50mm	50mm

Waarbij VN = voldoet niet.

Tabel 12- Minimale h.o.h.-afstand schroeven

Interne multiplexplaat

Voor deze verbinding (figuur 30) wordt een interne multiplexplaat geplaatst om de twee losse wandpanelen met elkaar te koppelen. Deze multiplexplaat heeft een dikte van 22mm. Er zijn schroeven toegepast met een diameter van Ø11mm.

Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
	6	7	8	9	10	11	12	13
1x	200mm	150mm	100mm	50mm	50mm	50mm	VN	VN
2x	450mm	300mm	250mm	150mm	150mm	100mm	50mm	50mm

Tabel 13- Minimale h.o.h.-afstand schroeven

Tandverbinding

Met deze verbinding (figuur 31) wordt er aan het uiteinde van de wand een inkeping gefreesd zodat de wanden over elkaar geschoven kunnen worden. De wanden worden vervolgens aan elkaar gekoppeld met behulp van 1 of 2 rijen schroeven die een diameter hebben van Ø11mm.

In tabel 14 is weergeven welke h.o.h.-afstanden er nodig zijn om de verticale schuifbelasting op te nemen.

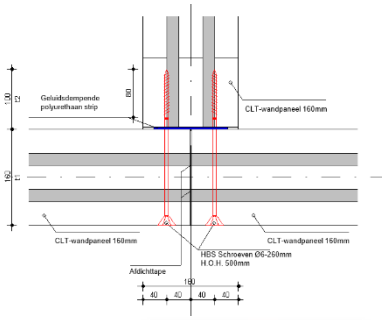
Wand-dikte	Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	100mm	50mm	50mm					
	2x	250mm	150mm	100mm					
160	1x				50mm				
	2x				150mm				
180	1x				50mm				
	2x				150mm				
200	1x					50mm			
	2x					10mm			
220	1x					50mm			
	2x					100mm			
240	1x						VN		
	2x						50mm		
260	1x						50mm		
	2x						100mm		
280	1x							VN	
	2x							50mm	
300	1x							VN	
	2x							50mm	
320	1x							VN	
	2x							50mm	
340	1x								VN
	2x								VN

Waarbij VN = voldoet niet.

Tabel 14- Minimale h.o.h.-afstand schroeven

Verbinding 5

Ter plaatse van verbinding 5 vinden er geen grote krachten plaats.
Om de horizontale schuifkrachten op te nemen kan een h.o.h.-afstand van 500mm toegepast worden.



Figuur 32- Wandkoppeling t.p.v. deling

Verbinding 6

Ter plaatse van verbinding 6 zijn de krachten niet erg groot omdat het om een relatief korte stabiliteitswand gaat en daardoor weinig windbelasting naar zich toetrekt. De stuiksterkte van de schroeven die op trekbelasting worden belast zijn maatgevend. In tabel 15 is opgenomen welke h.o.h.-afstand er nodig is om de krachten op te nemen.



Figuur 33- Stalen-platen. *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

Wand-dikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	1000mm					
160				1000mm				
180				1000mm				
200					1000mm			
220					1000mm			
240						1000mm		
260						1000mm		
280							1000mm	
300							1000mm	
320							1000mm	
340								1000mm

Tabel 15- Minimale h.o.h.-afstand

4.6.2 Resultaat

In tabel 16 is weergeven welk aantal bouwlagen toegepast kan worden per verbinding.

Uit tabel 16 blijkt dat de verbinding ter plaatse van de fundering en de wand-op-verdiepingsvloerverbinding maatgevend zijn voor het bouwen in hoogte. Bij deze verbindingen zijn de trekkrachten het grootst en is er verankering nodig om deze krachten op te nemen.

In bijlage B.10 is een controle berekening gemaakt van de verbindingen bij 8 bouwlagen om te controleren of de verbindingen daadwerkelijk voldoen. Daarnaast zullen ze daar getoetst worden op een combinatie van optredende spanningen.

Verbinding	Max. bouwlagen
1	8
2	7/8
3	13
4	13
5	13
6	13

Tabel 16- Maximaal aantal bouwlagen per verbinding

5. Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om de mogelijkheden en beperkingen van het bouwen in CLT in kaart te brengen. Aan de hand van literatuuronderzoek, interviews en de uitgewerkte casus kan er een conclusie getrokken worden over de resultaten.

De onderzoeksvraag die aan het begin van het onderzoek is opgesteld luidt als volgt:
Tot welke hoogte kan er met systeembouw gebouwd worden in massieve houtbouw? Op welke manier hebben de constructieve ontwerpaspecten, verbindingen en brand hier invloed op?

Uit de resultaten blijkt dat wanneer er enkel met CLT wordt gebouwd, zonder gebruik van beton en constructiestaal, er gebouwd kan worden tot en met 8 bouwlagen. Tot en met 8 bouwlagen is het mogelijk om de trekspanningen, die optreden in de constructie, op te nemen met schroefverbindingen. In de interviews werd beweerd dat de druk loodrecht op de houtvezel over het algemeen bepalend is voor het aantal te behalen bouwlagen. Zoals in tabel 6 is weergeven, kan er op basis van druk loodrecht op de houtvezel tot maximaal 13 bouwlagen gebouwd worden. Uit tabel 16 blijkt dat dit bij deze casus niet maatgevend is voor het maximaal te behalen bouwlagen. Wanneer dit wel maatgevend zou zijn geweest, is dat eenvoudig op te lossen door een dikkere wand toe te passen. Daardoor wordt de belasting over een groter oppervlak verspreid en wordt de spanning loodrecht op de houtvezel kleiner. Het verschil van de bewering die de geïnterviewden gaven en het resultaat van het onderzoek is te verklaren doordat er tijdens dit onderzoek enkel gebruik gemaakt is van schroefverbindingen. Wanneer er andere verbindingen toegepast worden kan het mogelijk zijn dat er grotere trekkrachten opgenomen kunnen worden en is de kans groter dat de druk loodrecht op de vezel maatgevend wordt.

De verbindingen die de optredende trekbelasting op moeten nemen, zijn maatgevend geweest bij het uitwerken van de casus. Doordat het constructiemateriaal relatief licht is, ontstaan er trekspanningen in de constructie die opgenomen dienen te worden door de verbindingen.
Op basis van de druk loodrecht op de houtvezel is bepaald welke wanddikte er minimaal nodig was voor een bepaald aantal bouwlagen (met als minimum wanddikte de dikte die nodig is naar aanleiding van brandwerendheid). Uiteindelijk bleek dat de minimale schroefafstand van de verdiepingsvloer-wandverbinding maatgevend was voor de minimale wanddikte.

Brand heeft veel invloed op het dimensioneren van de constructie. Om aan de brandeisen te voldoen zijn er diverse maatregelen genomen zodat de brandwerendheid van de constructie wordt verhoogd. Uit de berekeningen was gebleken dat de factor “brand” in eerste instantie maatgevend was voor het bepalen van de wanddikte. Deze minimale paneeldiktes waren nodig om voldoende materiaal te hebben tijdens de brandduur.

Naast brand heeft geluid veel invloed op het ontwerp van de constructie en dienen daar passende maatregelen voor genomen te worden. In de casus is ervoor gekozen om voorzetwanden en verlaagde plafonds toe te passen in het ontwerp. Op die manier werd de brandwerendheid van de constructie vergroot en konden de CLT-panelen minder dik uitgevoerd worden. Het voordeel van het toepassen van deze maatregelen is dat deze ook een positief effect hebben op de geluidswering van de constructie en dat de leidingen eenvoudig weggewerkt kunnen worden. Wanneer dit niet gewenst is zal men de panelen moeten over dimensioneren zodat er voldoende materiaal aanwezig is tijdens de brandduur en een gescheiden constructie moeten toepassen voor de geluidswering.

5.2 Discussie

In dit hoofdstuk wordt puntsgewijs aangegeven wat eventuele discussiepunten zijn van het onderzoek.

- In eerste instantie was het een doel om een vergelijking te maken hoe hoog er gebouwd kon worden met de platformbouwmethode en de balloonbouwmethode. Doordat al snel bleek dat de trekbelasting maatgevend was, was het niet interessant om deze vergelijking verder te maken. Wanneer men hoger bouwt dan 13 bouwlagen, zal de balloonbouwmethode al snel toegepast moeten worden of een variant op de platformmethode met beton.
- Hoe hoog er gebouwd kan worden is afhankelijk van het type project. De hoeveelheid toegepaste stabiliteitswanden hebben een groot effect op de optredende spanningen vanuit de wind in de constructie.
- Er is voor gekozen om de wanden in windrichting 2 niet met elkaar te koppelen, omdat dit weinig verschil heeft in het aandeel van de wanden. Wanneer deze wanden wel aan elkaar gekoppeld zouden worden, zal het aandeel van de wanden wel iets verschillen. Dit heeft een positief effect op de spanningsverdeling van de wind.
- In dit onderzoek zijn de trillingen en de eigenfrequentie van de constructie niet meegenomen. Om voldoende weerstand te bieden tegen trillingen kan het zijn dat de vloeren dikker uitgevoerd dienen te worden. Daardoor zal de constructie zwaarder worden en zullen er minder trekspanningen ontstaan in de constructie. Dit kan een positief effect hebben op de hoeveelheid bouwlagen die toegepast kunnen worden.
- Tijdens dit onderzoek zijn schroefverbindingen toegepast die over het algemeen worden gebruikt. Met alternatieve verbindingen zal het mogelijk zijn om hoger te bouwen dan de uitkomst van dit onderzoek.
- Ter plaatse van de fundering zijn er op dit moment veel stalen verbindingen nodig om de trekkrachten op te nemen. Het kan zijn dat dit niet wenselijk is in de uitvoering. Er kan voor gekozen worden om minder bouwlagen toe te passen zodat er minder verbindingen nodig zijn om de trekkrachten op te nemen of er moet gezocht worden naar ander soort verbindingen.
- Bij het uitwerken van de casus is ervoor gekozen om afwerking toe te passen bij de wanden en de vloeren. Wanneer dit niet wenselijk is, heeft dit effect op de dikte van de toe te passen panelen. Er is dan namelijk meer materiaal nodig voor wanneer er brand aanwezig is. Daarnaast dient er op een andere manier rekening gehouden te worden met geluid, leidingen en kanalen.
- Bij het uitwerken van de casus is ervoor gekozen om de langsgevels niet mee te nemen voor de stabiliteit. Zodra deze gevels wel meegenomen worden, wordt de wind verdeeld over meerdere wanden en zal er minder trekbelasting optreden.

5.3 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor vervolgonderzoek:

- Een punt voor vervolgonderzoek is het bepalen tot welke hoogte er gebouwd kan worden als trillingen en de eigenfrequentie meegenomen worden. Het is mogelijk dat de constructie dan zwaarder uitgevoerd moet worden en dat heeft dan een positief effect op de uitkomst. Tijdens deze casus waren de trekkrachten maatgevend voor de te behalen hoogte van het gebouw. Zodra de elementen dikker worden uitgevoerd zal het gebouw meer massa krijgen en zullen de trekkrachten kleiner worden.
- In dit onderzoek is de vervorming van de wanden naar aanleiding van de verticale belastingen niet meegenomen. Tijdens het plaatsen van het gebouw zal het hout door de belasting ingedrukt worden. In een nader onderzoek kan er onderzocht worden op welke manier hier rekening mee gehouden kan worden tijdens de ontwerpfase.
- Naast schroefverbindingen zijn er meerdere verbindingen die toegepast kunnen worden bij het bouwen met CLT. Voor vervolgonderzoek kan er onderzocht worden hoe hoog er gebouwd kan worden met ander soort verbindingen.
- Het is interessant om te onderzoeken waar het omslagpunt ligt wanneer het interessant is om hout te gebruiken in plaats van beton of staal bij hoogbouw.

Literatuurlijst

(1) Aangenamer bouwen. (2015). *CLT eigenschappen.* Geraadpleegd op 12 april 2019, van https://aangenamerbouwen.nl/clt-eigenschappen/

(2) AKV-houtbouw. (z.d.). *Brandveiligheid.* Geraadpleegd op 18 februari 2019, van https://www.avkhoutbouw.nl/bouwen-met-hout/brandpreventie

(3) Anisotroop. (z.d.). In *Encyclo*. Geraadpleegd op 1 maart 2019, van https://www.encyclo.nl/begrip/anisotroop

(4) Bajzecerová, V. (2017). Bending stiffness of CLT – Concrete composite members – Comparison of simplified calculation methods. Geraadpleegd op 13 maart 2019, van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817324414/pdf?md5=8f6c880e074f833839e3b85782f6b9e0&pid=1-s2.0-S1877705817324414-main.pdf

(5) Binderholz. (z.d.). *Binderholz kruislaags verlijmd hout BBS*. Geraadpleegd op 15 april 2019, van https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/BBS_NL_WEB.pdf

(6) Blaß, H.J, & Uibel, T. (2012). *Joints with dowel type fasteners in CLT structures.* Geraadpleegd op 4 april 2019, van https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000035507/2705743

(7) Blok, R. (2014). *Tabellen: voor bouw- en waterbouwkundigen* (10e druk). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.

(8) Boellaard, B.J.H. (2012). *Design of an outrigger structure for tall timber buildings* (Masterscriptie). Department of architecture, building and planning, Technische Universiteit, Eindhoven.

(9) Bouwbesluit. (2018). *Bouwbesluit 2012.* Geraadpleegd op 18 februari 2019, van https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012

(10) Bouwtotaal. (2017). *Hoogbouw in hout met Cross Laminated Timber.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van http://www.bouwtotaal.nl/2017/05/hoogbouw-in-hout-met-cross-laminated-timber/

(11) Van Boxtel, R. (1995). *Handboek gevelisolatie.* Geraadpleegd op 25 maart 2019, van https://www.lsgi.nl/handboek/hoofdstuk/l08-02.htm

(12) Ten Brinck, T. (2015, 21 juli). *Ook Londen krijgt 's werelds grootste volledig houten gebouw.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/infra/7281/ook-londen-krijgt-s-werelds-grootste-volledig-houten-gebouw

(13) Bruinsma, G. (2015). *Brochure Houtbouw.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://www.vg-loghouses.nl/wp-content/uploads/2017/08/brochure_houtbouw.pdf

(14) Buck, D., Wang, X., Hagman, O., & Gustafsson, A. (2016). *Further development of Cross-Laminated Timber (CLT) - Mechanical tests on 45° alternating layers*. Geraadpleegd op 13 februari 2019, van https://www.researchgate.net/publication/313192887_Further_Development_of_Cross-Laminated_Timber_CLT_Mechanical_Tests_on_45_Alternating_Layers

(15) Centrum Hout. (2017). *Infoblad: Houteigenschappen.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van http://www.houtdatabase.nl/infobladen/Infoblad_Houteigenschappen-Sterktegegevens.pdf

(16) Cobouw. (z.d.). *Armstrong metalen akoestische systeemplafonds Axal.* Geraadpleegd op 11 maart 2019, van https://www.nbd-online.nl/product/152256-armstrong-metalen-akoestische-systeemplafonds-axal

(17) Cross Timber Systems. (2016). *CLT Thermal Protection.* Geraadpleegd op 18 februari 2019, van http://www.crosstimbersystems.com/wp-content/uploads/2016/05/Thermal-protection-.pdf

(18) Danielsson, H. (2017). *CLT – Design and use.* Geraadpleegd op 25 februari 2019, van http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Timber_Engineering_2017/CLT_-_design_and_use_new.pdf

(19) De Groot Vroomshoop. (2012, april). *CLT Cross Laminated Timber.* Geraadpleegd op 14 februari 2019, van https://docplayer.nl/56361924-Clt-cross-laminated-timber.html

(20) De ingenieur. (2016, 15 juli). Torenflat van hout. Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.deingenieur.nl/artikel/torenflat-van-hout

(21) De isolatieshop. (z.d.). *Koudebruggen bij isolatie.* Geraadpleegd op 18 februari 2019, van https://www.isolatiemateriaal.nl/kenniscentrum/koudebrug/

(22) EKbouwadvies. (z.d.). *Lambda waarde materialen.* Geraadpleegd op 11 maart 2019, van http://www.ekbouwadvies.nl/tabellen/lambdamaterialen.asp

(23) Federatie van onderlinge verzekeringsmaatschappijen FOV. (2014). *Brandgedrag van isolatiematerialen.* Geraadpleegd op 12 maart 2019, van https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/fov-brandgedrag-van-isolatiematerialen.pdf

(24) Gagnon, S. (2011, 2 februari). *CLT – Structural Design.* Geraadpleegd op 25 februari 2019, van http://www.woodusematrix.com/database/rte/files/CLT-Structural%20Design.pdf

(25) Gagnon, S., & Pirvu, C. (2011). *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber* (Canadian edition). Québec: FPInnovations.

(26) Ghys, M. (2013). *Ontwerpmatig typologisch onderzoek naar "zorgkamers" in hout- en prefabconstructie* (scriptie). Architectuur en stedenbouw, Universiteit Gent.

(27) De Groot, H. (2009). Houtblad. In *Hout haalt hoogte: Stadthaus Londen.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.houtblad.nl/-/media/DE157A6EB40A4BABB911173CEF8977EC.pdf

(28) Groothuisbouw. (z.d.). *Is de prijs van een Groothuisbouw woning lager dan van een houtskeletwoning?* Geraadpleegd op 28 februari 2019, van https://www.groothuisbouw.nl/houtskeletbouw-woning/

(29) Haut Amsterdam. (z.d.). *Het gebouw.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://hautamsterdam.nl/nl/gebouw/

(30) Henz, O. (z.d.). *Houtskeletbouw: platform- of balloonmethode?* Geraadpleegd op 27 maart 2019, van https://pixii.be/ontdek/kennis/houtskeletbouw-platform-balloonmethode

(31) Info.nu. (2017). *Kruipend hout: kruip door secundaire doorbuiging met de tijd.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://wetenschap.infonu.nl/techniek/104354-kruipend-hout-kruip-door-secundaire-doorbuiging-met-de-tijd.html

(32) Isover. (2007). *Isover: Theorie en praktijk over contactgeluidisolatie met verend opgelegde dekvloeren.* Geraadpleegd op 1 maart 2019, van https://docplayer.nl/8892774-Uitgave-2007-theorie-en-praktijk-over-contactgeluidisolatie-met-verend-opgelegde-dekvloeren-www-isover-nl.html

(33) Jansen Blokhuizen. (z.d.). *Houtstapelbouw.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://www.jansenblokhuizen.nl/blokhuis-blokhut/index.php?houtstapelbouw

(34) KLH Massivholz GmbH. (2012). *Component catalogue for multi-storey residential buildings.* Geraadpleegd op 15 februari 2019, van https://www.klh.at/en/download/public/Kreuzlagenholz/KLH_Residential_en.pdf

(35) KLH Massivholz GmbH. (2013). *Kruislings verlijmd hout.* Geraadpleegd op 15 februari 2019, van http://www.gebroedersvandoleweerd.com/upload/klh/Kreuzlagenholz_NL.pdf

(36) Klompers, G. (2018). *Masterclass: zo zet je een houtbouw neer.* Geraadpleegd op 27 maart 2019, van https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/bouwen-verbouwen-of-kopen/bouwtechnieken/houtbouw/masterclass-zo-zet-je-een-houtbouw-neer/

(37) Livios. (z.d.-a). *CLT (Cross Laminated Timber).* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/bouwen-verbouwen-of-kopen/bouwtechnieken/houtbouw/clt-cross-laminated-timber/

(38) Livios. (z.d.-b). *Houtstapelbouw.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/bouwen-verbouwen-of-kopen/bouwtechnieken/houtbouw/houtstapelbouw/

(39) Newcraft. (2018). *Brandwerendheid.* Geraadpleegd op 18 februari 2019, van https://newcraft.be/clt-hout/brandwerendheid/

(40) Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011a). *NEN-EN 14080: Houtconstructies - Gelijmd gelamineerd hout en gelijmd massief hout* [NEN-Connect]. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van https://connect-nen-nl.hu.idm.oclc.org/Standard/Detail/161458?compId=10889&collectionId=0

(41) Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011b). *NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting* [NEN-Connect]. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van https://connect-nen-nl.hu.idm.oclc.org/Standard/Detail/161137?compId=10889&collectionId=0

(42) Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011c). *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting* [NEN-Connect]. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van https://connect-nen-nl.hu.idm.oclc.org/Standard/Detail/159737?compId=10889&collectionId=0

(43) Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011d). *NEN-EN 1995-1-2+C2: Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies – Deel 1-2: Algemeen ontwerp en berekening van constructies bij brand* [NEN-Connect]. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van https://connect-nen-nl.hu.idm.oclc.org/Standard/Detail/161469?compId=10889&collectionId=0

(44) Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2013). *NEN-EN 1995-1-1+C1+A1: Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies – Deel 1-1: Algemeen gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen* [NEN-Connect]. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van https://connect-nen-nl.hu.idm.oclc.org/Standard/Detail/184882?compId=10889&collectionId=0

(45) Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2015). *NEN-EN 16351:2015: Houtconstructies - Kruisgelaagd gelamineerd hout - eisen* [NEN-Connect]. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van https://connect-nen-nl.hu.idm.oclc.org/Standard/Detail/212475?compId=10889&collectionId=0

(46) Nul20. (2018, 18 december). *Bouw van houten woontoren in Amstelkwartier start.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.nul20.nl/bouw-van-houten-woontoren-haut-amstelkwartier-start

(47) Pieters Bouwtechniek. (2016, 25 april). *Hotel Jakarta.* Geraadpleegd op 5 februari 2019, van https://www.pietersbouwtechniek.nl/welkom/projecten/2016-04-25/

(48) Ravenscroft, T. (2017, 6 december). *Dalston Lane: The world's Largest timber building.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.theb1m.com/video/dalston-lane-the-worlds-largest-timber-building

(49) Rothoblaas. (2014). *Screws for wood*. Geraadpleegd op 12 april 2019, van https://issuu.com/rothoblaas/docs/catalogo-viti-en-2014?e=18207635/14288627

(50) Rothoblaas. (2015). *Wood connectors and timber plates*. Geraadpleegd op 12 april 2019, van https://issuu.com/rothoblaas/docs/plates-and-connectors-for-wood-en__?e=18207635/13893089

(51) Rothoblaas. (2017). *Handbook for CLT buildings.* Geraadpleegd op 12 april 2019, van https://www.rothoblaas.com/catalogues/10-handbook-for-clt?action=download&lang=en

(52) Rothoblaas. (z.d.). *Xylofon: High-performance resilient soundproofing profile.* Geraadpleegd op 19 april 2019, van https://www.rothoblaas.com/products/soundproofing/resilient-profiles/xylofon#documents

(53) SolidTimber. (z.d.-a). *Hieronymuserf Utrecht.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.solidtimber.nl/portfolio-items/hieronymuserf-te-utrecht/

(54) SolidTimber. (z.d.-b). *Huis Victor.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://www.solidtimber.nl/portfolio-items/huis-victor/

(55) Starink, G.A. (2015, 22 juni). *Bouwfysische eigenschappen van kruislaaghout.* Geraadpleegd op 18 februari 2019, van https://www.derix.de/data/5_Gerton%20Starink_Nieman.pdf

(56) Van der Steen, C.A. (2010). *Het (dek)vloerenboek.* Geraadpleegd op 1 maart 2019, van https://www.yumpu.com/nl/document/read/20302375/het-dekvloerenboek-bedrijfschap-afbouw

(57) Stora Enso. (2015, mei). *Technical folder CLT EN.* Geraadpleegd op 26 februari 2019, van http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Technical-folder-CLT-EN.pdf

(58) Strongtie. (z.d.). *Geluiddempende hoekijzers.* Geraadpleegd op 8 maat 2019, van https://www.strongtie.nl/products/detail/geluiddempend-hoekijzer-abai/177

(59) Timbertalo. (z.d.). *Wat is houtstapelbouw.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://www.timbertalo.nl/index.php/bouwwijze/

(60) Technische isolatiespecialist. (z.d.). *ROCKWOOL PROROX MA 520 ALU STEENWOLDEKEN 3500X500X80 MM, 1,75M2/ROL.* Geraadpleegd op 25 maart 2019, van https://www.technischeisolatiespecialist.nl/rockwool-prorox-ma-520-alu-steenwoldeken-103171021

(61) TRADA technology. (2009). *Stadthaus, 24 Murray Grove, London.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf

(62) Walner-Novak, M., Koppelhuber, J., & Pock, K. (2014). *Proholz: Cross-Laminated Timber Structural Design: Basic design and engineering principles according to Eurocode.* Geraadpleegd op 12 maart 2019, van https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Basisprodukte/Brettsperrholz_BBS/201411_proHolz_Cross-Laminated_Timber_Structural_Design.pdf

(63) Wonen in hout. (z.d.). *Hout stapelbouw.* Geraadpleegd op 12 februari 2019, van https://www.woneninhout.nl/houtbouw/hout-stapelbouw-methode/

(64) Woodteq. (2008, 12 december). *Relatie tussen klimaatklassen, fabricagevochtgehalte, lameldikte en de duurzaamheid van hout en lijm.* Geraadpleegd op 13 februari 2019, van https://www.woodteq.nl/wp-content/uploads/2017/03/Klimaatklassen.pdf

(65) Zee, P. (2018). *Verticaal dragend verlijmd kruislaaghout en brandveiligheid: Een verkennend onderzoek naar de constructieve veiligheid van verlijmd kruislaaghout bij blootstelling aan brand* (Afstudeeropdracht). Bouwkunde, Hanzehogeschool, Groningen.

(66) Van Zuilekom, L. (z.d.). *Hout speelt de hoofdrol in nieuwbouw Hotel Jakarta Amsterdam.* Geraadpleegd op 20 februari 2019, van https://denijs.nl/db/WAS5b55a6955e477/U_Hotel_Jakarta.pdf

Overzicht competenties

Competentie	Voetnoot	Rapportonderdeel	Blz. Onderdeel	Blz. Totale rapport
Vakmanschap	2	➢ Onderzoeksrapport H4	16	16
	4	➢ Bijlageboek A.1	8	51
	7	➢ Bijlageboek A.2	46	89
	11	➢ Bijlageboek B.7	105	148
	13	➢ Bijlageboek B.8	135	178
	17	➢ Bijlageboek C.1	207	250
	19	➢ Bijlageboek C.2	213	256
	21	➢ Bijlageboek C.3	217	260
Onderzoekend	12	➢ Bijlageboek B.7	105	148
	14	➢ Bijlageboek B.8	135	178
	15	➢ Bijlageboek B.9	188	231
	16	➢ Bijlageboek B.10	195	238
Oordeelsvorming	3	➢ Onderzoeksrapport H4.1.2	16	16
	6	➢ Bijlageboek A.1.10	43	86
Communicatief	18	➢ Bijlageboek C.1	207	250
	20	➢ Bijlageboek C.2	213	256
	22	➢ Bijlageboek C.3	217	260
Samenwerken	10	➢ Bijlageboek B.1.2.3	57	100
	23	➢ Bijlageboek C.3	218	261
Kritisch	1	➢ Onderzoeksrapport H3.6.2	14	14
	5	➢ Bijlageboek A.1	8	51
	8	➢ Bijlageboek A.2	46	89
Probleemoplossend	9	➢ Bijlageboek B.1.2.3	57	100
	24	➢ Bijlageboek C.3	218	261
Organiserend	25	➢ Bijlageboek C.4	220	263

Tabel 17 - Locatie bewijslast competenties

Bijlagen

Bijlagen A – Theoretisch kader

Bijlage A.1 – Literatuuronderzoek

Bijlage A.2 – Rekenvoorbeeld

Bijlagen B – Casus

Bijlage B.1 – Omschrijving casus

Bijlage B.2 – Uitgangspunten berekening

Bijlage B.3 – Berekenen brandwerendheid afwerking

Bijlage B.4 – Berekeningen constructieonderdelen

Bijlage B.5 – Verdeling windbelasting

Bijlage B.6 – Gewichtsberekening

Bijlage B.7 – Sterkteberekening verbindingen

Bijlage B.8 – Toetsing verbindingen

Bijlage B.9 – Ontwerpvarianten verbinding 2

Bijlage B.10 – Controleberekening en ontwerp verbindingen

Bijlagen C – Overig

Bijlage C.1 – Interview Bas Boellaard en Ard-Jan Luuten, Solidtimber

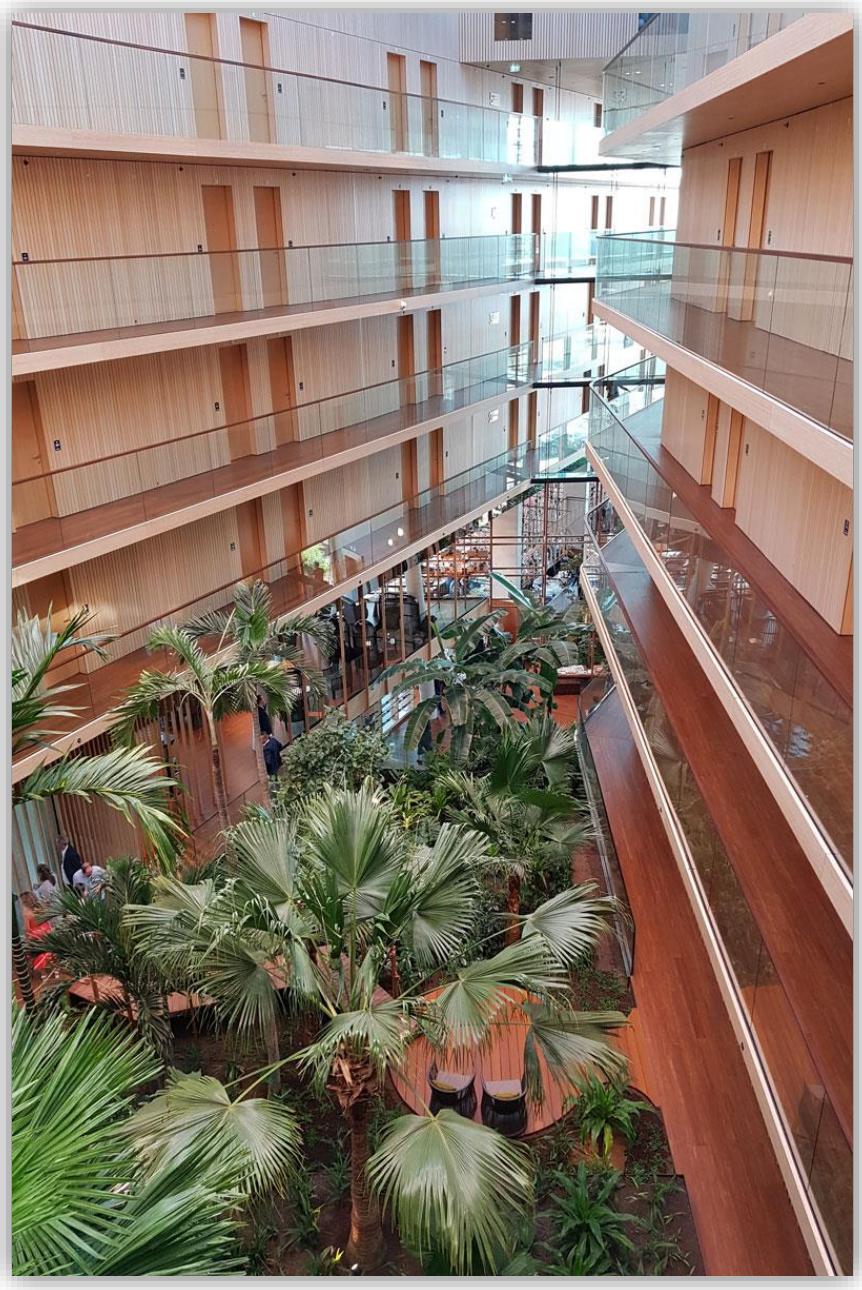
Bijlage C.2 – Interview Hugo Immink, Ekoflin

Bijlage C.3 – Bespreking Bertjan Kraaijeveld, IBT

Bijlage C.4 – Logboek

BIJLAGEN

Ontwerpen met Cross Laminated Timber (CLT)



Figuur 1 - Hotel Jakarta. Overgenomen van *Hotel Jakarta* (Pieters Bouwtechniek, 2016)

Naam	Arno Hilgeman	**Collegejaar**	2018/2019
Studentnummer	1573532	**Datum**	27-05-2019
Cursus	TBBE-VAFOECOS-18	**Versie**	Definitief

Colofon

Gegevens Student

Naam	: Arie Nico (Arno) Hilgeman
Adres	: -
Telefoonnummer	: -
Studentnummer	: 1573532
Opleiding	: Bachelor Built Environment
E-mail	: arno.hilgeman@student.hu.nl
Afstudeerrichting	: Design en Constructie
Cursuscode	: TBBE-VAFOECOS-18

Gegevens Hogeschool

Naam	: Hogeschool Utrecht
Afdeling	: Instituut voor Gebouwde Omgeving (IGO)
Adres	: Padualaan 99
Postcode/plaats	: 3584 CH Utrecht

Afstudeerbegeleider

1e examinator/ begeleider

Naam	: ir. Martijn Zegers
E-mail	: martijn.zegers@hu.nl

2e examinator/ coördinator

Naam	: ir. Olaf Verschuren
E-mail	: olaf.verschuren@hu.nl

Gegevens stagebedrijf

Bedrijf	: Raadgevend ingenieursbureau Van Dijke BV
Adres	: Antonie van Leeuwenhoekweg 32E
Postcode/plaats	: 2408 AN Alphen aan den Rijn
Telefoonnummer	: 0172-495200

Begeleider van Dijke (bedrijfsbegeleider)

Naam	: ir. Gert-Jan Roos
Functie	: Raadgevend ingenieur/ bedrijfspartner
E-mail	: gertjan@vandijkebv.nl
Telefoonnummer	: -

Symbolen

Symbool	Naam	Eenheid
$\sigma_{t,0,d}$	Rekenwaarde trekspanning // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{t,90,d}$	Rekenwaarde trekspanning (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{c,0,d}$	Rekenwaarde drukspanning // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{c,90,d}$	Rekenwaarde drukspanning (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$\sigma_{t,0,d}$	Rekenwaarde trekspanning // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
τ_d	Rekenwaarde van de afschuifspanning	N/mm²
γ_m	Partiële factor	
ρ_k	Volumieke massa	Kg/m³
A_{ef}	Effectieve contactzone bij druk loodrecht op de vezel	mm²
b_{ef}	Effectieve breedte	mm
$D_{nT,A,k}$	Karakteristieke waarde luchtgeluidisolatie	dB
$E_{0,mean}$	Elasticiteitsmodulus // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$E_{0,05}$	Elasticiteitsmodulus uiterste grens toestand	N/mm²
$E_{90,mean}$	Elasticiteitsmodulus (Loodrecht op vezel)	N/mm²
$E_{mean,fin}$	Uiteindelijke gemiddelde elasticiteitsmodulus	N/mm²
$f_{t,0,k}$	Treksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{t,90,k}$	Treksterkte (Loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$f_{t,0,d}$	Rekenwaarde treksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{t,90,d}$	Rekenwaarde treksterkte (loodrecht de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,0,k}$	Druksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,90,k}$	Druksterkte (Loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,0,d}$	Rekenwaarde druksterkte // (evenwijdig aan de vezelrichting)	N/mm²
$f_{c,90,d}$	Rekenwaarde druksterkte (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$F_{c,90,d}$	Rekenwaarde drukkracht (loodrecht op de vezelrichting)	N/mm²
$f_{m,0,k}$	Karakteristieke waarde buigsterkte	N/mm²
$f_{m,0,d}$	Rekenwaarde buigsterkte	N/mm²

$f_{v,0,k}$	Karakteristieke schuifsterkte	N/mm²
$f_{v,d}$	Rekenwaarde afschuifsterkte	N/mm²
G_k	Afschuivingsmodulus	N/mm²
$G_{mean,fin}$	Uiteindelijke gemiddelde afschuivingsmodulus	N/mm²
$G_{r,mean}$	Rolschuifmodulus	N/mm²
$k_{c,90,d}$	Rekenfactor voor splijtmogelijkheid en drukvervorming	
k_{def}	Vervormingsfactor t.b.v. kruip	
k_{mod}	Modificatiefactor	
$K_{mean,fin}$	Uiteindelijke gemiddelde verschuivingsmodulus	N/mm²
$L_{nT,A,k}$	Karakteristieke waarde contactgeluidniveau	dB
R_d	Rekenwaarde van de weerstand (sterkte)	N/mm³
R_k	Karakteristieke waarde van de weerstand (sterkte)	N/mm³
u_{inst}	Ogenblikkelijke vervorming	mm
$u_{inst,G}$	Ogenblikkelijke vervorming blijvende belasting G	mm
$u_{inst,Q1}$	Ogenblikkelijke vervorming overheersende veranderlijke belasting Q1	mm
$u_{inst,Qi}$	Ogenblikkelijke vervorming gelijktijdige veranderlijke belasting Qi	mm
u_{fin}	Uiteindelijke vervorming	mm
$u_{fin,G}$	Uiteindelijke vervorming blijvende belasting G	mm
$u_{fin,Q1}$	Uiteindelijke vervorming overheersende veranderlijke belasting Q1	mm
$u_{fin,Qi}$	Uiteindelijke vervorming gelijktijdige veranderlijke belasting Qi	mm
X_d	Rekenwaarde van een sterkte-eigenschap	N/mm²
X_k	Karakteristieke waarde van een sterkte-eigenschap	N/mm²

Tabel 1 - lijst met symbolen

Veel voorkomende afkortingen

CLT	Cross Laminated Timber
HSB	Houtskeletbouw
UGT	Uiterste grenstoestand
BGT	Bruikbaarheidstoestand
H.O.H.	Hart op hart

Inhoudsopgave

Colofon 1
Symbolen 2
Inhoudsopgave 4
Bijlagen A – Theoretisch kader 7
Bijlage A.1 – Literatuuronderzoek 8
A.1.1 Wat is massieve houtbouw? 8
A.1.2 Projecten in massieve houtbouw 9
A.1.3 Constructieve eigenschappen 12
A.1.4 Bouwfysische eigenschappen 14
A.1.5 Uitvoering 20
A.1.6 Berekeningsmethoden elementen 23
A.1.7 Soorten verbindingen 32
A.1.8 Detaillering 33
A.1.9 Berekeningsmethode verbindingen 38
A.1.10 Ontwerpaspecten 42
A.1.11 Voor- en nadelen 45
Bijlage A.2 – Rekenvoorbeeld 46
A.2.1 Rekenvoorbeeld vloerplaat 46
A.2.2 Conclusie/vergelijking 52
Bijlagen B – Casus 53
Bijlage B.1 – Omschrijving casus 54
B.1.1 Omschrijving casus 54
B.1.2 Ontwerp 54
B.1.3 Uitgangspunten casus 60
Bijlage B.2 – Uitgangspunten berekening 63
B.2.1 Gebruikte normen 63
B.2.2 Materialen 63
B.2.3 Veiligheidsklasse 63
B.2.4 Belastingcombinaties 63
B.2.5 Belastingen 64
B.2.6 Gebruikte software 65
B.2.7 Windbelasting 66
Bijlage B.3 – Berekening brandwerendheid afwerking 69
B.3.1 Opbouw elementen 69

B.3.2 Brandklasse per materiaal 69
B.3.3 Inbrandsnelheid 69
B.3.4 Brandwerendheid per onderdeel 70
Bijlage B.4 – Berekening constructieonderdelen 71
B.4.1 Dimensionering begane grondvloer 71
B.4.2 Fundering 73
B.4.3 Berekening dak 6 meter overspanning 75
B.4.4 Berekening verdiepingsvloer 6 meter overspanning 76
B.4.5 Berekening wanden 77
Bijlage B.5 - Verdeling windbelasting 78
B.5.1 Windbelasting 78
B.5.2 Varianten aandeel per wand 79
B.5.3 Windbelasting per wand 81
B.5.4 Horizontale doorbuiging 87
Bijlage B.6 – Gewichtsberekening 89
B.6.1 Windbelasting 89
B.6.2 Gewichtsberekening 8 bouwlagen platformmethode 94
B.6.3 Tweede orde 101
B.6.4 Totale overzicht 103
Bijlage B.7 - Sterkteberekening verbindingen 105
B.7.1 Schroefafstanden 106
B.7.2 Verbinding 1 – Koppeling wand-verdiepingsvloer 107
B.7.3 Verbinding 2 – Koppeling wand-fundering 115
B.7.4 Verbinding 3 – Koppeling wand – wand horizontaal 122
B.7.5 Verbinding 4 – Koppeling wand-wand verticaal 124
B.7.6 Verbinding 5 – Koppeling wand-wand t.p.v. deling windrichting 2 131
B.7.7 Verbinding 6 – Koppeling wand-balkje 133
Bijlage B.8 – Toetsing verbindingen 135
B.8.1 Krachtsverdeling 135
B.8.2 Optredende belastingen 136
B.8.3 Toetsing verbindingen 146
Bijlage B.9 – Ontwerpvarianten verbinding 2 188
B.9.1 Variant 1 189
B.9.2 Variant 2 191
B.9.3 Variant 3 192

B.9.4 Variant 4 193
B.9.5 Conclusie 194
Bijlage B.10 – Controle berekening en ontwerp verbindingen 195
B.10.1 Horizontale doorbuiging 195
B.10.2 Verbinding 1 196
B.10.3 Verbinding 2 200
B.10.4 Verbinding 3 202
B.10.5 Verbinding 4 202
B.10.6 Verbinding 5 203
B.10.7 Verbinding 6 203
Bijlagen C – Overig 206
Bijlage C.1 – Interview Bas Boellaard & Ard-jan Luuten, SolidTimber 207
Bijlage C.2 – Interview Hugo Immink, EkoFlin 213
Bijlage C.3 – Gesprek Bertjan Kraaijeveld, IBT 217
Bijlage C.4 - Logboek 220

Bijlagen A – Theoretisch kader

- Bijlage A.1 – Literatuuronderzoek
- Bijlage A.2 – Rekenvoorbeeld

Bijlage A.1 – Literatuuronderzoek[4] [5]

A.1.1 Wat is massieve houtbouw?

Onder massieve houtbouw kunnen verschillende bouwsystemen worden verstaan. In deze paragraaf zullen een tweetal veelvoorkomende houtsystemen beschreven worden die onder massieve houtbouw vallen.

A.1.1.1 Houtstapelbouw/logbouw

Houtstapelbouw, of ook wel 'logbouw' genoemd, bestaat uit het op elkaar stapelen van houten balken (Timbertalo, z.d.). Deze houten balken kunnen bestaan uit ronde balken, halfronde balken of rechthoekige balken. Op de hoeken van het gebouw worden de houten balken kruislings met elkaar verbonden, zoals te zien is in figuur 1. De verbindingen die worden gemaakt, worden ook wel tand- en groefverbindingen genoemd (Wonen in hout, z.d.).

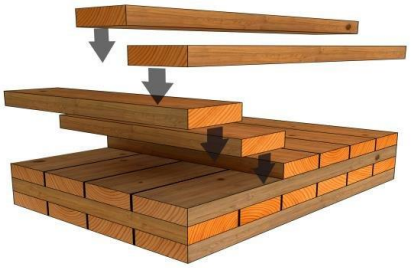


Figuur 1 - Verbinding houtstapelbouw. Overgenomen uit *Houtstapelbouw* (Jansen blokhuizen, z.d.).

Om dit bouwsysteem toe te passen zijn er maatregelen nodig om aan de bouwfysische eisen te voldoen. Hoewel hout van zichzelf een goede isolerende werking heeft, is het noodzakelijk om isolatie aan de binnen- of buitenzijde van de wand te plaatsen zodat de bouwfysische eisen worden behaald.
Er zijn geen voorbeelden gevonden waar dit bouwsysteem wordt toegepast op gebouwen met meer dan 2 bouwlagen. Volgens de brochure van VG Loghouses (Bruinsma, 2015, p. 24) wordt er tot aan de verdiepingsvloer gebouwd met houtstapelbouw en wordt er vervolgens met HSB verder gebouwd zodat de zakking van het huis regelmatig wordt.

A.1.1.2 Cross Laminated Timber (CLT)

Cross Laminated Timber (Hierna: CLT), of ook wel kruislaaghout (KLH) genoemd, bestaat uit kruislings verlijmde houten latten (lamellen). Volgens de productspecificatie van KLH Massivholz GmbH (2013) heeft de kruislingse verlijming een positief effect op de maatvastheid van het materiaal. De krimp en de uitzetting van het materiaal zijn door het kruislings verlijmen van de lamellen minimaal. Door de lamellen kruislings te verlijmen kunnen er massieve panelen gecreëerd worden, die toegepast kunnen worden als vloeren, daken en wanden.



Figuur 2 - Opbouw CLT-plaat. Overgenomen uit *Further development of Cross-Laminated Timber (CLT) - Mechanical tests on 45° alternating layers (Buck, Wang, Hagman, & Gustafsson, 2016).*

De CLT-panelen bestaan over het algemeen uit naaldhout, met name vuren, lamellen. Het aantal lagen lamellen waaruit de CLT-panelen zijn opgebouwd varieert van minimaal 3 lamellen tot ongeveer 11 lamellen. De buitenste lamellen lopen altijd parallel aan de overspanningsrichting.

Er zijn drie soorten kwaliteiten te onderscheiden bij CLT bouw (Ghys, 2013; KLH Massivholz GmbH, 2012), namelijk "Non visible quality" (NVQ), "Industrial visible quality" (IVQ) en "domestic visible quality" (DVQ). Non visible quality geeft aan dat de houtconstructie na afwerking niet meer zichtbaar zal zijn. Voor deze toepassing worden lamellen toegepast met de minste goede kwaliteit op het

[4] Competentie vakmanschap
[5] Competentie kritisch

gebied van uitstraling. Bij de industrial visible quality zijn de lamellen na afwerking gedeeltelijk of volledig zichtbaar. Bij deze kwaliteit worden lamellen toegepast met een gemiddelde zichtkwaliteit. Domestic visible quality houdt in dat de kwaliteit van de lamellen hoog is. Deze kwaliteit wordt over het algemeen toegepast in de woningbouw.

A.1.2 Projecten in massieve houtbouw

Er zijn diverse projecten die uitgevoerd zijn in CLT-bouwsystemen. In deze paragraaf zullen een aantal projecten geanalyseerd worden om te bepalen hoe de constructie uitgevoerd is.

A.1.2.1 Haut, Amsterdam

Het project "Haut" wordt gerealiseerd in Amsterdam. Het project is in 2016 gestart en er wordt verwacht dat dit project in 2021 klaar zal zijn. Het gebouw zal bestaan uit diverse appartementen.



Figuur 3 - Haut. Overgenomen van *Haut aan de Amstel* (Haut Amsterdam, z.d.).

Draagstructuur

Het gebouw wordt gerealiseerd in CLT en beton. Het gebouw heeft 21 verdiepingen en heeft een hoogte van 73 meter (Haut Amsterdam, z.d.). De eerste verdieping van het gebouw bestaat uit beton en vanaf daar wordt het gebouw uitgevoerd in CLT (De ingenieur, 2016). Om het gebouw van voldoende stabiliteit te voorzien is de parkeerkelder en de 1^{e} verdieping in beton uitgevoerd.

Stabiliteit

De stabiliteit wordt gewaarborgd door de CLT-wanden, vloeren en kern. De horizontale belasting wordt door middel van deze elementen doorgegeven aan de onderliggende betonconstructie. Deze zal de belasting afgeven aan de fundering.

A.1.2.2 Hotel Jakarta, Amsterdam

Hotel Jakarta is een project dat in 2018 is opgeleverd en in Amsterdam is gerealiseerd. Het gebouw bestaat uit 10 verdiepingen en heeft een hoogte van 30 meter.



Figuur 4 - Hotel Jakarta. Overgenomen van *Hotel Jakarta* (Pieters Bouwtechniek, 2016)

Draagstructuur

Dit gebouw is gerealiseerd in CLT en beton. De kelder tot en met de tweede verdieping is uitgevoerd in beton en daarnaast zijn alle trappen, liftschachten en vloeren uitgevoerd in beton (Zuilekom, z.d.). De draagstructuur boven de tweede verdieping is uitgevoerd in hout. De kolommen en de liggers zijn uitgevoerd in gelamineerd hout en de wanden en het dak zijn uitgevoerd in CLT (Pieters bouwtechniek, z.d.; De Architect, 2018). De hotelkamers zijn als geprefabriceerde elementen in het gebouw geplaatst.

Stabiliteit

De stabiliteit van het gebouw wordt gewaarborgd door de CLT-wanden en betonvloeren. De CLT-wanden geven de horizontale belastingen door aan de onderliggende fundering.



Figuur 5 - Dalston Lane. Overgenomen van *Ook Londen krijgt 's werelds grootste volledig houten gebouw* (Homes, R, 2015).

A.1.2.3 Dalston Lane, Londen

In Londen is er een wooncomplex in Dalton Lane gebouwd van 10 verdiepingen en een hoogte van 33 meter. Dit project is in 2017 opgeleverd.

Draagstructuur

De constructie van de kelder tot en met de 1e verdiepingsvloer bestaat uit beton (Ravenscroft, 2017; Brinck, 2015). Boven de eerste verdieping bestaat de rest van de constructie uit CLT wanden en vloeren. Verder zijn de kernen uitgevoerd in beton. Er zijn stalen balkons aan de constructie opgehangen. De gevel is verder afgewerkt met metselwerk.

Stabiliteit

De betonnen kernen en de CLT wanden en vloeren zorgen voor de stabiliteit van het gebouw. Deze zullen de krachten afdragen aan de onderliggende betonconstructie die het vervolgens aan de fundering zal afdragen.

A.1.2.4 Stadthaus, Londen

Het appartementencomplex “Stadthaus” in Londen bestaat uit 8 verdiepingen en heeft een hoogte van 29 meter. Het gebouw is in 2009 opgeleverd (TRADA Technology, 2009).



Figuur 6 - Stadthaus. Overgenomen van *Stadthaus, Murray Grove, London* (TRADA technology, 2009).

Draagstructuur

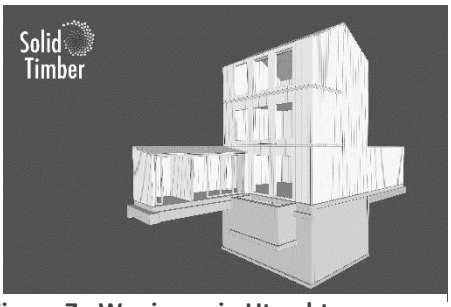
Uit het artikel van Hans de Groot in Houtblad (2009) blijkt dat de gehele constructie, op de begane grondvloer na, uit CLT bestaat. De begane grondvloer bestaat uit beton. Op de CLT-vloeren is om akoestische redenen een isolatielaag en een beton laag toegepast. De draagstructuur bestaat uit CLT-wanden, vloeren en een kern.

Stabiliteit

De stabiliteit wordt verzorgd door de CLT-kern, vloeren en wanden. De krachten worden via deze elementen afgedragen aan de onderliggende fundering.

A.1.2.5 Hieronymuserf, Utrecht

In Utrecht wordt een project ontwikkeld waarbij 9 woningen in het centrum van Utrecht worden gerealiseerd (SolidTimber, z.d.-a).



Figuur 7 - Woningen in Utrecht. Overgenomen van *Negen stadswoningen in het centrum van Utrecht* (SolidTimber, z.d.-a).

Draagstructuur

Zoals in figuur 7 te zien is bestaat de begane grondvloer en de kelder uit beton. De constructie boven de begane grondvloer bestaat uit CLT.



Stabiliteit

De stabiliteit wordt gewaarborgd door de CLT-wanden, vloeren en het dak. Deze elementen geven de krachten door aan de onderliggende fundering.

Figuur 8 - Woningen in Utrecht. Overgenomen van *Hieronymuserf Utrecht* (SolidTimber, z.d.-a).

A.1.2.6 Huis Victor, Gotland

In Zweden is er een huis die gerealiseerd is in Zweden (SolidTimber, z.d.-b).

Draagstructuur

De gehele draagstructuur van het huis bestaat uit CLT. In dit geval bestaat ook de begane grondvloer uit CLT-elementen. Zoals in figuur 9 te zien is, is dat mogelijk omdat dit huis door middel van palen boven de grond gebouwd is. Daardoor komt de vloer niet langdurig in contact met de vochtige grond.



Figuur 9 – CLT-woning. Overgenomen van *Huis Victor* (SolidTimber, z.d.-b).

Stabiliteit

De stabiliteit wordt gerealiseerd door de schijfwerking van de CLT vloeren, wanden en het dak.

A.1.2.7 Conclusie

Per project zijn er verschillen over hoe de stabiliteit van het gebouw wordt gewaarborgd. Er zijn projecten waar er een betonnen kern in het gebouw is geplaatst die voor stabiliteit zorgt, maar er zijn ook diverse projecten waar de stabiliteit wordt gewaarborgd door een kern die is uitgevoerd in CLT of door CLT-wanden.

Uit de verschillende projecten blijkt dat er vrijwel altijd ook beton wordt toegepast in het ontwerp. Hetzij om bouwfysische redenen of om constructieve redenen. Bij de meeste projecten wordt de onderliggende constructie tot en met de 1^{e} verdieping uitgevoerd in beton. In het artikel van Tom Ravenscroft (2017) wordt er dan ook geschreven dat de meeste gebouwen die uit hout bestaan wel een basis hebben van beton, zodat er geen hout in langdurig in aanraking komt met vocht.

Ook bij de woningen blijkt dat de begane grondvloer over het algemeen in beton wordt uitgevoerd. De begane grondvloer kan ook in CLT uitgevoerd worden, maar dan moet er wel ruimte zijn tussen de CLT-vloer en het maaiveld of het CLT moet goed afwerkt worden zodat deze gescheiden blijf van het vocht.

A.1.3 Constructieve eigenschappen

Hout is anisotroop materiaal. Dit houdt in dat de eigenschappen van het materiaal verschillend zijn in de verschillende richtingen van de houtdoorsnede (Anisotroop, z.d.). In de richting die evenwijdig is aan de vezelrichting kan het hout veel buigspanning opnemen, iets minder drukspanning en nog iets minder trekspanning. In de richting loodrecht op de vezel kan het echter minder spanning opnemen. Tijdens het construeren dient men daar rekening mee te houden.

Er zijn diverse soorten constructiehout waarmee gerekend kan worden. Zo is er loofhout (hardhout) en naaldhout (zachthout). Per houtsoort zijn er diverse sterkteklassen die effect hebben op de sterkte- en stijfheidseigenschappen van het hout.

Naast het gezaagde hout kan er ook met gelamineerd hout gerekend worden. Gelamineerd hout bestaat uit een houtelement die is opgebouwd uit verschillende lagen lamellen die op elkaar zijn gestapeld en zijn verlijmd.
Gelamineerd hout kan worden herkend door de afkorting “GL”. (Centrum Hout, 2017). Er zijn diverse soorten gelamineerde constructies. Gelamineerd hout kan worden onderscheiden in twee soorten, namelijk:

1. Homogeen gelamineerd hout (GL h)
2. Gecombineerd gelamineerd hout (GL c)

In de afkorting van het gebruikte hout is dit te herkennen door de letter die achter de “GL” staat, namelijk en “h” of een “c”.

Bij homogeen gelamineerd hout worden alle planken van dezelfde sterkteklasse gebruikt.
Bij gecombineerd gelamineerd hout wordt het hout opgebouwd met planken met verschillende sterkteklasse. De buitenste planken dienen van dezelfde houtkwaliteit te zijn.

Hout is gevoelig voor het fenomeen ‘kruip’. Kruip ontstaat doordat de structuur van het hout veranderd in de loop der tijd, waardoor het extra door zal buigen. Met name de lange duur belasting heeft effect op dit fenomeen (info.nu, 2017). De vervorming van het hout wordt beïnvloed door de permante en opgelegde belastingen en door de optredende kruip.

CLT

Zoals in paragraaf A.1.1.2 is vermeld bestaat CLT uit het kruislings verlijmen van lamellen. Volgens het artikel van bouwtotaal (2017) en de afgenomen interviews, is het gebruikelijk dat houtkwaliteit C24 wordt toegepast voor CLT. In sommige gevallen wordt ervoor gekozen om de lamellen die dwars op de overspanningsrichting worden gelijmd worden uitgevoerd in C18. Dit is echter afhankelijk van de leverancier.

	Karakteristieke eigenschappen			
Eigenschap	**C18**	**C24**	**C30**	**Eenheid**
$f_{m,0,k}$	18	24	30	N/mm²
ρ_k	320	350	380	Kg/m³
$f_{t,0,k}$	11	14	18	N/mm²
$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	N/mm²
$f_{c,0,k}$	18	21	23	N/mm²
$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	N/mm²
$f_{v,0,k}$	3,4	4,0	4,0	N/mm²

$E_{0,mean}$	9.000	11.000	12.000	N/mm²
$E_{90,mean}$	300	370	400	N/mm²
$E_{0,05}$	6.000	7.400	8.000	N/mm²
$G_{0,mean}$	560	690	750	N/mm²
$G_{90,mean}$	50	50	50	N/mm²

Tabel 1 - Eigenschappen sterkteklassen naaldhout volgens NEN-EN 338.

Doordat de lamellen gekruist zijn verlijmd en de constructieve eigenschappen verschillend zijn in de verschillende richtingen, zal het spanningsdiagram afwijken ten opzichte van een 'normaal' spanningsdiagram. De buitenste lamellen zullen in dezelfde richting georiënteerd worden als de overspanningsrichting.

Stabiliteit

Vergeleken met andere constructiematerialen is hout relatief licht. Vuren (wat over het algemeen wordt gebruikt voor CLT) heeft een soortelijk gewicht van ongeveer 400 kg/m³. Beton heeft als soortelijk gewicht 2500 kg/m³ en staal 7800 kg/m³.
Doordat het gewicht van de constructie lichter zal zijn dan een betonconstructie, zal er minder belasting op de fundering rusten.
Door de windbelasting zal er trekspanning in de fundering ontstaan. Zodra deze trekspanning groter is dan de drukspanning van het gebouw, zal er trek ontstaan in de houten panelen. Met name bij hoogbouw, waar veel windbelasting optreedt, zal het stabiliseren van het gebouw een uitdaging zijn.
Daarnaast dient de spanning overgegeven te worden door middel van verbindingen. Er zijn berekeningen van deze details nodig om aan te tonen of de verbindingen de spanningen over kunnen brengen naar de fundering.
De verbindingen kunnen gerealiseerd worden met behulp van stalen plaatjes die gekoppeld worden aan de wanden en de vloeren. In hoofdstuk A.1.8 zal hier dieper op in worden gegaan.

A.1.4 Bouwfysische eigenschappen

A.1.4.1 Geluid

Doordat het hout een relatief licht gewicht heeft, heeft het weinig massa om geluid te dempen. Dit betekent dat er maatregelen nodig zijn om het geluid te dempen of er zijn andere maatregelen nodig.

Eisen

Volgens de presentatie van Starink van Nieman (2015) is er ongeveer een massa nodig van 550 kg/m² om te voldoen aan de luchtgeluidisolatie en 800 kg/m² om te voldoen aan contactgeluidisolatie eisen. Doordat hout een lage massa heeft, van ongeveer 400 kg/m³, is het in de praktijk niet haalbaar om aan deze eisen te voldoen zonder daar maatregelen voor te treffen.
Volgens het bouwbesluit (2018) gelden de volgende eisen voor de geluidwering:

	Resulterend geluidsniveau	Minimale geluidsisolatie
Buitenschil woning	33 dB	20 dB

Tabel 2 – Geluidseisen van buiten volgens artikel 3.3 bouwbesluit (2018).

	Isolatie luchtgeluid verblijfsgebied $D_{nT,A,k}$	Resulterend contactgeluid verblijfsgebied $L_{nT,A,k}$
Woning scheidende wand/vloer woning	> 52 dB	< 54 dB
Woning scheidende wand/vloer overig	> 52 dB	< 59 dB

Tabel 3 – Geluidseisen volgens artikel 3.16 & 3.17 bouwbesluit (2018).

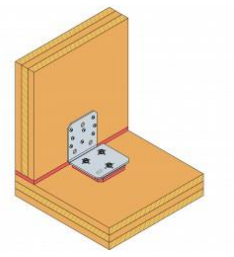
Maatregelen

Er zijn diverse maatregelen die ervoor zorgen dat de CLT-constructie kan voldoen aan de geluideisen (Gagnon, & Pirvu, 2011; KLH Massivholz GmbH, 2012; Stora Enso, 2015; Starink, 2015), namelijk:

- Het toepassen van geluidsdempers tussen de verschillende constructie elementen.
- Het toepassen van een zwevende dekvloer
- Het toepassen van een verlaagd plafond.
- Het toepassen van een ontkoppelde constructie.
- Het toepassen van voorzetwanden.

Geluiddempende elasticiteitsstroken

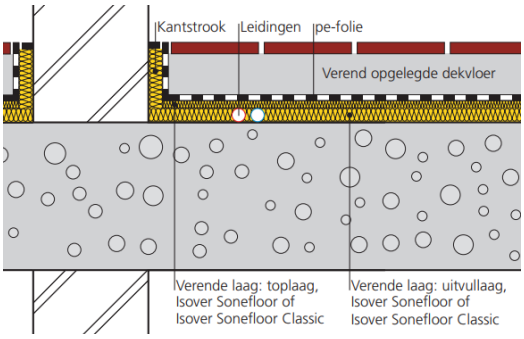
Een aanvullende maatregel die veel wordt gebruikt is het plaatsen van geluidsdempers tussen de wanden en de vloeren. Deze elasticiteitsstroken worden gebruikt om het contactgeluid tussen de wanden en de vloeren te dempen. Op die manier worden de geluidstrillingen opgenomen door de elasticiteitsstrook en wordt er minder contactgeluid doorgegeven aan de onderliggende constructie. Dit materiaal wordt ook gebruikt onder de stalen hoekankers zodat deze de geluidstrillingen niet doorgeven aan de vloer.



Figuur 10 - Elasticiteitsstrook. Overgenomen van *Geluiddempend hoekijzer* (Strongtie, z.d.).

Zwevende dekvloer

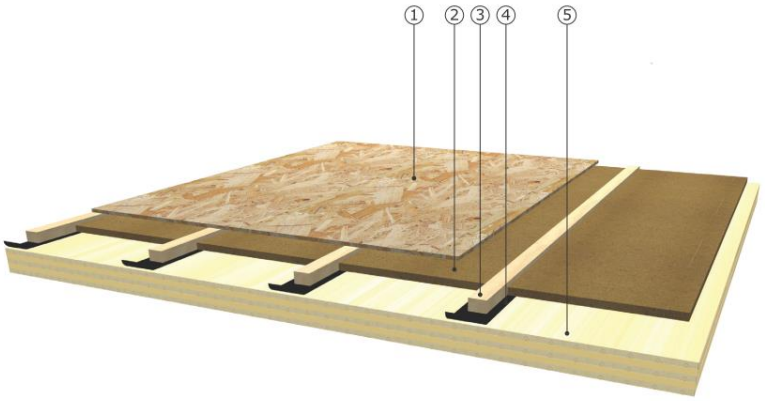
Er kan voor gekozen worden om een zwevende dekvloer aan te brengen op de CLT-vloer. In het dekvloerenboek van C.A. van der Steen (2010) wordt een zwevende dekvloer als volgt omschreven: "Een zwevende dekvloer is een dekvloer die wordt aangebracht op een vaak samendrukbaar (verend) isolatiemateriaal".



Figuur 11 – Zwevende dekvloer. Overgenomen van *Isover* (Isover, 2007).

Door een dekvloer aan te brengen wordt de isolerende werking van de constructie op het gebied van contact- en luchtgeluid verbeterd.

Om ervoor te zorgen dat de zwevende dekvloer goed functioneert is het van groot belang dat de vloer niet in aanraking komt met de constructieve wand en vloer. Dit wordt gerealiseerd door isolatie onder de dekvloer aan te brengen en tussen de wand en de vloer. In figuur 12 is in een voorbeeld te zien hoe dit gerealiseerd kan worden met een CLT-vloer.

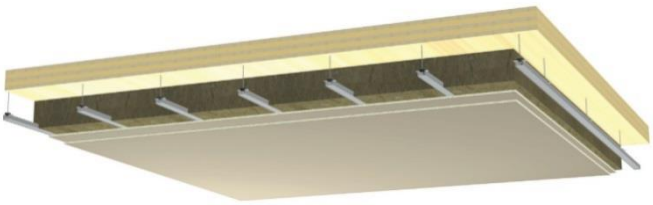


Floor Composition (F1.2)		Airborne (STC) dB	Impact (IIC) dB
1	Particleboard panel 22 mm	52	45
2	Sound insulation material (≈ 40 mm)		
3	Lumber sleepers		
4	REGUPOL underlayment		
5	5-layer CLT panel 146 mm		

Figuur 12 – Zwevende vloer. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Verlaagd plafond

Een verlaagd plafond bestaat uit een systeemplafond dat onder de constructieve vloer worden gehangen door middel van een ophangsysteem. Tussen dit systeemplafond en de constructieve vloer kan er isolatie geplaatst worden die het geluid zal filteren.

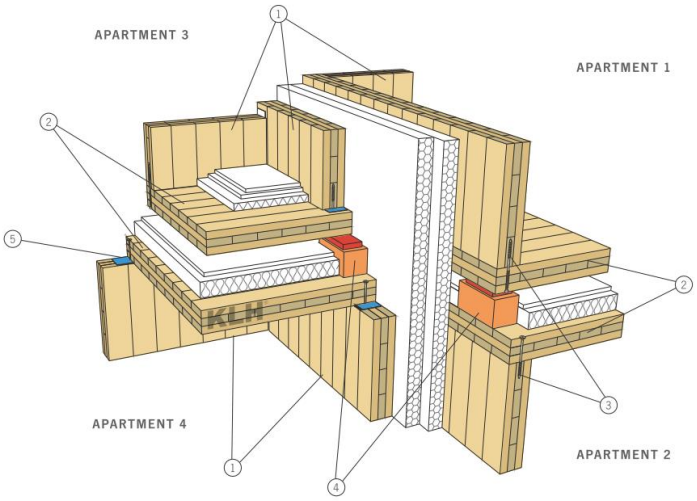


Figuur 13 - Verlaagd plafond. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Volgens de test, die beschreven staan in het CLT Handboek, functioneert een verlaagd plafond een stuk beter dan een zwevende dekvloer. Er kan uiteraard voor gekozen worden om een combinatie van beide maatregelen te nemen. Echter zal hierdoor de hoogte van de vloer een stuk groter worden.

Ontkoppelde constructies

Om ervoor te zorgen dat er voldoende geluidsisolatie aanwezig is ter plaatse van een woning scheidende wand of vloer, kan ervoor gekozen worden om een ontkoppelde constructie te gebruiken. Dit wordt ook wel massa-veer-massa genoemd. Dit houdt in dat de constructie van twee woningen los van elkaar staan. Bij wanden houdt dit in dat er een scheiding is aangebracht tussen de woning scheidende wanden en dat er op die manier een open ruimte ontstaat. Deze ruimte kan vervolgens opgevuld worden met isolatie voor een verbetering van de geluidswering.



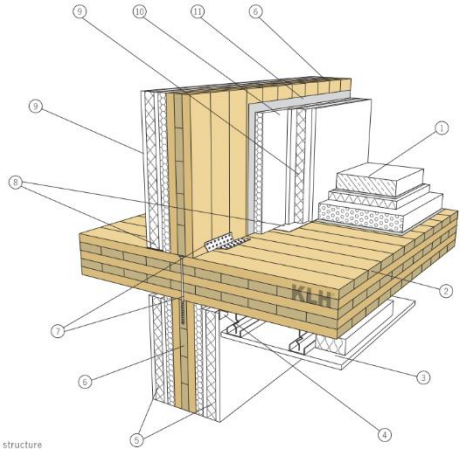
Figuur 14 – Ontkoppelde constructies. Overgenomen van *Component catalogue for multi-storey residential buildings.* (KLH Massivholz GmbH, 2012).

Dit principe kan ook gebruikt worden bij woning scheidende vloeren. Er worden dan twee CLT-vloeren boven elkaar geplaatst met daartussen een open ruimte die opgevuld kan worden met isolatie.

Voorzetwanden

Om de geluidsisolatie te verbeteren kan er een voorzetwand voor de CLT-wanden geplaatst worden. Het voordeel is dat deze wanden direct meehelpen met de brandwerendheid van de CLT-wand.

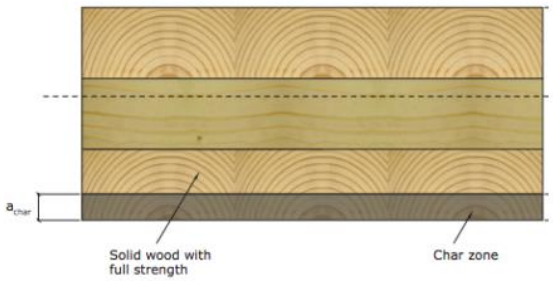
Ook hier kan er uiteraard voor gekozen worden om een combinatie van maatregelen te nemen. De geluidsisolatie zal daardoor verbeteren, maar de dikte van de constructie en het gebruik van materiaal zal daardoor ook toenemen.



Figuur 15 - Voorzetwand. Overgenomen van *Component catalogue for multi-storey residential buildings.* (KLH Massivholz GmbH, 2012).

A.1.4.2 Brand

Hout heeft als eigenschap dat het brandbaar materiaal is. Zodra het hout begint te branden verzwakt de constructie doordat er materiaal verloren gaat. In tegendeel tot beton en staal, waarbij de constructieve eigenschappen verzwakken naarmate het warmer wordt, blijven de constructieve eigenschappen van hout behouden bij toenemende hitte.



Figuur 16 - Koolvorming hout bij brand. Overgenomen van *Brandwerendheid* (Newcraft, 2018).

De rand van het houten paneel zal verkolen naarmate de brandtijd verstrekt. Deze verkoolde laag werkt vervolgens als isolerende laag die de rest van het hout beschermd tegen de brand (Newcraft, 2018; De Groot Vroomshoop, 2017; AKV-houtbouw, z.d.).
De koollaag die ontstaat op het hout kan als volgt worden berekent (Zee, 2018):

$$d_{eff} = d_{char} + K_0 d_0$$

Waarin:

$d_{eff} = effectieve\ inbranddiepte$
$K_0 d_0 = 7mm$

$$d_{char} = \beta_n * t$$

Waarin:
$\beta_n = schijnbare\ inbrandsnelheid$

t = brandblootstellingstijd

Volgens de Eurocode bedraagt de inbrandsnelheid van CLT ongeveer 0,65mm/min (Bouwtotaal, 2017).

Volgens het artikel van Hans de Groot in Houtblad (2009, p.55) hebben 3-laagse clt panelen een brandwerendheid van 30 minuten, 5-laagse panelen een brandwerendheid van 60 minuten en de 7-laagse panelen een brandwerendheid van 90 minuten.

Eisen

Volgens het bouwbesluit (2018) zijn er verschillende brandwerendheidseisen bij verschillende hoogtes. In onderstaande tabel zijn de brandwerendsheid eisen opgenomen per categorie. Als er aangetoond kan worden dat de constructie uit niet brandbare materialen bestaat, mag de brandwerendheid tijd met 30 minuten worden verkort. Uit het interview met Bas Boellaard (bijlage C.1) blijkt echter dat deze vermindering bij CLT constructies niet mag worden toegepast.

Vloerniveau	Woonfunctie	Niet woonfunctie
Max. vloerniveau tot 7 meter boven meetniveau	60	60
Max. vloerniveau tussen 7 en 13 meter boven meetniveau	90	90
Max. vloerniveau boven 13 meter vanaf meetniveau	120	120

Tabel 4 – Tijdsduur voor bezwijken bij brand volgens artikel 2.10 bouwbesluit (2018).

Maatregelen

Er zijn diverse maatregelen die genomen kunnen worden om de brandwerendheid van de CLT-elementen te vergroten en te waarborgen dat ze aan de eisen voldoen.

- Over dimensioneren
- Verlaagd plafond
- Voorzetwand

Over dimensioneren

Door de constructieve elementen over te dimensioneren zal de draagkracht voldoende blijven nadat er een brand heeft plaatsgevonden. De buitenste randen van de CLT-panelen zullen verkolen en hun draagkracht verliezen. Het gedeelte dat niet is aangetast zal draagkrachtig blijven. Volgens de Eurocode bedraagt de inbrandsnelheid van CLT ongeveer 0,65mm/min (Bouwtotaal, 2017). Door hiermee rekening te houden kan er bepaald worden hoe dik de CLT-elementen moeten zijn bij een bepaalde brandwerendheidseis.

Verlaagd plafond

Door een verlaagd plafond aan te brengen wordt de bovenliggende vloer beschermd tegen brand. Het voordeel is dat de constructie op die manier niet wordt aangetast en dat alleen het verlaagde plafond vervangen hoeft te worden zodra de brand voorbij is.

Voorzetwand

Net als bij het verlaagde plafond heeft een voorzetwand een beschermende werking. De constructieve wand achter de voorzetwand wordt beschermd tegen de brand. Ook hier geldt dat het langer duurt voordat de constructie daadwerkelijk wordt aangetast door de brand en zal er minder snel constructieve schade optreden.

A.1.4.3 Warmteweerstand

Hout heeft als eigenschap dat het van nature een relatieve goede warmteweerstand heeft. Uit de specificaties blijkt dat CLT een lampda waarde heeft van ongeveer 0,11-0,13 W/m.K (De Groot Vroomshoop, 2017; Cross Timber Systems, 2016).

In vergelijking met beton, die een lampda waarde heeft van 2 – 2,5 W/m.K (Blok, 2014), heeft hout een veel positievere invloed op de warmteweerstand. Er is daardoor veel minder materiaal nodig dan bij beton of staal om het gebouw te isoleren. Doordat de warmtegeleiding van hout zo laag is, is er veel minder kans op koudebruggen in het gebouw. Een koudebrug wordt bij de isolatieshop (2016) als volgt gedefinieerd: “Een koudebrug (ook wel thermische brug) is een zwakke plek in de isolatie. Op deze punten wordt de thermische isolatie namelijk onderbroken. Dit is niet wenselijk, omdat er in deze gevallen warmte verloren gaat en er condensatie kan ontstaan”.

Eisen

Volgens het bouwbesluit (2018) gelden de volgende eisen voor de thermische schil van het gebouw:

	Thermische isolatie
Vloeren Rc	≥ 3,5 m²K/W
Gevels Rc	≥ 4,5 m²K/W
Dak Rc	≥ 6,0 m²K/W

Tabel 5 - Minimale Rc-waarde per onderdeel volgens artikel 5.3 bouwbesluit (2018).

Maatregelen

Om de thermische isolatiewaarde te behalen is het nodig om isolatiemateriaal te plaatsen. Ter plaatse van de wanden kan er geïsoleerd worden aan de binnen of buitenzijde van het gebouw. Ter plaatse van de vloeren en het dak kan er isolatiemateriaal boven op het element geplaatst worden.

A.1.5 Uitvoering

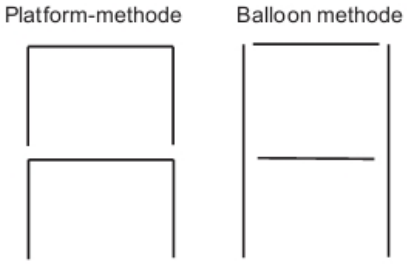
De CLT-elementen kunnen een maximale afmeting hebben van 3m x 20m (bxl). De CLT-elementen worden geprefabriceerd. In de fabriek worden de lamellen onder hoge druk aan elkaar gelijmd. Tijdens de fabricage zullen alle nodige sparingen en kabelsleuven aangebracht worden in de elementen.

A.1.5.1 Bouwmethoden

Er zijn verschillende bouwmethodes die toegepast kunnen worden bij CLT (Klompers, 2018), namelijk:

- De balloon bouwmethode
- De platform bouwmethode

Naast deze bouwmethodes zijn er diverse varianten die gemaakt kunnen worden. Zo kan er een combinatie van deze bouwmethodes toegepast worden in het ontwerp of kan er een methode gebruikt worden die tussen deze bouwmethodes valt.



Figuur 17 – Bouwmethodes. *Overgenomen van Houtskeletbouw: platform- of balloonmethode? (Henz, z.d.).*

Platform bouwmethode

Bij de platform bouwmethode worden er per verdieping wanden geplaatst die een hoogte hebben van bovenkant vloer tot onderkant vloer. Vervolgens wordt de bovenliggende vloer op de wanden geplaatst. Daarna worden de wanden van de volgende verdieping op die vloer geplaatst, enzovoorts.

Een aandachtspunt bij deze bouwmethode is dat ter plaatse van de vloer-wand verbinding er druk loodrecht op de houtvezels wordt uitgeoefend. Dat komt door de wanden die op de vloeren worden geplaatst en de bovenliggende belasting afdraagt aan de onderliggende vloer.

Balloon bouwmethode

Bij de balloon bouwmethode worden de wanden doorlopend uitgevoerd. De vloeren worden tussen de wanden opgehangen aan de benodigde verankering.

Het voordeel van deze bouwmethode is dat er geen verbindingen aanwezig zijn waar drukbelasting loodrecht op de houtvezels wordt uitgeoefend.

Conclusie

Uit de interviews in gebleken dat het toepassen van de platformmethode de grote voorkeur heeft. Bij de balloonmethode zijn de verbindingen ingewikkelder en op bouwfysische gebied een uitdaging om toe te passen. Ter plaatse van de wand-vloer verbinding is er namelijk een kier aanwezig die gevoelig is voor geluidslekken en brandoverslag. Dit detail dient bouwtechnisch goed uitgevoerd te worden.

A.1.5.2 Hijswerk

Doordat de CLT-panelen relatief licht zijn, kan er minder zwaar materieel ingezet worden om de elementen op hun plek te krijgen. In het CLT-handboek van Gagnon en Pirvu (2011) zijn diverse voorbeelden gegeven over hoe de elementen gehesen kunnen worden.



Figuur 18 - Hijswerkzaamheden CLT-elementen. Overgenomen van *CLT Handbook* (Brendeland & Kristoffersen, in Gagnon & Pirvu, 2011).

Stalen plaatjes

Om de elementen te kunnen hijsen kunnen er stalen plaatjes en schroefdraad in het element worden aangebracht, waar het element aan gehesen kan worden. Nadat het element op zijn plaats is gehesen kunnen deze stalen onderdelen worden verwijderd. Met deze hijsmethode is het nodig om in het element te boren om de stalen onderdelen toe te brengen.



Figuur 19 – Stalen hijs onderdelen. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

Hijsbanden

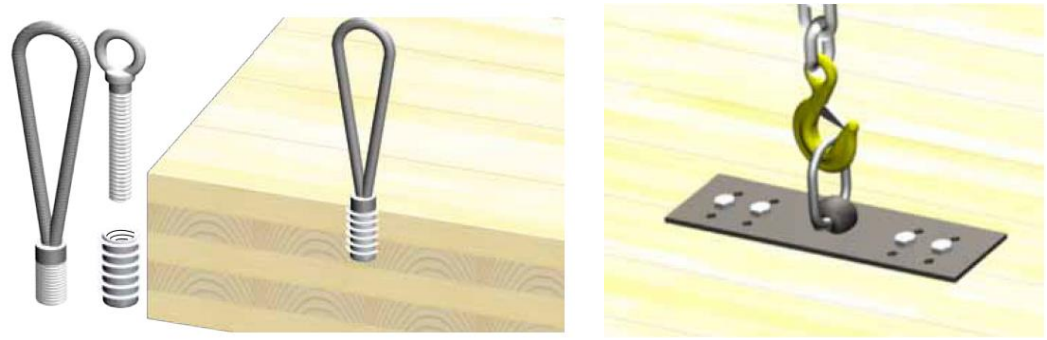
De elementen kunnen ook gehesen worden zonder het aanbrengen van stalen onderdelen. De elementen worden met behulp van een band gehesen. Met deze hijsmethode is er echter een risico dat er instabiliteit ontstaat en dat het element begint te glijden. Door gaten te boren en de hijsbanden daar doorheen te halen kan dit voorkomen worden.



Figuur 20 – Hijsbanden. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

Schroeven

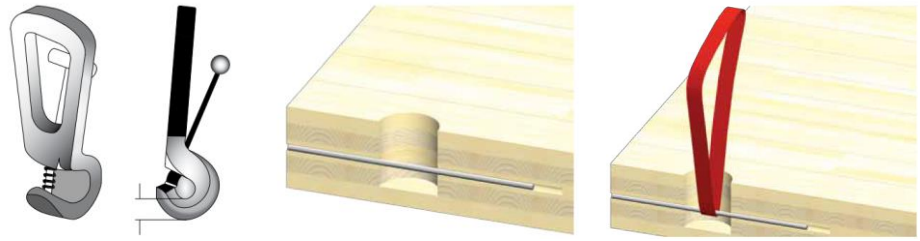
Er kan voor gekozen worden om schroeven aan te brengen in de elementen om deze te hijsen. Het voordeel is dat er na afloop weinig zichtbare “schade” is aan het paneel.



Figuur 21 - Schroefelementen. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

Geïntegreerde hijselementen

Uiteindelijk kan er nog voor gekozen worden om hijs onderdelen te integreren in het CLT-element. Er hoeft dan achteraf geen arbeid verricht te worden om de hijsonderdelen te verwijderen in het paneel. Deze gaten dienen echter wel netjes afgewerkt te worden.



Figuur 22 – Geïntegreerd hijselement. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

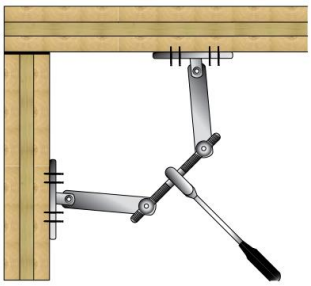
A.1.5.3 Montage

Tijdens de uitvoering zullen de wanden geschoord moeten worden voor de benodigde stabiliteit in de uitvoeringsfase. Doordat de vloeren direct op sterkte zijn hoeven de vloeren niet onderstempeld te worden.



Figuur 24 - Schoren. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

Zodra elementen op elkaar worden gezet is het goed om deze elementen aan elkaar te verankeren tijdens de uitvoering. Dat kan gerealiseerd worden met behulp van een anker die weergeven wordt in figuur 23. Dit anker zal de elementen strak op elkaar trekken zodat dit een positieve invloed heeft op de luchtdichtheid van de constructie. Zodra dit anker is toegepast zullen de verbindende elementen aangebracht worden die de elementen met elkaar verbinden.



Figuur 23 – Anker. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

Tijdens het uitvoeren is het belangrijk dat de elementen zoveel mogelijk worden bescherm tegen regen en vocht.

A.1.6 Berekeningsmethoden elementen

Software

Er zijn diverse softwarepakketten beschikbaar die zijn ontworpen om met CLT te rekenen. Zo is er bijvoorbeeld CLT-designer, Calculatis en RF laminate.

CLT-designer is ontwikkeld door de TU Graz in samenwerking met verschillende leveranciers. Dit programma berekent CLT-elementen op basis van de Eurocode en voldoet daarbij aan de Nederlandse normen. Calculatis is ontwikkeld door Stora Enso, die CLT-producten produceert. Calculatis kan echter niet volgens de Nederlandse normen rekenen.

Stijfheid

Om de stijfheid te bepalen van een CLT-element zijn er een drietal berekeningsmethoden die gebruikt kunnen worden, namelijk:

1. De gamma methode (Op basis van *Mechanisch verbonden liggers* Bijlage B NEN-EN 1995-1-1).
2. De K-methode (Composite Theory, Timoshenko).
3. Analoge afschuif methode

Volgens het CLT-handboek van Gagnon en Pirvu (2011, p. 65, chapter 3) is de gamma methode de meest gebruikte methode om berekeningen te maken, maar is de analoge afschuif methode de meest accurate berekeningsmethode. Daarnaast kan de analoge afschuif methode bij elke hoeveelheid houtlagen op dezelfde manier worden toegepast, terwijl de berekening bij de gamma methode iets afwijkt naarmate het aantal lamellen veranderd.

Sterkte

Voor de sterkte berekeningen zullen de toetsingsregels van de Eurocode 5 NEN-EN 1995-1-1 aangehouden worden. Om te voldoen aan de eisen dienen de maximaal toelaatbare spanningen niet overschreden te worden.

Volgens het CLT-handboek van Gagnon en Pirvu (2011) zijn er, net als bij het bepalen van de buigstijfheid, verschillende rekenmethoden om de maximaal optredende buigspanning te bepalen, namelijk:

1. De gamma methode
2. De K-methode (Composite Theory, Timoshenko).
3. Analoge afschuif methode

A.1.6.1 Stijfheid

Gamma methode

De Gamma methode is gebaseerd op de rekenmethode “Mechanisch verbonden liggers” van Bijlage B in de NEN-EN 1995-1-1.

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n} E_i I_i + \gamma E_i A_i {z_i}^2$$

Waarin:

n = aantal lagen lamellen

$$I = \frac{1}{12} * b_i * {h_i}^3$$

$$A_i = b_i * h_i$$

z_i= afstand tussen hart lamel en zwaartepunt doorsnede.

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * E_i A_i s_i}{K_i * l^2}}$$

De factor γ wordt in bijlage B van de NEN-EN 1995-1-1 bepaald voor liggers die zijn samengesteld uit verschillende onderdelen en mechanisch aan elkaar zijn verbonden. De factor γ is bij een volledig stijve verbinding 1 en als er geen connectie is 0. Bij CLT zijn de lamellen aan elkaar verlijmd en zal deze formule iets aangepast moeten worden. Volgens Gagnon en Pirvu (2011) kan de s/K factor worden vervangen door de volgende formule:

$$\frac{s_i}{K_i} = \frac{h}{G_r * b}$$

Waarin:

h = lamel hoogte van de lamellen die loodrecht op de overspanningsrichting zijn georiënteerd.

Gr = Rolschuifmodulus

De formule om γ te bepalen wordt dan uiteindelijk:

$$\gamma = \frac{1}{1 + (\pi^2 * \frac{E_i * A_i}{l^2} * \frac{h}{G_r * b})}$$

Doorbuiging

De doorbuiging wordt bepaald met de volgende formule:

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * q * l^4}{384 * EI_{eff}}$$

K-methode

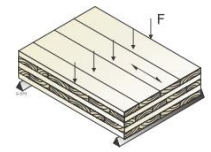
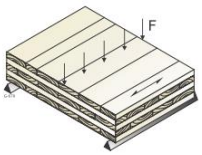
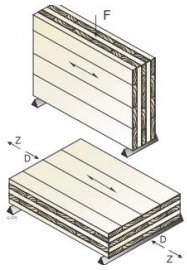
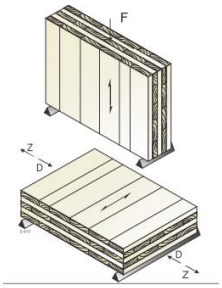
Bij de k-methode wordt de buigstijfheid (EI_{eff}) als volgt bepaald:

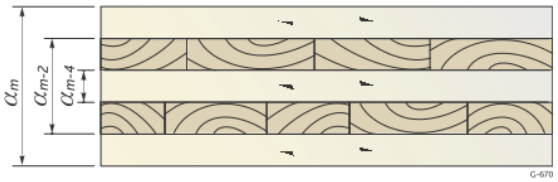
$$EI_{eff} = E_{b,0,eff} * I$$

Waarin:

$$E_{b,0,eff} = E_0 * k$$

De factor k is afhankelijk van het type paneel dat wordt beschouwd. De factor k wordt bij de volgende gevallen bepaald:

Manier van belasten en overspannen	Ki
	$k_1 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{\alpha_{m-2}^3 - \alpha_{m-4}^3 \pm \alpha_1^3}{\alpha_m^3}$
	$k_2 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{\alpha_{m-2}^3 - \alpha_{m-4}^3 \pm \alpha_1^3}{\alpha_m^3}$
	$k_3 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{\alpha_{m-2} - \alpha_{m-4} \pm \alpha_1}{\alpha_m}$
	$k_4 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{\alpha_{m-2} - \alpha_{m-4} \pm \alpha_1}{\alpha_m}$



Figuur 25 - Bepalen factor k. Overgenomen van *CLT handbook* (Gagnon & Pirvu, 2011).

Afschuifstijfheid

Volgens het CLT-handboek van Gagnon en Pirvu (2011) wordt bij deze methode de afschuifmodulus niet meegenomen in het bepalen van de doorbuiging. Echter, In het artikel van Viktória Bajzecerová (2017) wordt de vervorming ten gevolge van afschuiving wel meegenomen in de berekening. Tijdens dit onderzoek zal de doorbuiging ten gevolge van de afschuiving wel meegenomen worden, omdat dit een negatief effect heeft op de berekening en daardoor zal er aan de veilige kant ontworpen worden.

Volgens het CLT-handboek bedraagt de rolschuifmodulus (Gr) ongeveer 1/10 van de afschuifmodulus evenwijdig aan de vezelrichting (G).

$$G_r \approx \frac{G}{10}$$

In de PowerPoint van Sylvain Gagnon (2011, p. 16) wordt geschreven dat een conservatieve aanname is dat Gr = 50 N/mm². Dit wordt dan ook gebruikt in de software CLTDesigner.

De afschuifstijfheid wordt als volgt bepaald:

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left(\left(\frac{h_1}{2 * G_1 * b}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i * b}\right) + \left(\frac{h_n}{2 * G_n * b}\right)\right)}$$

$$a = h_{tot} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2}$$

Waarin:
n = aantal lamellagen
b = breedte paneel (1000 mm)
h = hoogte lamel
G = (Rol)schuifmodulus

Doorbuiging
De doorbuiging wordt dan als volgt berekend:

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * q * l^4}{384 * EI_{eff}} + \frac{1}{8} * \frac{q * l^2 * k}{GA_{eff}}$$

K = 1,2 (Gagnon, & Pirvu, 2011, p. 18 Chapter 3).

Analoge afschuif methode
Buigstijfheid
Bij de analoge afschuif methode zal de buigstijfheid (EI_{eff}) en de effectieve schuifstijfheid (GA_{eff}) bepaald worden.

$$\text{Zwaartepunt doorsnede } Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i A_i Y_i}{\sum_{i=1}^{n} E_i I_i}$$

Waarin:
Y_i = afstand tussen hart lamel en meetpunt doorsnede.

De buigstijfheid van de doorsnede wordt als volgt bepaald:

$$EI_{eff} = EI_{(A)} + EI_{(B)}$$

Waarin:

$$EI_{(A)} = \sum_{i=1}^{n} E_i I_i$$

$$EI_{(B)} = \sum_{i=1}^{n} E_i A_i {z_i}^2$$

Waarin:

n = aantal lagen lamellen
z_i= afstand tussen hart lamel en zwaartepunt doorsnede.

Afschuifstijfheid
Volgens het CLT-handboek bedraagt de rolschuifmodulus (Gr) ongeveer 1/10 van de afschuifmodulus evenwijdig aan de vezelrichting (G).

$$G_r \approx \frac{G}{10}$$

In de PowerPoint van Sylvain Gagnon (2011, p. 16) wordt geschreven dat een conservatieve aanname is dat Gr = 50 N/mm². Dit wordt dan ook wel gebruikt in de software CLTDesigner.
De afschuifstijfheid wordt als volgt bepaald:

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left(\left(\frac{h_1}{2 * G_1 * b}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i * b}\right) + \left(\frac{h_n}{2 * G_n * b}\right)\right)}$$

$$a = h_{tot} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2}$$

Waarin:
n = aantal lamellagen
b = breedte paneel (1000 mm)
h = hoogte lamel
G = (Rol)schuifmodulus

Doorbuiging
De doorbuiging wordt bepaald met de volgende formule:

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * q * l^4}{384 * EI_{eff}} + \frac{1}{8} * \frac{q * l^2 * k}{GA_{eff}}$$

K = 1,2 (Gagnon, & Pirvu, 2011, p. 18 Chapter 3).

Uiteindelijke doorbuiging
Om tot de uiteindelijke doorbuiging te komen dient de factor “kruip” meegenomen te worden. Volgens Henrik Danielsson (2017) wijkt de kruip factor (k_{def}) van CLT af ten opzichte van gelamineerd hout. Voor gelamineerd hout gelden de volgende waarden:

Materiaal	Klimaatklasse		
	1	2	3
Gelamineerd hout	0,60	0,80	2,00

Tabel 6 - k_{def} factor (NEN-EN 1995-1-1, 2011).

Volgens Henrik Danielsson (2017) luiden de kruipfactor waarden van CLT als volgt:

Materiaal	Klimaatklasse	
	1	2
CLT	0,80	1,00

Tabel 7 -k_{def} factor (Danielsson, 2017).

De doorbuiging als gevolg van kruip wordt als volgt bepaald:

$$\mu_{kruip} = \mu_{inst.qp} * k_{def}$$

De uiteindelijke doorbuiging bedraagt dan:

$$\mu_{fin} = \mu_{inst} + \mu_{kruip}$$

De maximale doorbuiging die een horizontaal element (vloer en dak) mag hebben bedraagt 0,004*L.

$$\mu_{fin} \leq 0{,}004l$$

A.1.6.2 Sterkte

Om de sterkte te toetsen van de CLT-panelen moet er eerst duidelijk worden welke berekeningen gemaakt dienen te worden en welke formules daarvoor gebruikt kunnen worden. De rekenregels en formules zijn afkomstig uit de NEN-EN 1995-1-1.
Om de rekenwaarde van het hout te bepalen wordt de volgende formule gebruikt:

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_m}$$

Waarbij X_k = De karakteristieke waarde van een sterkte eigenschap.

Voor de trek- en buigsterkte dient bovenstaande formule nog vermenigvuldigd te worden met de hoogtefactor K_h. De formule wordt dan:

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_m} * k_h$$

Waarin:

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \quad (1{,}0 \leq k_h \leq 1{,}1)$$

$$h = hoogte\ element\ in\ mm$$

De factor γ_m bestaat uit de partiële veiligheidsfactor. Met deze factor worden eventuele onzuiverheden en zwakheden in het materiaal in rekening gebracht. De volgende relevante partiële veiligheidsfactoren gelden voor CLT:

$$\gamma_m\ ULS\ gelamineerd\ hout/CLT = 1{,}25$$

$$\gamma_m\ ULS\ verbindingen = 1{,}30$$

Doormiddel van de factor K_{mod} wordt er rekening gehouden met de invloed van de belastingduur en vochtgehalte op het hout. Zodra er verschillende belastingduurklassen aanwezig zijn in een belastingcombinatie, dient volgens artikel 3.1.3 van de NEN-EN 1995-1-1 de modificatiefactor toegepast te worden van de belasting met de korte belastingduur (NEN-EN 1995-1-1, 2013).

In het tabellenboek van Blok (2014) zijn de volgende belastingduur factoren te vinden van gelamineerd hout:

Materiaal	Klimaat-klasse	Belastingduurklasse				
		Blijvend (eigen gewicht)	Lang (opslag)	Middellang (opgelegde bel.)	Kort (wind & sneeuw)	Zeer kort (bijzondere bel.)
Gelijmd gelamineerd hout	1	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1
	2	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1
	3	0,5/0,4	0,55/0,4	0,65/0,55	0,7/0,65	0,9/0,75
2e waarde geldt trek voor loodrecht op de vezelrichting						

Tabel 8 - k_{mod} waarde (Blok, 2014).

De klimaatklassen zijn als volgt gedefinieerd:

Klimaatklasse	Beschrijving
1	Binnen/ droog
2	Buiten onder dak
3	Buiten onbeschut/ onder water

Tabel 9 - Klimaat klasse (Woodteq, 2008).

Uit de literatuur blijkt echter dat CLT niet gebruikt mag worden in klimaatklasse 3 (Gagnon, & Pirvu, 2011; Danielsson, 2017, p. 32). Volgens de Eurocode 5 dient de houtdoorsnede te voldoen aan de volgende voorwaarden:

Trek evenwijdig aan de vezelrichting

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

Trek loodrecht op de vezelrichting

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}$$

Druk evenwijdig aan de vezelrichting

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

Druk loodrecht op de vezelrichting

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

Waarin:

$$A_{ef} = l + 2 * 30mm \ \leq a, l, \frac{l_1}{2}$$

$$l = opleglengte\ in\ de\ vezelrichting$$

$$k_{c,90} = 1{,}0$$

Tenzij:

$l_1 \geq 2h\ voor\ elementen\ op\ continue\ steunpunt$
$k_{c,90} = 1{,}5\ voor\ gelamineerd\ naaldhout$
$l_1 \geq 2h\ voor\ elementen\ op\ discrete\ steunpunten$
$k_{c,90} = 1{,}75$

Waarin:

h = hoogte van element

Buiging

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m = 0{,}7\ voor\ gelamineerd\ hout$$

Afschuiving

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Maximaal optredende buigspanning

Gamma methode

Voor deze berekening zijn de gegevens nodig die zijn bepaald bij het berekenen van de buigstijfheid van de doorsnede.

De maximaal optredende spanning in de doorsnede kan als volgt worden bepaald:

$$\sigma_{m,max} = \frac{M_{ed}E_1}{EI_{eff}} * (\gamma_1 * z_1 + 0{,}5h_1)$$

Waarin:

M_{ed} = Maximaal optredend moment in UGT.

E_1 = Elasticiteitsmodulus van de lamellen

γ_1 = Factor gamma γ van buitenste lamel.

z_1= De afstand tussen het middelpunt van de buitenste lamel en het zwaartepunt van de doorsnede.

h_1 = Dikte van de buitenste lamel.

Analoge afschuif methode

Om de maximale spanning wordt op basis van twee berekeningen bepaald. Bij het bepalen van de buigstijfheid zijn er twee buigstijfheden bepaald die samen de effectieve buigstijfheid van de doorsnede vormen, namelijk EI(a) en EI(b).

Allereerst dient het optredende moment te worden verdeeld over Ma en Mb op basis van stijfheid. Daaruit volgt:

$$M_A = \frac{EI_A}{EI_{eff}} * M_{ed} \;\; \& \;\; M_B = \frac{EI_B}{EI_{eff}} * M_{ed}$$

Vervolgens wordt er per lamel bepaald welke spanningen er optreden. Uiteindelijk wordt de maximale spanning bepaald door deze spanningen bij elkaar op te tellen.

$$\sigma_{A,i} = \pm \frac{M_{A,i}}{I_i} * \left(\frac{h_i}{2}\right)$$

Waarin:

$$M_{A,i} = \frac{E_i I_i}{EI_A} * M_A$$

$$\sigma_{B,i} = \frac{E_i * z_i}{EI_B} * M_B$$

$$\sigma_{max,i} = \sigma_{A,i} + \sigma_{B,i}$$

A.1.6.3 Stabiliteit

Volgens de eurocode dient de doorsnede getoetst te worden op de stabiliteit van de elementen. Voor de wanden geldt dat ze getoetst dienen te worden op knik. Dit dient te gebeuren aan de hand van paragraaf 6.3.2 van de NEN-EN 1995-1-1.

Volgens het CLT-handboek van Gagnon en Pirvu (2011) kan de effectieve slankheid van een element bepaald worden aan de hand van Bijlage C van de NEN-EN 1995-1-1 Mechanisch verbonden kolommen. De uitkomst van deze formule wordt gebruikt in plaats van de λ in formule 6.21 van de eurocode. Vervolgens kan de relatieve slankheid gebruikt worden in de formules van de eurocode die zijn vermeld in paragraaf 6.3.2 van de eurocode. De formule om de relatieve slankheid te bepalen luidt als volgt:

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_{eff}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

De effectieve slankheid die nodig is voor bovenstaande formule wordt als volgt bepaald:

$$\lambda_{eff} = l * \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{eff}}}$$

Waarin:

$$I_{eff} = \frac{EI_{eff}}{E_{mean}}$$

E_{mean} is de gemiddelde elasticiteitsmodulus van de lamellen die evenwijdig liggen aan de overspanningsrichting.

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - {\lambda_{eff}}^2}}$$

Waarin:

$$k = 0{,}5(1 + \beta_c(\lambda_{eff} - 0{,}3) + \lambda_{eff}^2)$$

$$\beta_c\ gelamineerd\ hout = 0{,}1$$

De doorsnede van de wand dient te voldoen aan de volgende voorwaarden om te voldoen op knik:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} \leq 1$$

Als de wand wordt belast door een normaalkracht en een moment dient de doorsnede te voldoen aan de volgende voorwaarden:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m = 0{,}7\ voor\ gelamineerd\ hout$$

A.1.7 Soorten verbindingen

Er zijn diverse verbindingen die toegepast kunnen worden bij CLT.

A.1.7.1 Schroefverbindingen



Figuur 26 – Schroefverbinding. *Handbook for CLT-buildings* (Rothoblaas, 2017, p. 58).

Schroefverbindingen zijn relatief eenvoudig toe te passen en zijn er in diverse varianten. Schroefverbindingen worden toegepast zodat de verbindingen demontabel zijn. De verbindingen kunnen uitgevoerd worden met grote schroeven die constructief sterk zijn. Verbindingen kunnen ook uitgevoerd worden in combinatie met staalplaten. Er worden dan een grotere hoeveelheid kleinere schroeven gebruikt om de constructieonderdelen te koppelen.

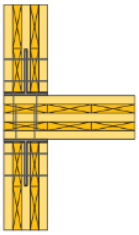


Figuur 27 – Stalenplaat met schroeven. *Handbook for CLT-buildings* (Rothoblaas, 2017, p. 72).

Schroefverbinding worden veel toegepast en zijn eenvoudig uit te voeren. Het voordeel van het werken met de constructieve schroeven is dat deze relatief klein zijn en goed uit het zicht weggewerkt kunnen worden. Het nadeel van het toepassen van staalplaten is dat deze in het zicht blijven en dat het noodzakelijk is om een voorzetwand toe te passen zodat deze verbindingen niet zichtbaar zijn.

A.1.7.2 Deuvelverbindingen

Bij deuvelverbindingen wordt er een stalen plaat in het midden van de wand geplaatst. Met behulp van deuvels wordt de wand aan de stalen plaat gekoppeld. Het voordeel van deze verbinding is dat de verbinding grotendeels in de constructie is verwerkt en daardoor buiten zicht blijft. Uit het interview met Hugo Immink bleek echter dat het toepassen van deuvels kan zorgen voor geluidslekken en dat dit niet de voorkeur heeft.



Figuur 28 – Deuvelverbinding. *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

A.1.7.3 Lijmankers

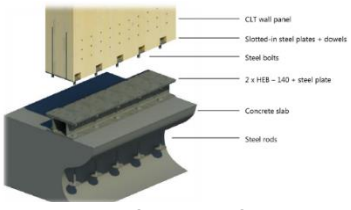
Bij het toepassen van lijmankers worden draadeinden in de constructie verlijmd. Uit de interviews is echter gebleken dat deze verbindingen bijna niet meer worden gebruikt, omdat deze belastend zijn voor het milieu en dat het gebouw daardoor niet meer demontabel is. Het voordeel is echter dat de verbinding buiten het zicht blijft.



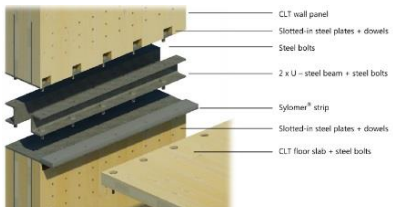
Figuur 29 - Verlijmde draadeinden. *Handbook for CLT-buildings* (Rothoblaas, 2017, p. 92).

A.1.7.4 Stalen profielen

Voor de verbindingen kunnen er stalen profielen gebruikt worden om elementen aan elkaar te koppelen. Deze verbindingen worden gekoppeld met bouten en deuvels.



Figuur 30 – Staalprofielen op fundering. *Design of an outrigger structure for tall timber buildings* (Boellaard, p. 72).



Figuur 31 - Staalprofielen op wand-wandverbinding. *Design of an outrigger structure for tall timber buildings* (Boellaard, p. 112).

A.1.8 Detaillering

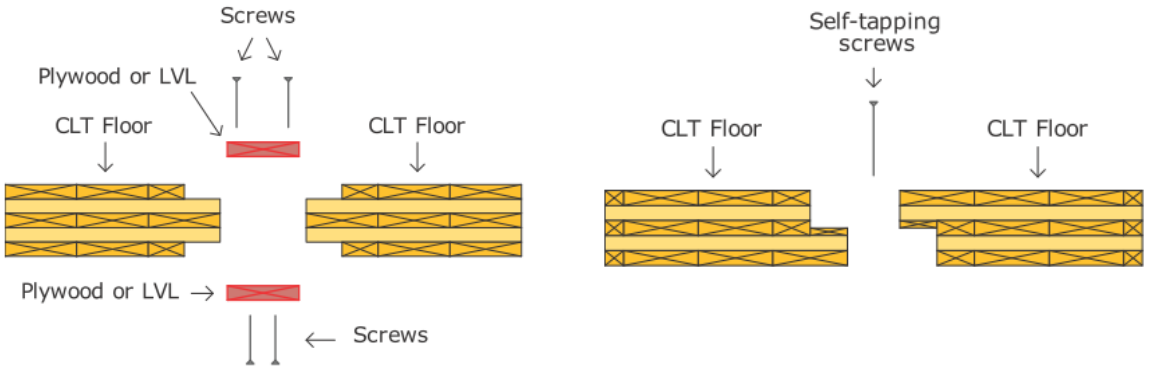
Er zijn verschillende soorten verbindingen mogelijk met CLT-bouwsystemen. Zo kan er een tand verbinding gerealiseerd worden of er kan een verbinding gemaakt worden met een stalen plaat. In onderstaande sub paragrafen zullen veel voorkomende schroefverbindingen worden opgenomen. Bij alle verbindingen is afdichttape nodig om de verbindingen luchtdicht te krijgen (Stora Enso, 2015).

A.1.8.1 Vloer – vloer verbinding

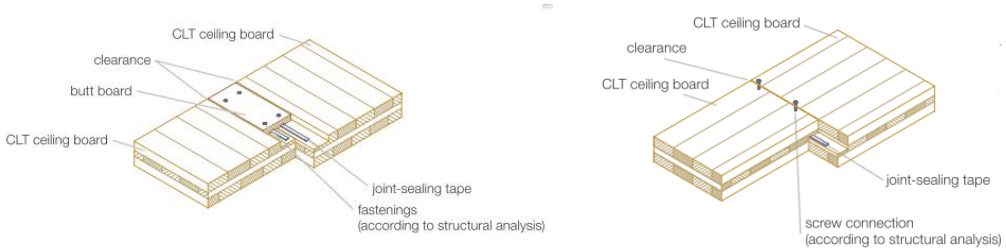
Er zijn diverse verbindingen te maken zodat de vloeren aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Deze verbinding kan voorkomen wanneer verschillende vloerplaten aan elkaar gekoppeld moeten worden.

Zoals in figuur 32 te zien is kan er een stuk van de bovenste en/of onderste lamel afgenomen worden zodat er een lamel geplaatst kan worden tussen de twee vloerpanelen. Door deze lamel vast te schroeven worden de twee elementen aan elkaar gekoppeld. Bij de tweede afbeelding van figuur 32 wordt er een tand verbinding gerealiseerd bij de twee panelen. Deze tandverbinding wordt aan elkaar geschroefd zodat deze aan elkaar verbonden worden.

De locatie van deze verbinding is van groot belang omdat het optredende moment en de optredende dwarskracht effect hebben op hoe sterk de verbinding uitgevoerd dient te worden.



Figuur 32 - Vloer - vloer verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

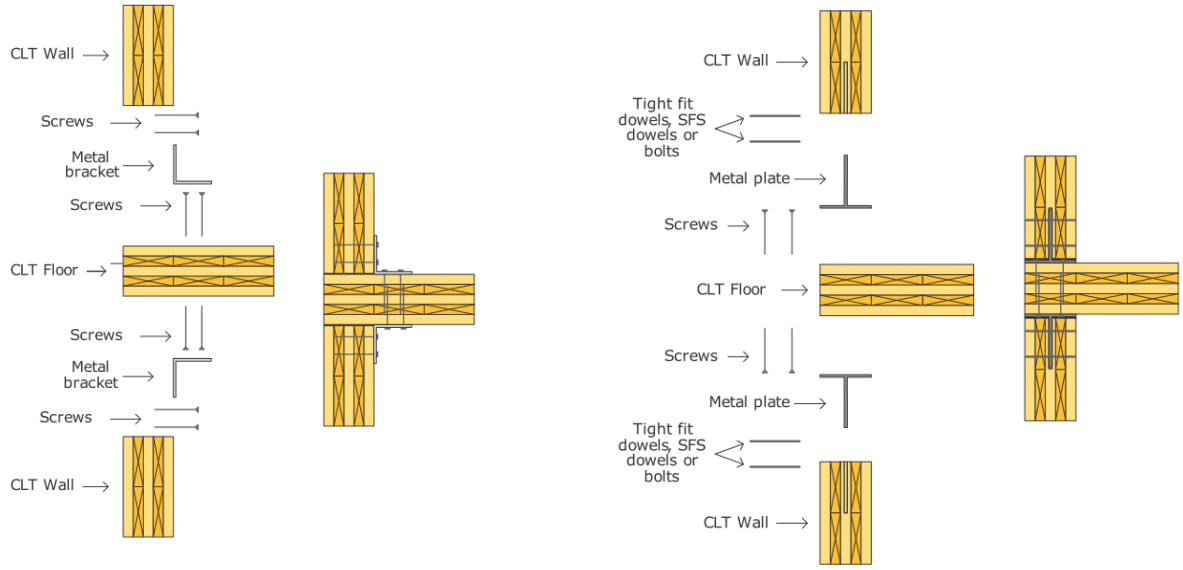


Figuur 33 - Vloer - vloer verbindingen. Overgenomen van *Stora Enso Wood Products: Building Solutions* (Stora Enso, 2015).

A.1.8.2 Wand - vloer verbinding

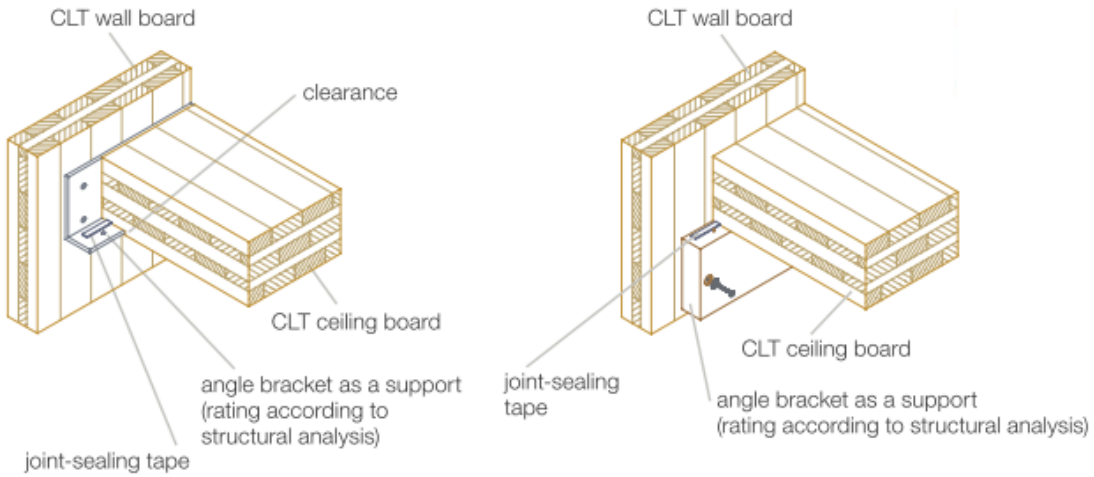
De verbinding tussen de vloeren en de wanden kunnen op verschillende manieren gemaakt worden. In onderstaande tekeningen is te zien hoe deze verbinding gemaakt kan worden.

In figuur 34 is te zien hoe er verschillende manieren zijn om de wanden met een stalen plaat aan de vloer te monteren. Bij de eerste afbeelding worden er kleine hoekstaaltjes gebruikt om de elementen aan elkaar te koppelen. Bij de tweede afbeelding wordt de CLT-wand op een stalen plaat gemonteerd. Op die manier is het staal uit het zicht en wordt het beter beschermd tegen brand. Deze verbindingen worden toegepast bij de platform bouwmethode.



Figuur 34 - Wand - vloer verbindingen. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

In figuur 35 is te zien hoe de vloer ook aan de wand opgehangen kan worden. De CLT-vloer kan worden opgelegd op een stalen hoekstaal of op een houten balkje. Dit wordt toegepast bij de balloon bouwmethode (zie paragraaf A.1.5.1).

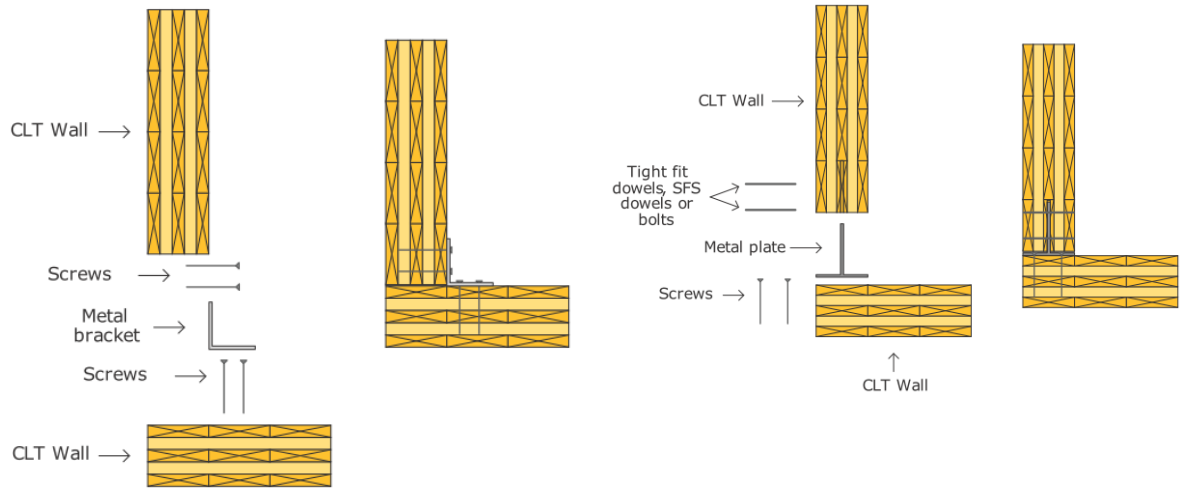


Figuur 35 - Wand - vloer verbindingen. Overgenomen van *Stora Enso Wood Products: Building Solutions* (Stora Enso, 2015).

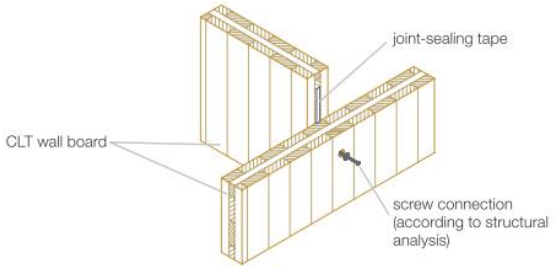
A.1.8.3 Wand – wand verbinding

Er zijn diverse verbindingen mogelijk bij een wand- wand verbinding. Zo kan het een verbinding zijn in horizontale richting of een verbinding in verticale richting.

In figuur 36 en 37 zijn de verbindingen te zien van wanden die horizontaal aan elkaar gekoppeld worden. Dit kan, net als bij de wand – vloer verbinding, met stalen plaatjes gerealiseerd worden of met schroeven.

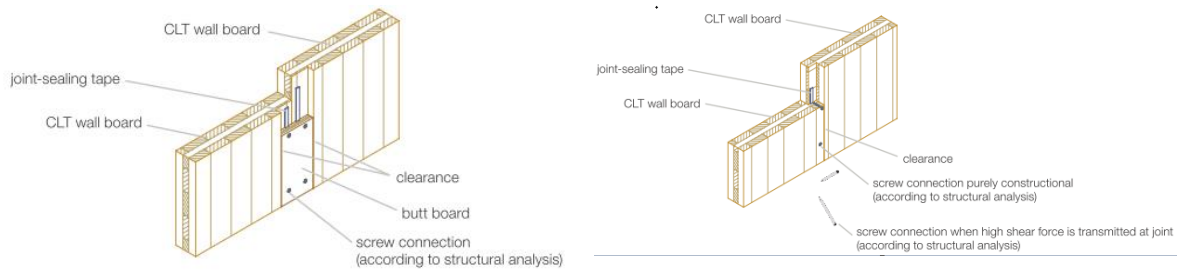


Figuur 36 - Wand - wand verbinding (horizontaal). Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).



Figuur 37 - Wand - wand verbinding (horizontaal). Overgenomen van *Stora Enso Wood Products: Building Solutions* (Stora Enso, 2015).

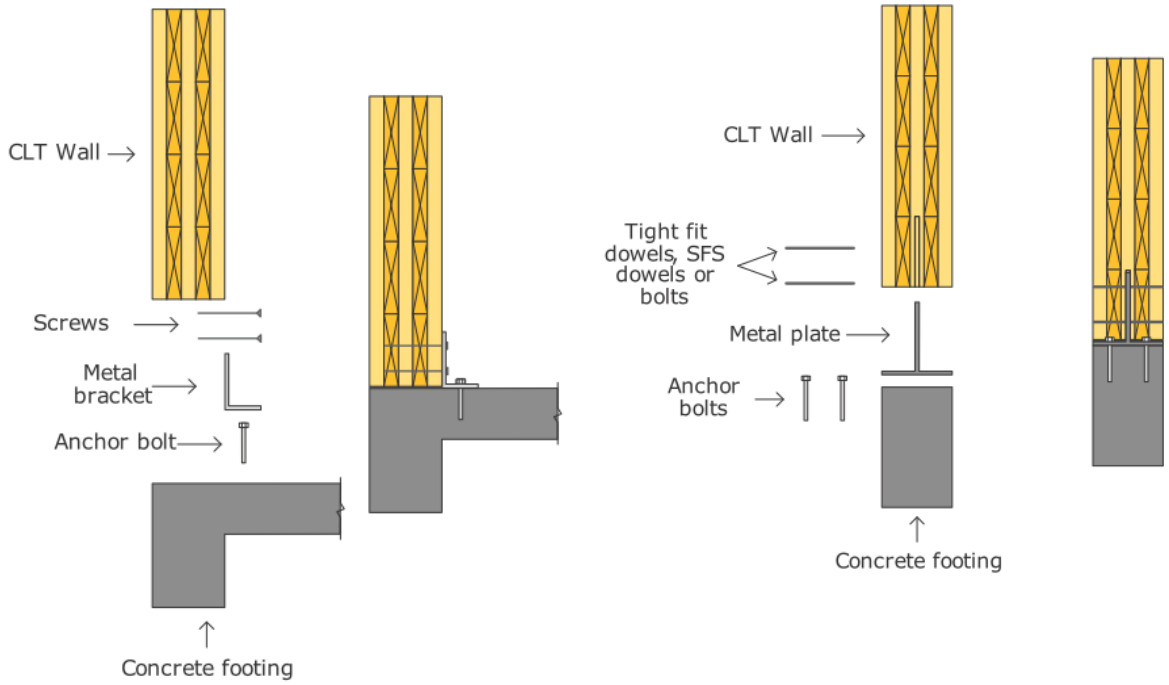
Bij de verticale verbindingen kan er, net als bij de vloer – vloer verbinding, gekozen worden voor een verbinding met een lamel die ertussen wordt geplaatst of een tandverbinding. Deze verbindingen kunnen ook gebruikt worden voor wanden die op elkaar worden geplaatst.



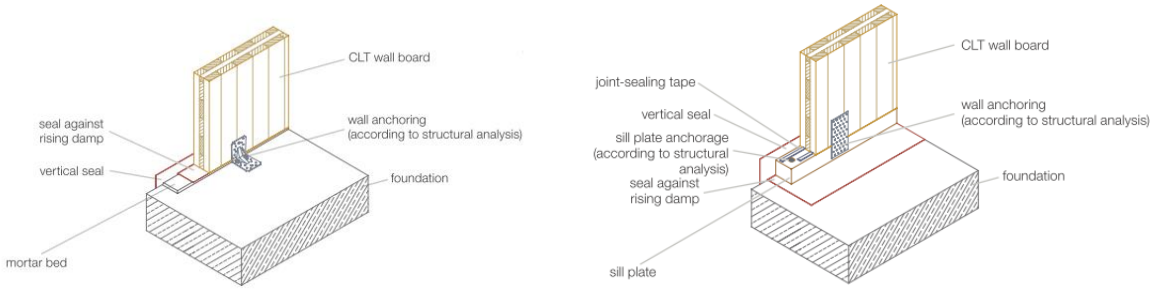
Figuur 38 - Wand - wand verbinding (verticaal). Overgenomen van *Stora Enso Wood Products: Building Solutions* (Stora Enso, 2015).

A.1.8.4 Wand – Begane grondvloer/fundering (beton) verbinding

In onderstaande figuren zijn diverse verbindingen opgenomen die laten zien welke verbindingen gemaakt kunnen worden tussen de wanden en de onderliggende fundering. Bij deze verbinding worden over het algemeen stalen plaatjes gebruikt en schroeven om de elementen aan elkaar te koppelen. De stalen plaatjes worden met behulp van ankers aan de fundering gekoppeld.



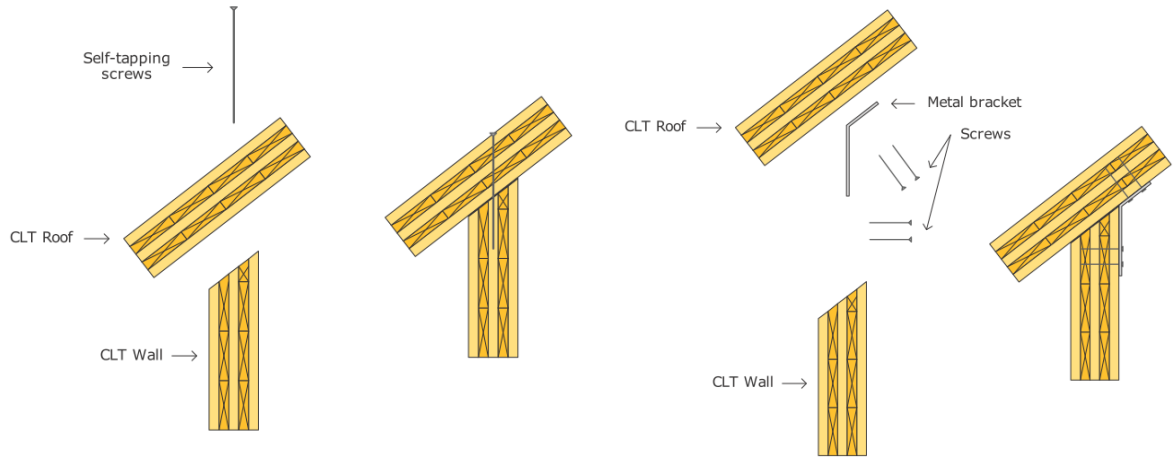
Figuur 39 - Wand - fundering verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).



Figuur 40 - Wand - fundering verbinding. Overgenomen van *Stora Enso Wood Products: Building Solutions* (Stora Enso, 2015).

A.1.8.5 Dak – wand verbinding

Bij de verbinding van het dak aan de wand worden stalen plaatjes gebruikt of worden de CLT-elementen aan elkaar geschroefd zonder extra verbindingselementen.



Figuur 41 - Wand - dak verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).



Figuur 42 - Wand - dak verbinding. Overgenomen van *Stora Enso Wood Products: Building Solutions* (Stora Enso, 2015).

A.1.9 Berekeningsmethode verbindingen

In dit hoofdstuk worden de rekenmethodes van de deuvel- en schroefverbindingen uitgewerkt.

A.1.9.1 Deuvels

A.1.9.1.1 Stuiksterkte hout bij deuvels

De stuiksterkte van het hout $f_{h,k}$ is bij het toepassen van deuvels maatgevend. Op basis van de maximaal toelaatbare spanning kan een passende deuvel gezocht worden die aan de sterkte voldoet. Volgens Bas Boellaard worden deuvels toegepast wanneer er extreem grote krachten optreden en kan er over het algemeen gebruik gemaakt worden van schroeven voor de verbindingen.

Karakteristieke stuiksterkte hout $f_{h,k}$ in Newtons per mm² bij deuvels:

$$f_{h,k} = \frac{0{,}031(1 - 0{,}015d) * {\rho_k}^{1{,}16}}{1{,}1 * \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2}$$

Waarbij:

d = diameter deuvel
ρ_k = Karakteristieke volumieke massa
α = De hoek van de belasting ten opzichte van de houtvezelrichting van de buitenste lamel.

Rekenwaarde stuiksterkte hout $f_{h,k}$ in Newtons per mm²:

$$f_{h,d} = k_{mod} * \frac{f_{h,k}}{\gamma_m}$$

Waarbij:

γ_m = Partiële factor verbindingen = 1,3

A.1.9.2 Schroefverbindingen

Schroefverbindingen worden over het algemeen gebruikt bij het bouwen met CLT. De grote van de schroef, de lengte van de schroef en de oriëntatie van de houtvezel ten opzichte van de schroef hebben invloed op de sterkte van de verbinding.

A.1.9.2.1 Vloeimoment schroef

Het vloeimoment van een schroef met een diameter ≤ Ø6 wordt als volgt bepaald:

$$M_{y,rk} = 0{,}45 f_u d^{2{,}6}$$

Bij een diameter > Ø6 geldt:

$$M_{y,rk} = 0{,}3 f_u d^{2{,}6}$$

Waarbij:

f_u= treksterkte van het staal. (Aangenomen op 800 N/mm²).
d = diameter van de schroef

A.1.9.2.2 Stuiksterkte bij schroef

Voor schroeven die loodrecht op de vezel worden aangebracht geldt de volgende formule om de stuiksterkte te bepalen volgens Blaß en Uibel (2012):

$$f_{h,k} = 0{,}019 d^{-0{,}3} * {\rho_{k,hout}}^{1{,}24} \; [N/mm^2]$$

Voor schroeven die evenwijdig aan de vezel worden aangebracht geldt de volgende formule om de stuiksterkte te bepalen:

$f_{h,k} = 0{,}8622d^{-0{,}46} * {\rho_{k,hout}}^{0{,}56}\ [N/mm^2]$

Waarbij:
d = diameter schroef
$\rho_{k,hout} =$ is het soortelijk gewicht van het hout $= 350$ kg/m³

De stuiksterkte van multiplex wordt als volgt bepaald:

$f_{h,k} = 0{,}11d^{-0{,}3} * \rho_k\ [N/mm^2]$

Waarbij:
ρ_k= soortelijk gewicht van multiplex = 600 kg/m³

A.1.9.2.3 Uittreksterkte schroef

Voor schroeven die loodrecht op de vezel worden aangebracht geldt de volgende formule om de uittreksterkte te bepalen volgens Blaß en Uibel (2012):

$$F_{ax,k,rk} = \frac{31d^{0,8}{l_{ef}}^{0,9}}{1{,}5 * \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2}$$

Waarbij:
α = de hoek van de schroef ten opzichte van de houtvezel.
l_{ef} = de lengte van het schroefdraad

A.1.9.2.4 Koordeffect

Voor het berekenen van de waarde van het koordeffect wordt de volgende formule gebruikt uit de NEN-EN 1995-1-1:

$$F_{ax,rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,rk} d l_{ef} k_d}{1{,}2 * \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2}$$

Waarbij:

n_{ef} = meewerkend aantal schroeven = $n^{0,9}$
n = aantal schroeven
d = diameter schroef
L_{ef} = lengte van schroefdraad
$\alpha =$ De hoek van de schroef ten opzichte van de houtvezelrichting.
Kd = Min. [d/8;1]
$f_{ax,rk} = 0{,}52d^{-0{,}5}{l_{eff}}^{-0{,}1}{\rho_k}^{0{,}8}$

Deze waarde wordt meegenomen met het bepalen van de sterkte van de verbinding. Wanneer er verschillende materialen wordt gebruikt, zoals multiplex en hout, dient de kleinste waarde van het koordeffect meegenomen te worden bij het bepalen van de sterkte.

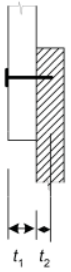
A.1.9.2.5 Toetsing hout-op-hout en plaat-op-houtverbinding

De sterkte van een hout-op-hout en plaat-op-hout verbinding wordt als volgt bepaald (Volgens de NEN-EN 1995-1-1, artikel 8.2.2).

Bij een enkelvoudige doorsnede dient de verbinding getoetst te worden aan de volgende eisen volgens de NEN-EN 1995-1-1 (Vergelijking 8.6):

$F_{v,rk,a} = f_{h,1,k} t_1 d$

$F_{v,rk,b} = f_{h,2,k} t_2 d$



Figuur 43 - Dubbelsnedige verbinding. Overgenomen van *NEN-EN 1995-1-1* (Normcommissie 351 001, 2015).

$$F_{v,rk,c} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta}\left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left(1 + \frac{t_1}{t_2} + \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2\right) + \beta^3 \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2} - \beta\left(1 + \frac{t_1}{t_2}\right)\right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

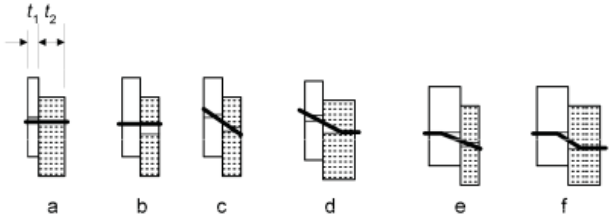
$$F_{v,rk,d} = 1{,}05\frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta}\left[\sqrt{2\beta(1+\beta)\frac{4\beta(2+\beta)M_{y,rk}}{f_{h,1,k} {t_2}^2 d}} - \beta\right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

$$F_{v,rk,e} = 1{,}05\frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta}\left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta)\frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,rk}}{f_{h,1,k} {t_2}^2 d}} - \beta\right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

$$F_{v,rk,f} = 1{,}15\sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}}\sqrt{2M_{y,rk} * f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

Waarbij:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$



Figuur 44 – Bezwijkmechanismen enkelsnedige verbinding. Overgenomen van *NEN-EN 1995-1-1* (Normcommissie 351 001, 2015).

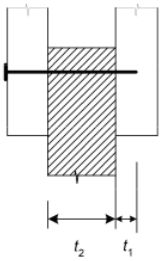
Bij een dubbelsnedige doorsnede gelden de volgende bezwijkmethode waaraan de verbinding getoetst dient te worden volgens de NEN-EN1995-1-1 (vergelijking 8.7):

$$F_{v,rk,g} = f_{h,1,k} t_1 d$$

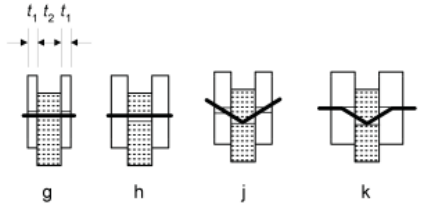
$$F_{v,rk,h} = 0{,}5 f_{h,2,k} t_2 d$$

$$F_{v,rk,i} = 1{,}05\frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta}\left[\sqrt{2\beta(1+\beta)\frac{4\beta(2+\beta)M_{y,rk}}{f_{h,1,k} {t_1}^2}} - \beta\right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

$$F_{v,rk,j} = 1{,}15\sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}}\sqrt{2M_{y,rk} * f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$



Figuur 45 – Dubbelsnedige verbinding. Overgenomen van *NEN-EN 1995-1-1* (Normcommissie 351 001, 2015).



Figuur 46 – Bezwijkmechanismen dubbelsnedige verbinding. Overgenomen van *NEN-EN 1995-1-1* (Normcommissie 351 001, 2015).

De kleinste waarde van bovenstaande formules wordt gebruikt voor de maximaal toelaatbare belasting per schroef.

A.1.9.2.6 Toetsing staal-op-houtverbinding

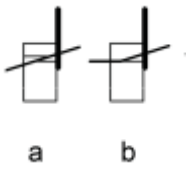
Wanneer een staalplaat wordt toegepast om de verbinding te realiseren tussen de wand en de vloer gelden de volgende bezwijkmethode waaraan de verbinding getoetst dient te worden volgens de NEN-EN1995-1-1 (vergelijking 8.9) uitgaande van een dunne staalplaat:

$$F_{v,rk,a} = 0{,}4 f_{h,k} t_1 d$$

$$F_{v,rk,b} = 1{,}15\sqrt{2M_{y,rk} * f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

Waarbij:

$f_{h,k}$= stuiksterkte van het hout
t_1= dikte van het hout waar schroef is ingebracht



Figuur 47 – Bezwijkmechanismen dunne staalplaat verbinding. Overgenomen van NEN-EN 1995-1-1 (Normcommissie 351 001, 2015).

A.1.10 Ontwerpaspecten

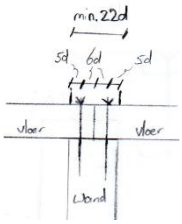
A.1.10.1 Paneeldikte

Naast de constructieve eisen van sterkte, stijfheid en stabiliteit zijn er nog andere aspecten die bepalend zijn voor het dimensioneren van de panelen. Allereerst dient men na te gaan of het wenselijk is dat het paneel nog afgewerkt wordt of dat het in het zicht blijft. Wanneer het paneel niet wordt afgewerkt dient het paneel de gehele brandwerendheid op zich te nemen. Daardoor dient het paneel dikker uitgevoerd te worden, omdat er gedurende de gehele brandtijd materiaal verloren gaat. Wanneer er een afwerking wordt toegepast zal deze meewerken in de brandwerendheid en zal het paneel niet de gehele brandduur aangetast worden.

Wanneer er schroeven in het vlak van de wand worden toegepast, kan dit effect hebben op de minimaal toe te passen wanddikte. De schroeven hebben namelijk een minimale afstand ten opzichte van de randen van de wand.

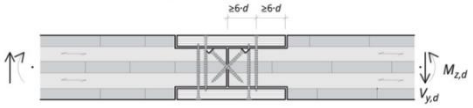
A.1.10.2 Deling vloeren

Er zijn verschillende manieren om de vloeren aan elkaar te koppelen. Er kan voor gekozen worden om de vloerdeling onder een wand plaats te laten vinden (figuur 48). Dit heeft echter grote gevolgen voor de toe te passen wanddikte. De schroeven die gebruikt worden voor het koppelen van de vloeren aan de wand hebben namelijk een minimale schroefafstand. Wanneer er een schroef van Ø11mm toegepast wordt, is er aan beide zijde 60 mm afstand nodig tot aan de rand. Dit betekent dat er een wanddikte van 240mm nodig zou zijn om de vloeren op de wand te leggen.



Figuur 48 - Vloerdeling onder wand

De deling van de vloeren kan ook in het veld worden aangebracht. De koppeling die in dat geval wordt toegepast dient de dwarskrachten en de momenten die in de vloer optreden op te kunnen nemen. Deze koppeling is ook nodig om de vloer als één schijf te laten werken. Daardoor zullen er schuifspanningen in de koppeling optreden en deze dienen opgenomen te worden door de verbinding. In figuur 49 is te zien hoe deze verbinding uitgevoerd kan worden.



Figuur 49 – Vloer-vloerverbinding. Overgenomen van *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

A.1.10.2 Afwerking

Een afwerking kan gebruikt worden ter plaatse van de vloer of de wand om de geluidswering van de constructie te verbeteren en/of om de brandwerendheid te vergroten. Het nadeel is echter dat er dan veel handelingen op de bouw moeten gebeuren en dat kost veel geld. Wanneer het wenselijk is dat de wanden en het plafond in het zicht blijven is het noodzakelijk dat deze onderdelen dikker worden uitgevoerd. Dit is noodzakelijk om aan de brandwerendheideisen te voldoen. In tabel 10 is te zien welke paneeldikte er in dat geval minimaal nodig is. Daarnaast dienen er maatregelen genomen te worden om de constructie te laten voldoen aan de geluidseisen. Wanneer de wanden onbekleed worden uitgevoerd is het noodzakelijk dat er een gescheiden constructie wordt toegepast om aan de geluidseisen te voldoen. Dit houdt in dat er twee CLT-panelen worden geplaatst met daartussen een spouw waar isolatie in geplaatst kan worden.

Brandwerendheideis (Minuten)	Minimale paneeldikte (mm)
60	120
90	160
120	200

Tabel 10 - Minimale wanddikte bij onbeklede CLT-panelen

Het nadeel van een onbeklede constructie is echter dat de leidingen in de wand verwerkt dienen te worden. Dit kan gerealiseerd worden door sleuven in het paneel te frezen en daar de leidingen in te verwerken. Het is echter in de uitvoering noodzakelijk dat dit netjes wordt afgewerkt. Daarnaast zijn de toe te passen verbindingen beperkt, omdat deze uit het zicht moeten blijven.

In onderstaande tabel zijn de verschillende ontwerpmogelijkheden van de constructie om te voldoen aan de brand en geluidseisen.

	Voordelen	Nadelen
Enkele wand met afwerking	➢ Verbindingen worden uit het zicht gewerkt. ➢ Leidingen kunnen in de afwerking verwerkt worden en kunnen eenvoudiger bereikt worden in de toekomst. ➢ Gunstig m.b.t. brandwering. ➢ Gunstig m.b.t. geluidswering. ➢ Bij brand zal in eerste instantie de afwerking aangetast worden voordat de constructie wordt aangetast. De afwerking is eenvoudiger te vervangen dan de constructie.	➢ Arbeidsintensief ➢ Kostbaar ➢ Moet secuur afgewerkt worden om geluidslekken te voorkomen.
Onbeklede constructie i.c.m. gescheiden constructie	➢ Constructie kan als zichtwerk uitgevoerd worden. ➢ Gunstig m.b.t. geluidwering.	➢ Leidingwerk moet in of achter de wand verwerkt worden en is daardoor moeilijker te bereiken wanneer dit vervangen moet worden. ➢ Verbindingen zijn in het zicht. Beperkt aantal verbindingen toe te passen. ➢ Meer constructiemateriaal nodig. ➢ Scheurtjes die ontstaan in de constructie door de tijd heen zijn zichtbaar. ➢ Bij brand wordt de draagconstructie direct aangetast.

Tabel 11 - Voor- en nadelen van beklede en onbeklede constructie

Met bovenstaande overzicht is er duidelijk gemaakt wat de voor en nadelen zijn van de twee gebruikte oplossingen voor brand- en geluidswering.

Op basis van de bovenstaande gegevens kan er geconcludeerd worden dat het toepassen van een afwerking gunstiger is dan het toepassen van een gescheiden constructie[6]. Dit zal in de casus dan ook

[6] Competentie oordeelsvorming

worden toegepast. Echter, de wens van de opdrachtgever om het hout in het zicht te hebben kan hierin doorslaggevend zijn. Bij het toepassen van een voorzetwand is het echter wel belangrijk dat deze zorgvuldig wordt aangebracht. Uit de interviews bleek namelijk dat wanneer dit niet gebeurt en deze slordig wordt geplaatst, de kans bestaat dat er geluidslekken ontstaan.

A.1.11 Voor- en nadelen

Vergelijking met houtskelet bouw (HSB)

Ten opzichte van CLT heeft houtskeletbouw (HSB) een aantal voordelen. Bij houtskeletbouw kan er tussen het houtenskelet isolatie geplaatst worden. Bij CLT zal de isolatie aan de binnen- of buitenzijde van de wand geplaatst moeten worden. Daardoor is er een grotere wanddikte nodig om aan de isolatie-eisen te voldoen. Doordat HSB alleen een houtskelet heeft is een HSB-constructie een stuk lichter.

Een voordeel van CLT ten opzichte van HSB is dat de binnenzijde van de wand niet per definitie afgewerkt hoeft te worden met een gipsplaat. Als de bewoner dat wenst kan de binnenzijde onafgewerkt blijven. Doordat HSB weinig massa heeft, warmt het materiaal snel op in de zomer. Dat heeft een negatief effect op het binnenklimaat en daar zullen passende maatregelen voor genomen moeten worden (groothuisbouw, z.d.). Doordat CLT kruislings met elkaar is verlijmd zal krimp en uitzetting van het materiaal gering zijn. Bij HSB zal het hout meer werken. Doordat CLT meer massa heeft is het brandveiliger dan HSB.

CLT bestaat uit massieve panelen. Daardoor is de stabiliteit van de constructie eenvoudiger te waarborgen dan bij HSB. Daar zullen extra maatregelen genomen moeten worden om de stabiliteit te waarborgen. Doordat HSB van zichzelf instabieler is dan massieve panelen, is het lastiger om dit product toe te passen in hoogbouw. Daarnaast moet alle belasting door de stijlen van de HSB-wand opgevangen worden. Bij grote belastingen zijn er veel stijlen nodig.

Vergelijking met staal en beton

Een voor- en nadeel van CLT-bouwsystemen is dat het in vergelijking met staal en beton erg licht is. Het voordeel is dat de fundering minder zwaarbelast wordt en daardoor minder zwaar gedimensioneerd hoeft te worden. Het nadeel is echter dat de stabiliteit van gebouwen met dit bouwsysteem lastiger te waarborgen is. De grote belastingen op de fundering zorgen er ook voor dat er minder snel trek in de fundering ontstaat door de windbelasting. Als er minder gewicht op de fundering staat zal er dus eerder trek ontstaan in de fundering en de panelen. Dat betekent dat er maatregelen genomen moeten worden om de stabiliteit te waarborgen en zullen de verbindingen daarop berekend moeten worden.

Een voordeel ten opzichte van beton is dat de bouwsnelheid vele malen hoger is. Een constructie in beton heeft tijd nodig om uit te harden. Als er met prefabbeton wordt gewerkt is de kans groot dat er met natte knopen wordt gewerkt. Dat betekent dat de betonelementen met mortel aan elkaar worden gestort. Dit heeft tijd nodig om uit te harden. Daarnaast zijn prefabbeton elementen een stuk zwaarder en is er zwaarder materieel nodig om de elementen op hun plek te hijsen. Als het beton in het werk wordt gestort is er veel transport nodig om het beton aan te voeren.

Zoals eerdergenoemd heeft CLT betere thermische eigenschappen dan beton of staal. Daardoor is er minder materiaal nodig om aan de thermische isolatie-eisen te voldoen. Het voordeel van beton is dat er door de massa eerder wordt voldaan aan de geluidsisolatie eisen. Bij CLT-panelen zullen er extra maatregelen genomen moeten worden om aan de geluidseisen te voldoen.

CLT en staal zijn niet goed met elkaar te vergelijken omdat staal op een andere manier wordt toegepast dan CLT en beton. Waar beton en CLT als massieve elementen worden toegepast, wordt staal toegepast als skelet.

Bijlage A.2 – Rekenvoorbeeld[7] [8]

A.2.1 Rekenvoorbeeld vloerplaat

Het rekenvoorbeeld van de vloerplaat is uitgevoerd aan de hand van het CLT handbook van Gagnon en Pirvu (2011) en CLTdesigner van de TU Graz.

In dit voorbeeld worden de verschillende rekenmethodes toegepast voor het berekenen van een vloerplaat. De resultaten van de handberekeningen en de computerberekeningen worden naast elkaar gezet. De volgende berekeningsmethode worden met elkaar vergeleken:

4. De gamma methode (Op basis van *Mechanisch verbonden liggers* Bijlage B NEN-EN 1995-1-1).
5. De K-methode (Composite Theory, Timoshenko).
6. Analoge afschuif methode

A.2.1.1 Vloeropbouw

5 lamellen met de volgende opbouw:
Lamel 1: 40 mm (Evenwijdig aan overspanningsrichting)
Lamel 2: 20 mm (Loodrecht op overspanningsrichting)
Lamel 3: 40 mm (Evenwijdig aan overspanningsrichting)
Lamel 4: 20 mm (Loodrecht op overspanningsrichting)
Lamel 5: 40 mm (Evenwijdig aan overspanningsrichting)

Overspanning vloer: 4,2 meter.
Breedte vloerstrook: 1 meter.
qek = 3,53 kN/m
qed = 5 kN/m
Med = 1/8 * 5 * 4,2² = 11,03 kNm

Houtkwaliteit C24
E_0 = 11.000 N/mm²
E_{90} = 370 N/mm²
G_0 = 690 N/mm²
G_r = 50 N/mm²

A.2.1.2 Rekenmethodes

A.2.1.2.1 Doorbuiging

Gamma methode

Alleen de lamellen die evenwijdig aan de overspanningsrichting zijn geplaatst worden meegenomen in de berekening van EI_{eff}.

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n} E_i I_i + \gamma E_i A_i {z_i}^2$$

Doordat de doorsnede symmetrisch is geldt:

$$\gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + (\pi^2 * \frac{E_1 * A_1}{l^2} * \frac{h}{G_r * b})} => \frac{1}{1 + (\pi^2 * \frac{11.000 * 1000 * 40}{4200^2} * \frac{20}{50 * 1000})} = 0{,}9104$$

[7] Competentie vakmanschap
[8] Competentie kritisch

Bij de middelste lamel geldt:
$\gamma_3 = 1$

Het zwaartepunt ligt bij deze symmetrische doorsnede precies in het midden. Het zwaartepunt is dan:
Z = 160/2 = 80 mm

$$Y_1 = 40 + 20 + 40 + 20 + \frac{40}{2} = 140\ mm$$
$$Y_2 = 40 + 20 + 40 + \frac{20}{2} = 110\ mm$$
$$Y_3 = 40 + 20 + \frac{40}{2} = 80\ mm$$
$$Y_4 = 40 + \frac{20}{2} = 50\ mm$$
$$Y_5 = \frac{40}{2} = 20\ mm$$

De afstand tussen het hart van de lamellen tot het zwaartepunt is dan:

$$z_1 = Z - Y_1 => 80 - 140 = -60\ mm$$
$$z_3 = 0$$
$$z_5 = Z - Y_5 => 80 - 20 = 60\ mm$$

De berekening van de buigstijfheid wordt dan:

$$EI_{eff} = (E_1 I_1 + \gamma_1 E_1 A_1 {z_1}^2) + (E_3 I_3 + \gamma_3 E_3 A_3 {z_3}^2) + (E_5 I_5 + \gamma_5 E_5 A_5 {z_5}^2)$$

$$EI_{eff} = \left(11.000 * \frac{1.000 * 40^3}{12} + 0{,}9104 * 11.000 * (1.000 * 40) * 60^2\right) + \left(11.000 * \frac{1.000 * 40^3}{12} + 1 * 11.000 * (1.000 * 40) * 0^2\right) + \left(11.000 * \frac{1.000 * 40^3}{12} + 0{,}9104 * 11.000 * (1.000 * 40) * 60^2\right) = 3{,}06 * 10^{12}\ Nmm^2$$

Doorbuiging:

De doorbuiging wordt bepaald met de volgende formule (excl. kruip).

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * q * l^4}{384 * EI_{eff}}$$

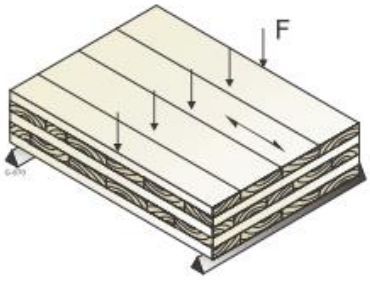
$$\mu_{inst.} = \frac{5 * 3{,}53 * 4200^4}{384 * 3{,}06 * 10^{12}} = 4{,}67\ \text{mm}$$

K-methode (Timoshenko)

$$EI_{eff} = E_{b,0,eff} * I$$

$$E_{b,0,eff} = E_0 * k$$

$$k_1 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{\alpha_{m-2}^3 - \alpha_{m-4}^3 \pm \alpha_1^3}{\alpha_m^3}$$



Figuur 1 - K-methode. Overgenomen van CLT Handbook (Gagnon, & Pirvu, 2011).

$$k_1 = 1 - \left(1 - \frac{370}{11.000}\right) * \frac{(160-80)^3 - (160-120)^3}{160^3} = 1 - 0{,}96636 * 0{,}10934 = 0{,}8943$$

$$E_{b,0,eff} = 11.000 * 0{,}8943 = 9.837{,}4 \text{ N/mm}^2$$

$$EI_{eff} = 9.837{,}4 * \left(\frac{1000 * 160^3}{12}\right) = 3{,}3578 * 10^{12}\ Nmm^2$$

Daarnaast wordt er bij deze rekenmethode rekening gehouden met de vervorming ten gevolge van afschuiving. Hier worden alle lamellen bij meegenomen.

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left(\left(\frac{h_1}{2 * G_1 * b}\right) + \left(\Sigma_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i * b}\right) + \left(\frac{h_n}{2 * G_n * b}\right)\right)}$$

$$a = h_{tot} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2} => 160 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} = 120\ mm$$

$$GA_{eff} = \frac{120^2}{\left(\left(\frac{40}{2 * 690 * 1000}\right) + \left(\frac{20}{50 * 1000} + \frac{40}{690 * 1000} + \frac{20}{50 * 1000}\right) + \left(\frac{40}{2 * 690 * 1000}\right)\right)} = 15.721.519\ N$$

Doorbuiging

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * q * l^4}{384 * EI_{eff}} * \frac{1}{8} * \frac{q * l^2 * k}{GA_{eff}}$$

Waarbij:
K = 1,2 (Gagnon, & Pirvu, 2011, Chapter 3 p. 18).

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * 3{,}53 * 4200^4}{384 * 3{,}3578\ * 10^{12}} * \frac{1}{8} * \frac{3{,}53 * 4200^2 * 1{,}2}{15.721.519} = 4{,}259 + 0{,}59 = 4{,}85\ mm$$

Analoge afschuifmethode

Allereerst zal het zwaartepunt van de doorsnede worden bepaald. Bij een symmetrische doorsnede, waar alle lamellen dezelfde eigenschappen hebben, het zwaartepunt in het midden van de doorsnede ligt. In dit geval zal het alsnog berekend worden.

$$\text{Zwaartepunt doorsnede } Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i A_i Y_i}{\sum_{i=1}^{n} E_i I_i}$$

Afstand van hart van een lamel tot rekenpunt doorsnede (0,0).

$$Y_1 = 40 + 20 + 40 + 20 + \frac{40}{2} = 140\ mm$$

$$Y_2 = 40 + 20 + 40 + \frac{20}{2} = 110\ mm$$

$$Y_3 = 40 + 20 + \frac{40}{2} = 80\ mm$$

$$Y_4 = 40 + \frac{20}{2} = 50\ mm$$

$$Y_5 = \frac{40}{2} = 20\ mm$$

$$E_1 A_1 Y_1 = 11.000 * 1000 * 40 * 140 = 6{,}16 * 10^{10}$$
$$E_2 A_2 Y_2 = 370 * 1000 * 20 * 110 = 8{,}14 * 10^{8}$$

$E_3A_3Y_3 = 11.000 * 1000 * 40 * 80 = 3{,}52 * 10^{10}$
$E_4A_4Y_4 = 370 * 1000 * 20 * 50 = 3{,}7 * 10^{8}$
$E_5A_5Y_5 = 11.000 * 1000 * 40 * 20 = 8{,}8 * 10^{9}$

$$E_1I_1 = 11.000 * \frac{1000 * 40^3}{12} = 5{,}867 * 10^{10}\ mm^4$$
$$E_2I_2 = 370 * \frac{1000 * 20^3}{12} = 2{,}467 * 10^{8}\ mm^4$$
$$E_3I_3 = 11.000 * \frac{1000 * 40^3}{12} = 5{,}867 * 10^{10}\ mm^4$$
$$E_4I_4 = 370 * \frac{1000 * 20^3}{12} = 2{,}467 * 10^{8}\ mm^4$$
$$E_5I_5 = 11.000 * \frac{1000 * 40^3}{12} = 5{,}867 * 10^{10}\ mm^4$$

$$Z = \frac{6{,}16 * 10^{10} + 8{,}14 * 10^{8} + 3{,}52 * 10^{10} + 3{,}7 * 10^{8} + 8{,}8 * 10^{9}}{5{,}867 * 10^{10} + 2{,}467 * 10^{8} + 5{,}867 * 10^{10} + 2{,}467 * 10^{8} + 5{,}867 * 10^{10}} = 80\ mm$$

$$EI_{eff} = EI_{(A)} + EI_{(B)}$$

Waarin:

$$EI_{(A)} = \sum_{i=1}^{n} E_iI_i$$
$$EI_{(B)} = \sum_{i=1}^{n} E_iA_i{z_i}^2$$

$$EI_{(A)} = 5{,}867 * 10^{10} + 2{,}467 * 10^{8} + 5{,}867 * 10^{10} + 2{,}467 * 10^{8} + 5{,}867 * 10^{10}$$
$$= 1{,}76 * 10^{11} Nmm^2$$

De afstand tussen het hart van de lamellen tot het zwaartepunt is dan:

$z_1 = Z - Y_1 => 80 - 140 = -60\ mm$
$z_3 = Z - Y_3 => 80 - 80 = 0\ mm$
$z_5 = Z - Y_5 => 80 - 20 = 60\ mm$

$$EI_{(B)} = 11.000 * 1000 * 40 * -60^2 + 370 * 1000 * 20 * -30 + 11.000 * 1000 * 40 * 0^2 + 370 * 1000 * 20 * 30 + 11.000 * 1000 * 40 * 60^2 = 3{,}1813 * 10^{12}\ Nmm^2$$

$$EI_{eff} = 1{,}765 * 10^{11} + 3{,}1813 * 10^{12} = 3{,}3578 * 10^{12}\ Nmm^2$$

Daarnaast wordt er bij deze rekenmethode rekening gehouden met de vervorming ten gevolge van afschuiving. Hier worden alle lamellen bij meegenomen.

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left(\left(\frac{h_1}{2 * G_1 * b}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i * b}\right) + \left(\frac{h_n}{2 * G_n * b}\right)\right)}$$

$$a = h_{tot} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2} => 160 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} = 120\ mm$$

$$GA_{eff} = \frac{120^2}{\left(\left(\frac{40}{2*690*1000}\right) + \left(\frac{20}{50*1000} + \frac{40}{690*1000} + \frac{20}{50*1000}\right) + \left(\frac{40}{2*690*1000}\right)\right)} = 15.721.519$$

Doorbuiging

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * q * l^4}{384 * EI_{eff}} * \frac{1}{8} * \frac{q * l^2 * k}{GA_{eff}}$$

Waarbij:
K = 1,2 (Gagnon, & Pirvu, 2011, Chapter 3 p. 18).

$$\mu_{inst.} = \frac{5 * 3{,}53 * 4200^4}{384 * 3{,}3578 * 10^{12}} * \frac{1}{8} * \frac{3{,}53 * 4200^2 * 1{,}2}{15.721.519} = 4{,}259 + 0{,}59 = 4{,}85\ mm$$

Resultaten

In onderstaande tabel zijn de uitkomsten naast elkaar weergeven.

Methode	Gamma	Analoog	K-methode
Zakking	4,67 mm	4,85 mm	4,85 mm

Tabel 1 - Resultaten handberekening

Uit het programma CLTdesigner komen de volgende uitkomsten:

Methode	Gamma	Analoog	K-methode
Zakking	4,67 mm	4,7 mm	4,7 mm

Tabel 2 - Resultaten CLTdesigner

De handberekening van de gamma methode komt overeen met de computerberekening van CLTdesigner. Bij de analoge methode en de k-methode is de uitkomst van de handberekening hoger dan de computerberekening.

A.2.1.2.2 Optredende spanning

In deze vergelijking wordt de maximaal optredende buigspanning bepaald die ontstaat door het optredende moment. De handberekening van de K-methode van Timoshenko wordt bij deze berekening buiten beschouwing gelaten, omdat bepaalde waarde van de berekening niet achterhaald konden worden.

Gamma methode

De maximaal optredende buigspanning wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$\sigma_{m,max} = \frac{M_{ed}E_1}{EI_{eff}} * (\gamma_1 * z_1 + 0{,}5h_1)$$

Om de maximale spanning te bepalen zal de buitenste lamel gepakt worden.

$$M_{ed} = \frac{1}{8} * qed * l^2 => \frac{1}{8} * 5 * 4{,}2^2 = 11{,}03\ kNm$$

$$\sigma_{m,max} = \frac{11{,}03 * 10^6 * 11.000}{3{,}06 * 10^{12}} * (0{,}9104 * 60 + 0{,}5 * 160) = 2{,}96\ N/mm^2$$

Analoge afschuifmethode

De optredende maximale buigspanning wordt op basis van twee berekeningen bepaald. Bij het bepalen van de buigstijfheid zijn er twee buigstijfheden bepaald die samen de effectieve buigstijfheid van de doorsnede vormen, namelijk EI(a) en EI(b).

Allereerst dient het optredende moment te worden verdeeld over Ma en Mb op basis van stijfheid. Daaruit volgt:

$$M_A = \frac{EI_A}{EI_{eff}} * M_{ed}\ \ \&\ \ M_B = \frac{EI_B}{EI_{eff}} * M_{ed}$$

$$M_A = \frac{1{,}7649 * 10^{11}}{3{,}3578 * 10^{12}} * 11{,}03 = 0{,}5795\ kNm$$

$$M_B = \frac{3{,}1813 * 10^{12}}{3{,}3578 * 10^{12}} * 11{,}03 = 10{,}446\ kNm$$

Vervolgens wordt er per lamel bepaald welke spanningen er optreden.

$$\sigma_{A,i} = \pm \frac{M_{A,i}}{I_i} * \left(\frac{h_i}{2}\right)$$

Waarin:

$$M_{A,i} = \frac{E_i I_i}{EI_A} * M_A$$

$$M_{A,1} = \frac{E_1 I_1}{EI_A} * M_A => \frac{11000 * \frac{1000 * 40^3}{12}}{1{,}7649 * 10^{11}} * 0{,}5795 * 10^6 = 0{,}1932$$

$$\sigma_{A,1} = \pm \frac{0{,}1932}{\frac{1000 * 40^3}{12}} * \left(\frac{40}{2}\right) = 0{,}724\ N/mm^2$$

$$\sigma_{B,i} = \frac{E_i * z_i}{EI_B} * M_B$$

$$\sigma_{B,1} = \frac{E_1 * z_1}{EI_B} * M_B => \frac{11000 * 60}{3{,}1813 * 10^{12}} * 10{,}446 * 10^6 = 2{,}176\ Nmm^2$$

$$\sigma_{max,i} = \sigma_{A,i} + \sigma_{B,i}$$

$$\sigma_{max,1} = \sigma_{A,1} + \sigma_{B,1} => 0{,}1932 + 2{,}176 = 2{,}9\ N/mm^2$$

Resultaten

Onderstaande tabel zijn de uitkomsten naast elkaar weergeven.

Methode	Gamma	Analoog	K-methode
Zakking	2,96 N/mm²	2,9 N/mm²	-

Tabel 3 - Resultaten handberekening

Uit het programma CLTdesigner komen de volgende uitkomsten:

Methode	Gamma	Analoog	K-methode
Zakking	2,96 N/mm²	2,928 N/mm²	2,88 N/mm²

Tabel 4 - Resultaten CLT-designer

De handberekening van de gamma methode komt overeen met de computerberekening van CLTdesigner. Bij de analoge methode is de uitkomst van de handberekening iets lager dan de computerberekening.

A.2.2 Conclusie/vergelijking

De resultaten van de handberekening en de computerberekening van de gamma methode komen het meest overeen. De resultaten van de analoge- en de k-methode rekenmethodes wijken iets van elkaar af. Doordat er gevalideerd is dat de gamma methode klopt en omdat dit een veel gebruikte rekenmethode is (Gagnon, & Pirvu, 2011) zal deze rekenmethode gebruikt worden voor het berekenen van de CLT-panelen.

Bijlagen B – Casus

- Bijlage B.1 – Omschrijving casus
- Bijlage B.2 – Uitgangspunten berekening
- Bijlage B.3 – Berekenen brandwerendheid afwerking
- Bijlage B.4 – Berekeningen constructieonderdelen
- Bijlage B.5 – Verdeling windbelasting
- Bijlage B.6 – Gewichtsberekening
- Bijlage B.7 – Sterkteberekening verbindingen
- Bijlage B.8 – Toetsing verbindingen
- Bijlage B.9 – Ontwerpvarianten verbinding 2
- Bijlage B.10 – Controleberekening en ontwerp verbindingen

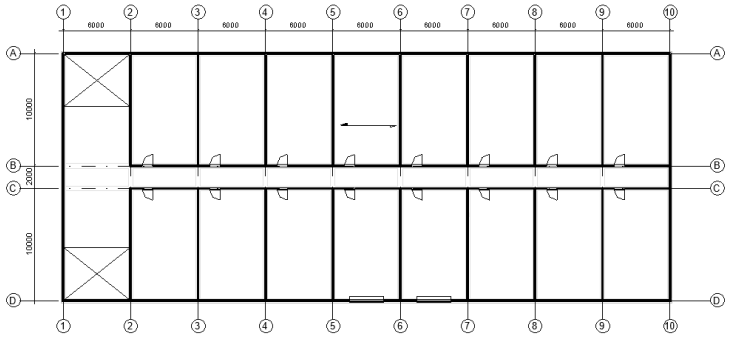
Bijlage B.1 – Omschrijving casus

B.1.1 Omschrijving casus

De casus betreft een appartementencomplex. Het gaat om een rechthoekig gebouw met de afmetingen 22x54 meter (b*l). De verdiepingshoogte bedraagt 3,2 meter en het aantal verdiepingen in de casus zal nader worden bepaald. De afmetingen en de indeling van het gebouw is bepaald in overleg met de opdrachtgever.

B.1.2 Ontwerp

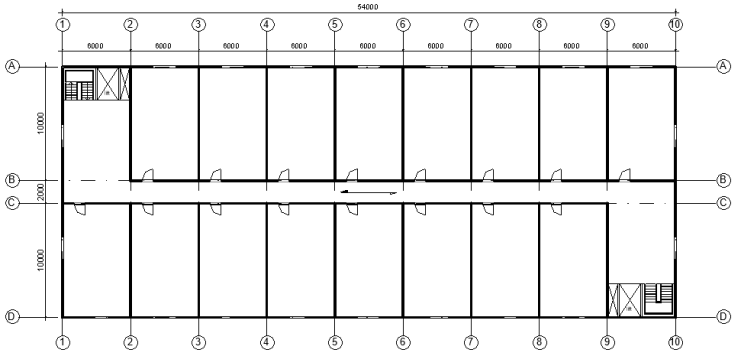
Het eerste ontwerp bestaat uit een appartementencomplex waarbij er 16 appartementen op één verdieping zijn geplaatst met aan één zijde het trappenhuis en de lift.



Figuur 1 - Ontwerp concept

Uit artikel 2.102 van het bouwbesluit (2018) blijkt echter dat de maximale afstand van een woning tot een vluchtroute 30 meter mag zijn. In dit geval zal het ontwerp niet aan deze eis voldoen voor de appartementen aan de rechterzijde.

Het ontwerp is vervolgens zo aangepast dat er aan beide zijde van het gebouw een trappenhuis en lift aanwezig is en op die manier wordt er voldaan aan de eis voor de vluchtroute.



Figuur 2 – Ontwerp

B.1.2.1 Constructie

De verdiepingsvloeren, het dak en de wanden worden uitgevoerd in CLT. De begane grond vloer en de fundering zal in beton worden uitgevoerd.

De vloeren overspannen in de richting van de woning scheidende wanden. Dat betekent dat ze een overspanning hebben van 6 meter.

De CLT-panelen kunnen in verschillende maten geleverd worden. De maximale lengte van de elementen bedraagt 22 meter. De breedte kan variëren in: 2,4 / 2,6 / 2,75 / 2,95 / 3,20 / 3,50 meter (Binderholz, z.d.).

Volgens artikel 4.3 van het bouwbesluit (2018) dient de minimale vrije hoogte van een woning 2,6 meter te zijn.
Bij de platformmethode worden de CLT-wanden in de lengte geplaatst en zal de maximale hoogte van de wand 2,95 meter zijn. Uit de berekening van de vloeren (bijlage B.4) blijkt dat deze ongeveer een dikte zullen krijgen van 0,18m. De verdiepingshoogte wordt daardoor 3,13 meter. Er zullen diverse geluidsisolerende strips toegepast worden, zoals te zien is in figuur 3. Deze strips hebben een dikte van ongeveer 4 mm. De verdiepingshoogte zal daardoor toenemen tot ongeveer 3,2 meter.



Figuur 3 - Geluidsisolerende strips. Overgenomen van *Xylofon.* (Rothoblaas, z.d.).

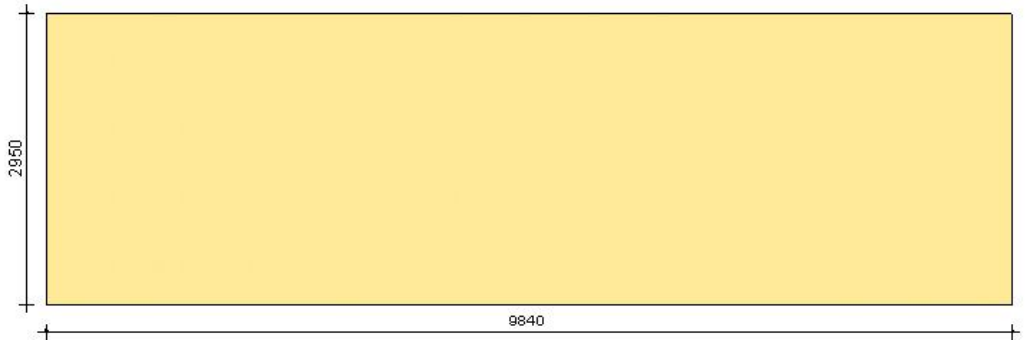
B.1.2.2 Type wandpanelen

In windrichting 1 zijn er twee type wanden:

1. De woning scheidende wanden
2. De kopgevels

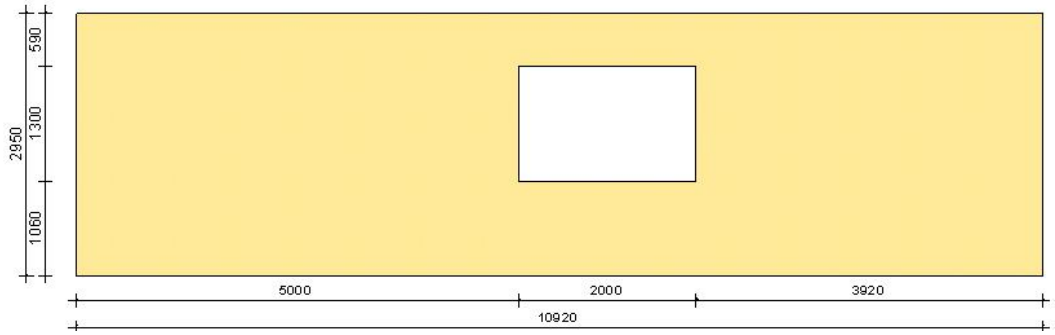
Onderstaande figuren geven weer wat het aanzicht is van de panelen. De onderstaande panelen worden toegepast bij de platformmethode.

De woning scheidende wanden bestaan uit massieve panelen zonder sparingen. Dit paneel heeft een hoogte van 2,95 meter een een lengte van 9,84 meter.



Figuur 4 - Wandpaneel stramien 2 t/m 9

De kopgevels in windrichting 1 worden uitgevoerd in panelen van 2,95 meter hoog en 10,92 meter lang. Per kopgevel zullen twee van deze panelen geplaatst worden. Het zou mogelijk zijn om deze panelen als één groot paneel uit te voeren en te leveren. Echter, dat zou betekenen dat er een paneel van 22 meter vervoerd moet worden en dan vraagt om groot transport. Voor de bereikbaarheid is er voor gekozen dat deze langsgevel in twee delen wordt geplaatst.

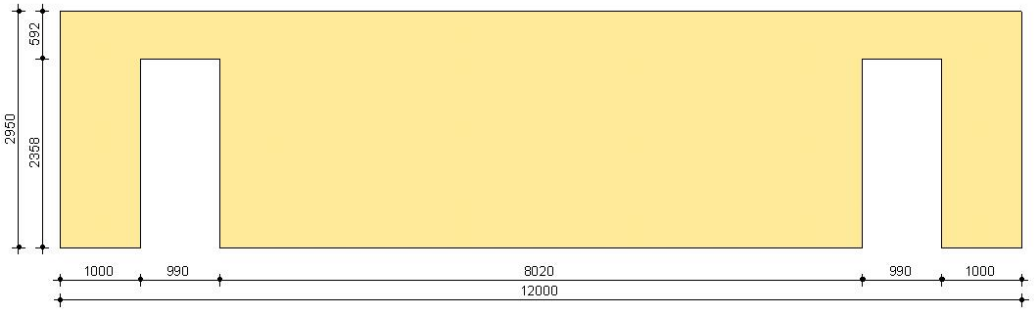


Figuur 5 - Kopgevelpaneel stramien 1 & 10 (2 stuks per stramien).

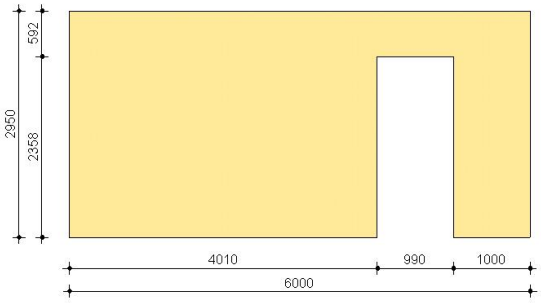
In windrichting 2 zijn er twee type wanden:

1. Wandelementen van 12 meter lang
2. Wandelementen van 6 meter lang

De wandelementen in windrichting 2 worden geleverd in panelen van 2,95 meter hoog. Deze panelen worden geplaatst op de stramienen B en C. Per stramien worden er 2 panelen van 6 meter lang geplaatst en 3 panelen van 12 meter. De panelen van 6 meter worden aan de randen van het stramien geplaatst en de panelen van 12 meter daartussen. De panelen van 12 meter zullen voor twee appartementen geplaatst worden. In figuur 8 is de indeling van de panelen weergeven.

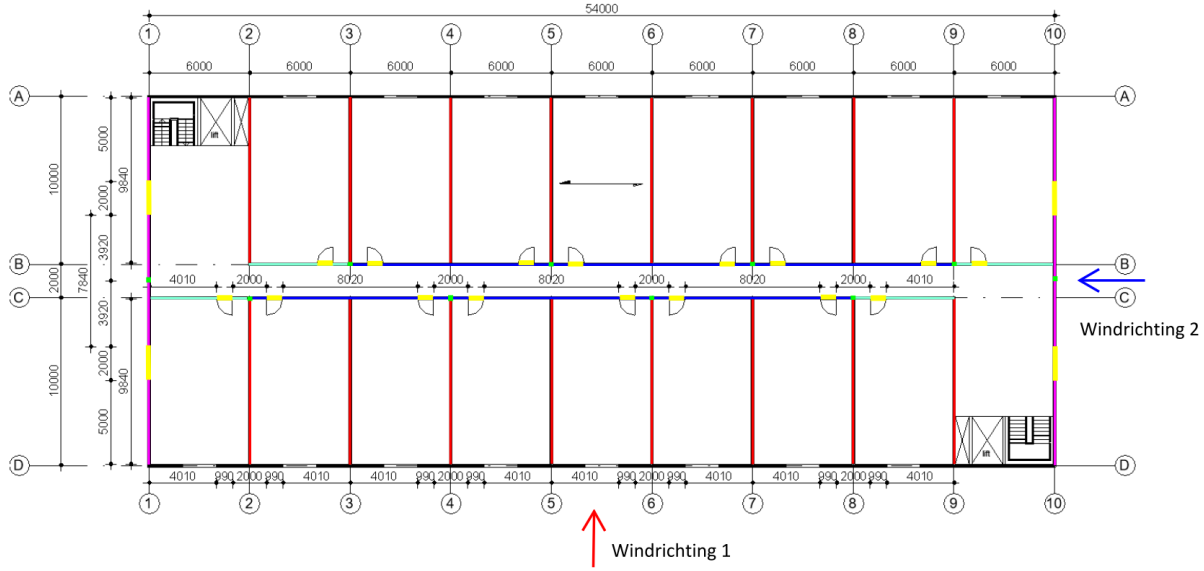


Figuur 6 – Wandpaneel 12 meter stramienen B & C



Figuur 7 - Wandpaneel 6 meter stramienen B & C

Figuur 8 laat zien waar elk type paneel geplaatst wordt. Daar waar twee panelen samenkomen is in groen aangegeven.



Figuur 8 - Locatie van de panelen

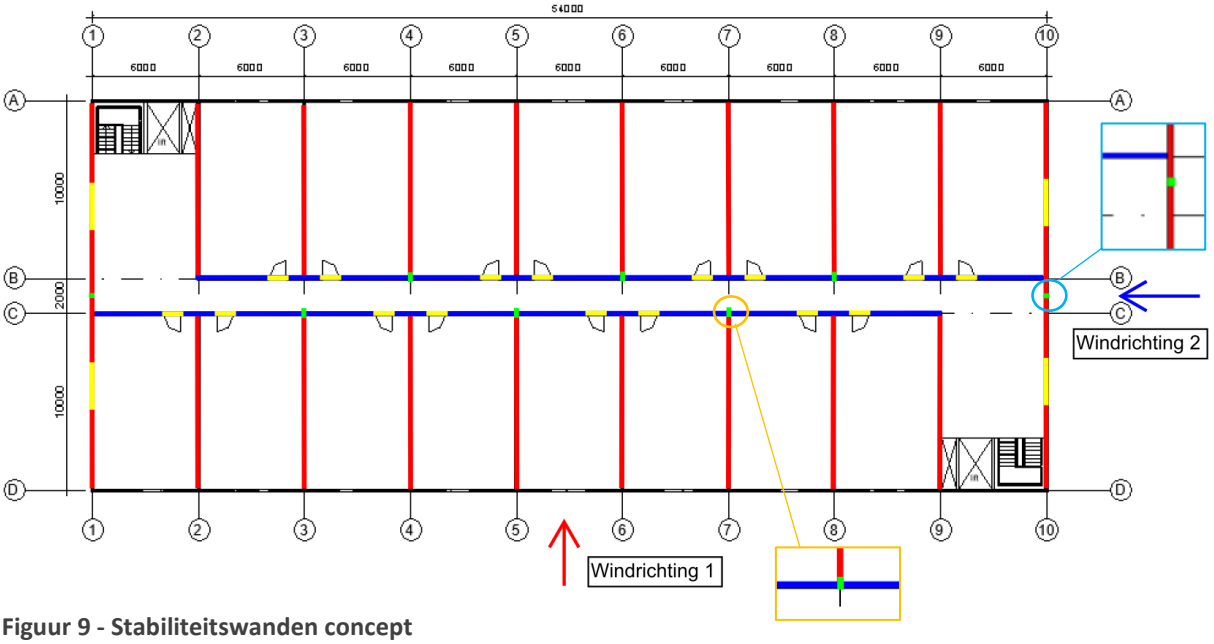
Onderdeel	
Wand 9,84 m	
Wand 10,92	
Wand 12 meter	
Wand 6 meter	
Locatie van sparing	
Locatie samenkomst panelen	

Tabel 1 - Legenda

B.1.2.3 Stabiliteit[9] [10]

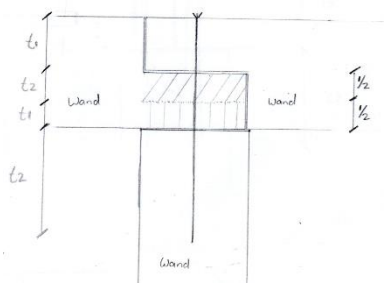
De stabiliteit van het gebouw wordt in beide windrichtingen gerealiseerd door de CLT-wanden.

In eerste instantie was het ontwerp gemaakt om de wanddeling, in windrichting 2, in het midden van de wanden van 8,02 meter te plaatsen. Op die manier zouden er minder soorten wandpanelen toegepast kunnen worden. In figuur 9 is de indeling van de panelen met de delingen weergeven.

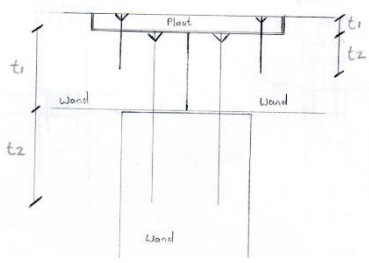


Figuur 9 - Stabiliteitswanden concept

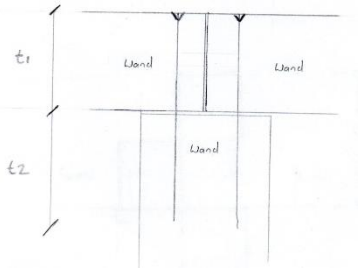
Uit het interview met Bertjan Kraaijeveld bleek echter dat dit geen ideale plek is voor de deling. Als de wanden met elkaar gekoppeld dienen te worden voor de stabiliteit, zal er namelijk een sterke verbinding nodig zijn voor deze koppeling. In figuur 10/11 is laten zien hoe deze verbinding eruit kan komen te zien wanneer de wanden aan elkaar worden gekoppeld om samen te werken en vervolgens worden gekoppeld aan de dwarswand. Omdat de krachten in dit punt relatief groot zullen zijn, is ervoor gekozen om de deling op een andere locatie te plaatsen (zoals in figuur 13). Het resultaat is dat er meer type wandpanelen geproduceerd dienen te worden, maar de krachten in de verbinding zijn een stuk kleiner. De verbinding is daardoor eenvoudig uit te voeren. Figuur 12 laat zien hoe de verbinding nu uitgevoerd zal worden.



Figuur 10 - Tandverbinding met koppeling aan dwarswand



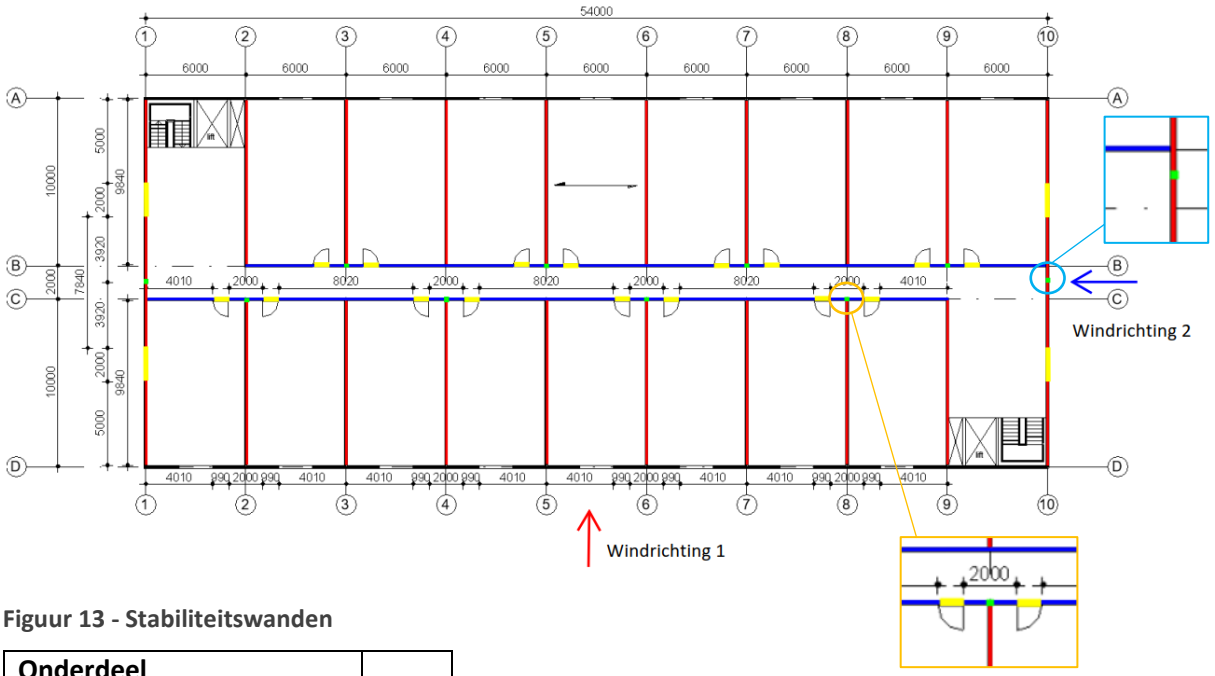
Figuur 11 - Verbinding met multiplexplaat met koppeling aan dwarswand



Figuur 12 - Koppeling wanden aan dwarswand

[9] Competentie probleemoplossend
[10] Competentie samenwerkend

In figuur 13 is aangegeven wat de definitieve indeling van de wandpanelen is met de delingen.



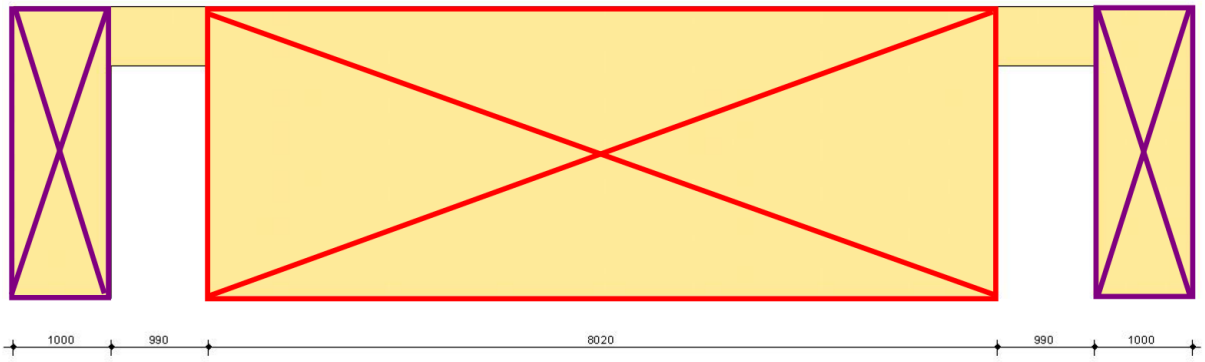
Figuur 13 - Stabiliteitswanden

Onderdeel	
Stab.wand windrichting 1	
Stab.wand windrichting 2	
Deling wand	
Sparing	

Tabel 2 - Legenda

De langsgevels in windrichting 2 worden voor de stabiliteit buiten beschouwing gelaten. Het kan namelijk wenselijk zijn dat er veel sparingen in deze wanden worden aangebracht zodat er veel daglicht toetreding zal zijn.

Ter plaatse van de sparingen zal er nog een stukje CLT-paneel aanwezig zijn. Deze is niet meegerekend met het bepalen van de stijfheid van de wanden. De stabiliteitswanden zullen voldoende verankerd worden om de trekspanningen op te nemen. Daardoor zullen de spanningen in deze “latei” niet groot zijn en zal dit worden verwaarloosd.



Figuur 14 - Stabiliteitswanden

B.1.2.3 Buitenruimte

Uit artikel 4.34 van het bouwbesluit (2018) blijkt dat er voor woongebouwen de eis geldt dat er direct toegang tot een buitenverblijf dient te zijn. In dit ontwerp is daar echter geen rekening mee gehouden. Voor een geldig ontwerp dient er per appartement een balkon gerealiseerd te worden zodat aan deze eis wordt voldaan. Het is mogelijk om een balkon toe te passen bij CLT-gebouwen, binnen dit onderzoek wordt dit echter buiten beschouwing gelaten.

B.1.3 Uitgangspunten casus

Er wordt aangenomen dat het gebouw in windgebied 2 wordt geplaatst in een onbebouwde omgeving. Hier is voor gekozen omdat er dan een groter gebied meegenomen wordt waar dit gebouw geplaatst zou kunnen worden.

B.1.3.1 Opbouw elementen t.b.v. bouwfysica

In deze paragraaf worden elementen vastgesteld die nodig zijn om aan de bouwfysische eisen te voldoen. Aan de hand van deze opbouw worden de gewichten bepaald die meegenomen worden voor de gewichtsberekening.

Warmte

Dak

Het dak heeft volgens het bouwbesluit als eis dat het een warmteweerstand dient te hebben van ≥ 6,0 m²K/W. Er wordt vanuit gegaan dat er XPS (polystyreenschuim geëxtrudeerd) wordt toegepast als isolatiemateriaal met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,030 W/m.K met een gewicht van ongeveer 40 kg/m³ (EKbouwadvies, z.d.). Er wordt aangenomen dat er een CLT-dakplaat van 160 mm nodig is. Deze zorgt voor een RC-waarde van: 0,16/0,13 = 1,23 m²K/W. Dit betekent dat er nog 5 m²K/W nodig is aan isolatiemateriaal om aan de isolatiewaarde te voldoen. De dikte van de isolatie bedraagt in dat geval: 5*0,03 = 0,15 m. Voor de gewichtsberekening zal ervanuit worden gegaan dat er 160 mm isolatiemateriaal toegepast zal worden. Daarnaast zal er een twee laags bitumen dakafwerking geplaatst worden. Dit gewicht wordt aangenomen op 0,07 kN/m² (Blok, 2014).

Het verlaagde plafond zal dezelfde opbouw hebben als het plafond dat wordt toegepast bij de verdiepingsvloeren. Deze wordt beschreven in de volgende sub-paragraaf.

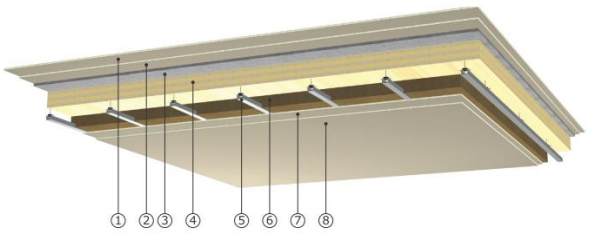
Bij de overige elementen zal de warmte-isolatie niet berekend worden. Bij de verdiepingsvloeren en woning scheidende wanden is dit namelijk niet relevant. Verder wordt er aangenomen dat het gewicht van de afwerking van de buitenwanden gelijk zal zijn als het gewicht van de afwerking woning scheidende wanden.

Geluid

Verdiepingsvloer

Ten behoeve van de geluidsisolatie zal de opbouw gebruikt worden als in figuur 15. De woning scheidende vloer zal in dat geval voldoen aan de geluidseisen van het bouwbesluit. Deze waarden zijn bepaald met behulp van test die op de vloeropbouw zijn uitgevoerd.

De dikte van het CLT-element zal afwijken van de afbeelding. De volgende gewichten worden aangenomen:



Floor Composition (F2.5)		Airborne (STC) dB	Impact (IIC) dB
1	Gypsum board 13 mm	63	≥ 63
2	Gypsum board 13 mm		
3	Dry topping 22 mm (Pellets PLACOSOL)		
4	5-layer CLT panel 146 mm		
5	Resilient supports and rails (100 mm)		
6	Sound insulation material (100 mm)		
7	Gypsum board 13 mm		
8	Gypsum board 13 mm		

Figuur 15 – Verlaagd plafond. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Laag	Materiaal	Soortelijk gewicht	Dikte	Gewicht per m²	Bron
1	Gipsplaten	900 kg/m³	2x 12,5 mm	22,5 kg/m²	(Blok, 2014).
2	Minerale wol/ Steenwolplaat	150 kg/m³	22 mm	3,3 kg/m²	(Boxtel, 1995).

3	CLT-plaat (vuren)	550 kg/m³	n.t.b.	n.t.b.	(Blok, 2014).
4	Verlaagd plafond	5,9 kg/m²	100 mm	6 kg/m²	(Cobouw, z.d.).
5	Geluidsisolatie Steenwol	60 kg/m³	100 mm	6 kg/m²	(Technische isolatiespecialist, z.d.).
6/7	Gipsplaten	900 kg/m³	2x 12,5mm	22,5 kg/m²	(Blok, 2014).

Tabel 3 - Opbouw verlaagd plafond per laag.

Wanden

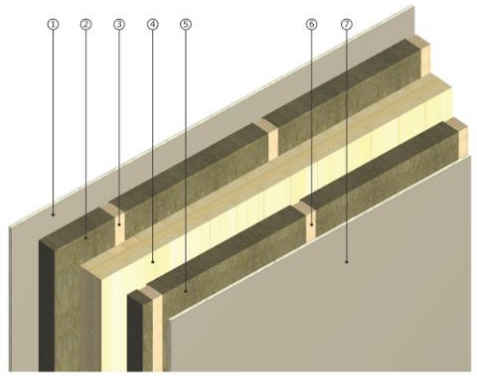
De dikte van het CLT-paneel zal op een later moment worden bepaald.

De geluidsweringwaarden zijn bepaald met behulp van geluidstesten die op de wandopbouw zijn uitgevoerd.

Alternatief 1

Alternatief 1 bestaat uit een voorzetwand die aan beide zijde van de wand wordt geplaatst. In dit geval is er één CLT-wand nodig als woning scheidende wand.

De volgende gewichten worden aangenomen voor de gewichtsberekening.



Wall Composition (W4)		Airborne (STC) dB
1	Gypsum board 15 mm	≤ 58
2	Mineral wool (~ 60 mm)	
3	Lumber studs (38 mm x 63 mm)	
4	3-layer CLT panel (95 mm ~ 115 mm)	
5	Mineral wool (~ 60 mm)	
6	Lumber studs (38 mm x 63 mm)	
7	Gypsum board 15 mm	

Figuur 16 -Voorzetwand. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Laag	Materiaal	Soortelijk gewicht	Dikte	Gewicht per m²	Bron
1/7	Gipsplaten	900 kg/m³	12,5 mm	11,25 kg/m²	(Blok, 2014).
2/5	Minerale wol/ Steenwolplaat	150 kg/m³	80 mm	12 kg/m²	(Boxtel, 1995).
3/6	Houten stijlen 38x63mm h.o.h. 600mm	350 kg/m³	0,0024 m²	0,84 kg/m²	
4	CLT-plaat (vuren)	550 kg/m³	n.t.b.	n.t.b.	(Blok, 2014).

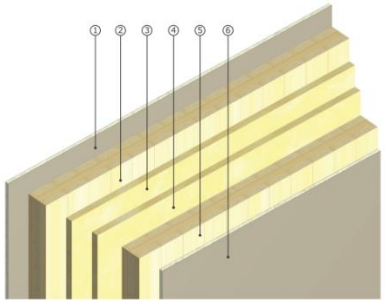
Tabel 4 - Opbouw voorzetwand per laag.

De houten stijlen zullen niet apart meegenomen worden in de gewichtsberekening. De ruimte waar de stijlen zitten zullen verrekend worden met het gewicht van de minerale wol.

Alternatief 2

Bij alternatief 2 wordt er een spouwwand toegepast als woning scheidende wand. In dat geval worden er twee CLT-wanden geplaatst met daartussen isolatiemateriaal.

De volgende opbouw met bijbehorende gewichten worden aangenomen voor dit alternatief.



Figuur 17 – spouwmuur. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Wall Composition (W7)		Airborne (STC) dB
1	Gypsum board 15 mm	≤ 60
2	3-layer CLT panel (95 mm ~ 115 mm)	
3	Sound insulation material (mineral or rock wool) (~ 30 mm)	
4	Sound insulation material (mineral or rock wool) (~ 30 mm)	
5	3-layer CLT panel (95 mm ~ 115 mm)	
6	Gypsum board 15 mm	

Laag	Materiaal	Soortelijk gewicht	Dikte	Gewicht per m²	Bron
1/6	Gipsplaten 2x	900 kg/m³	2x 12,5mm	22,5 kg/m²	(Blok, 2014).
2/5	CLT-plaat (vuren)	550 kg/m³	n.t.b.	n.t.b.	(Blok, 2014).
3/4	Minerale wol/ Steenwolplaat	150 kg/m³	30 mm	9 kg/m²	(Boxtel, 1995).

Tabel 5 - Opbouw spouwwand per laag.

Brand

De casus betreft een woongebouw met een hoogte van >13. Daardoor geldt de brandwerendheidseis van 120 minuten. Dit is de tijd dat de draagconstructie intact dient te blijven, zodat men het gebouw kan ontvluchten en kan doorzoeken.
Als er aangetoond kan worden dat de vuurlast kleiner is dan 500 MJ/m², mag de brandwerendheid eis met 30 minuten worden verkort. Uit het interview met Bas Boellaard (bijlage C.1) blijkt echter dat deze vermindering bij CLT constructies niet mag worden toegepast, omdat CLT uit brandbaar materiaal bestaat en het niet altijd wenselijk is om een sprinklerinstallatie toe te passen. De vereiste brandwerendheid van de constructie wordt vastgesteld op 120 minuten.

De afwerking op de panelen zorgt ervoor dat het enige tijd duurt voordat de CLT-panelen worden aangetast door het vuur. In bijlage B.3 zal er verder worden ingegaan op de brandwerendheid van de materialen.

B.1.3.2 Opbouw elementen t.b.v. constructie

In bijlage B.4 worden de constructie onderdelen gedimensioneerd.

Bijlage B.2 – Uitgangspunten berekening

B.2.1 Gebruikte normen

Eurocode 0 Grondslagen

NEN-EN 1990 – Grondslagen van het constructief ontwerp

Eurocode 1 Belastingen op constructies

NEN-EN 1991-1-1 – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen

NEN-EN 1991-1-4 – Windbelasting

NEN-EN 1991-1-4; NB – Nationale bijlage windbelasting

Eurocode 2 Betonconstructies

NEN-EN 1992 – Algemene regels en regels voor constructies

Eurocode 3 Staalconstructies

NEN-EN 1993-1-1+C2+A1:2016 – Algemene regels en regels voor constructies

Eurocode 5 Houtconstructies

NEN-EN 1995-1-1 – Algemene regels en regels voor constructies

NEN-EN 1995-1-2 – Algemene regels en regels voor constructies bij brand

B.2.2 Materialen

Hout

Houtklasse	C24
Volumieke massa hout	350 kg/m³
Volumieke massa CLT-doorsnede	400 kg/m³
Rekenwaarde gewicht CLT	550 kg/m³

B.2.3 Veiligheidsklasse

Bouwwerkaanduiding	Cat. A; Woonbestemming
Betrouwbaarheidsklasse	RC2
Gevolgklasse	CC2
Levensduur	50 jaar

B.2.4 Belastingcombinaties

Fundamentele belastingcombinaties t.b.v. sterkte

$$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum 1{,}35 * G_{k,j} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0) \quad \text{(verg. 6.10a)}$$

$$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0) \quad \text{(verg. 6.10b)}$$

Bijzonder t.b.v. brand

$$q_{bijz.} = \sum G_{k,j} + A_d + Q_{k,1} * \psi_{2,1} (\psi_1 \text{ voor wind}) + \sum Q_{k,i} * \psi_{2,i} \quad \text{(verg. 6.11b)}$$

Bruikbaarheid t.b.v. doorbuiging

$$q_{kar} = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum Q_{k,i} * \psi_0 \quad \text{(verg. 6.14b)}$$

B.2.5 Belastingen

Aangenomen belastingen

				Vol. Massa	gk	qk	Qk	ψ0	ψ1	ψ2
Opbouw dak plat				kN/m³	kN/m²	kN/m²	kN			
	CLT (vuren)	d=	160	5,5	0,88					
	Bitumen 2 lagen				0,1					
	Isolatie XPS	d=	160	0,4	0,064					
	Systeemplafond				0,06					
	Isolatie steenwol 100mm	d=	100	0,6	0,06					
	Gipsplaten 12,5mm (2x)	d=	25	9	0,225					
	Sneeuwbelasting					0,56		0	0,2	0
	Variabele dak belasting cat. H. (max. 10m²)					1		0	0	0
					1,39					

				Vol. Massa	gk	qk	Qk	ψ0	ψ1	ψ2
Opbouw verdiepings-vloer				kN/m³	kN/m²	kN/m²	kN			
	Gipsplaten 12,5mm (2x)	d=	25	9	0,225					
	Isolatie steenwol plaat 22mm	d=	22	1,5	0,033					
	CLT (vuren)	d=	180	5,5	0,99					
	Systeemplafond				0,06					
	Isolatie steenwol 100mm	d=	100	0,6	0,06					
	Gipsplaten 12,5mm (2x)	d=	25	9	0,225					
	Var. Vloer Cat. A					1,75	3	0,4	0,5	0,3
	Separaties					0,5				
					1,593	2,25				

				Vol. Massa	gk	qk	Qk	ψ0	ψ1	ψ2
Opbouw B.G. vloer				kN/m³	kN/m²	kN/m²	kN			
	ihwg beton	d=	240	25	6					
	Cementdekvloer	d=	50	20	1					
	Isolatie XPS	d=	100	0,4	0,04					
	Var. Vloer Cat. A					1,75	3	0,4	0,5	0,3
	Separaties					0,5				
					7,04	2,25				

				Vol. Massa	gk	qk	Qk	ψ0	ψ1	ψ2

Woning scheidende wanden				**kN/m³**	**kN/m²**	**kN/m²**	**kN**
	CLT (vuren)	d=	160	5,5	0,88		
	Isolatie steenwolplaat 80mm (2x)	d=	160	1,5	0,24		
	Gipsplaten 12,5mm (2x)	d=	25	9	0,225		
					1,35	0	

Tabel 1 - Aangenomen belastingen

B.2.6 Gebruikte software

- Matrixframe 5.4 SP2
- CLT-designer
- Revit 2019

B.2.7 Windbelasting

In deze paragraaf wordt laten zien op welke manier de windbelasting per hoogte is bepaald. Via Excel is de windbelasting per x aantal bouwlagen bepaald. De windbelasting is bepaald aan de hand van de NEN-EN 1991-1-4 (Normcommissie 351 001, 2011b) en de nationale bijlage van de NEN-EN 1991-1-4 (Normcommissie 351 001, 2011c).

B.2.7.1 Windbelasting 8 bouwlagen

Windrichting 1, brede zijde

Windgebied 2, onbebouwd.
8 bouwlagen

Hoogte: 25,6 m.

Diepte: 22 m.
Breedte: 54 m.
e = 54 m.

h < b

$q_{p,z\ (25,6)} = 1{,}15\ kN/m^2$

Uitwendige druk coëfficiënten Cpe,10

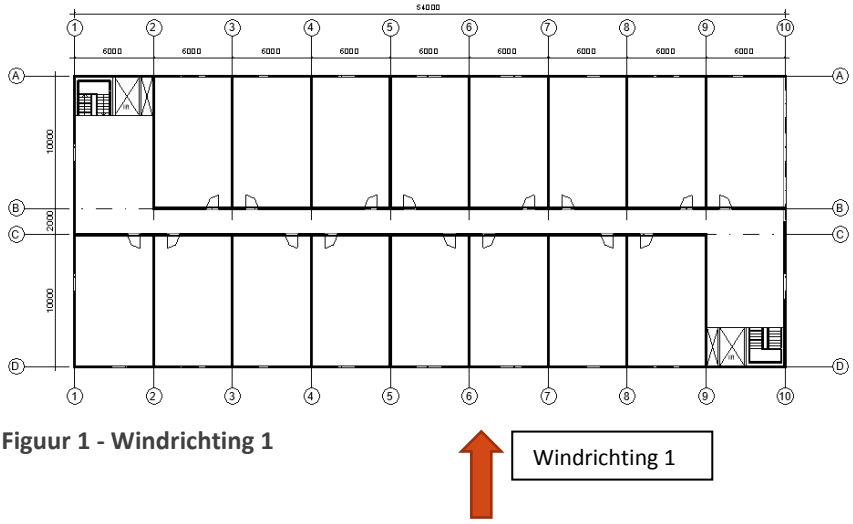
h/d ratio: 25,6/22m = 1,16.

Correlatiefactor = 0,86 (bepaald met interpolatie)

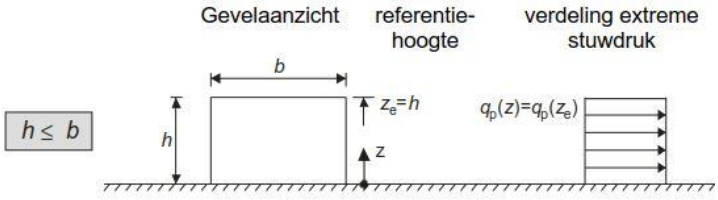
$C_{peD} = +0{,}8$

$C_{peE} = -0{,}5$

Zone D: + 0,8 * 0,86 = 0,685
Zone E: - 0,5 * 0,86 = - 0,428



Figuur 1 - Windrichting 1



Figuur 2 - Belastingverdeling wind. Overgenomen van *NEN-EN 1991-1-4* (Normcommissie 351 001, 2011b)

Windkracht:

Zone D: 0,685 * 1,12 kN/m² =	0,79 kN/m²
Zone E: - 0,428 * 1,12 kN/m² =	- 0,49 kN/m²
Totaal =	1,28 kN/m²

Windrichting 2, korte zijde

Windgebied 2, onbebouwd.

Hoogte: 25,6m.

Diepte: 54 m.

Breedte: 22 m.

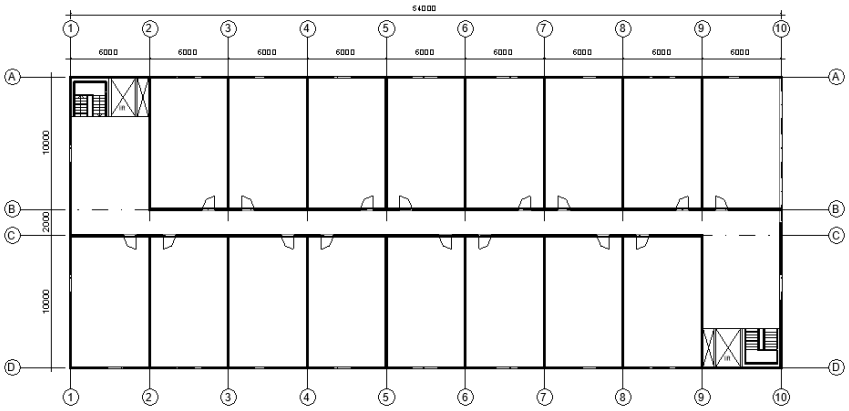
e = 22 m.

B < h < 2b

Windrichting 2

$q_{p,b(22)} = 1{,}09\ kN/m^2$

$q_{p,h(25{,}6)} = 1{,}15\ kN/m^2$



Figuur 3 - Windrichting 2

Uitwendige druk coëfficiënten Cpe,10

h/d ratio: 25,6m/54m = 0,47.

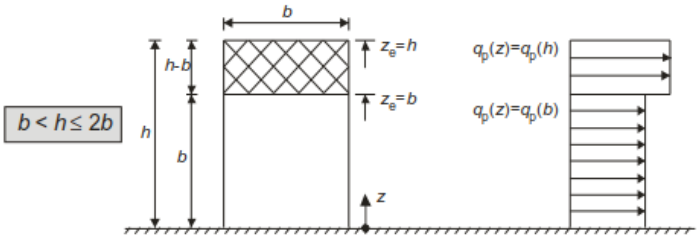
Correlatiefactor = 0,85

$C_{peD} = +0{,}8$

$C_{peE} = -0{,}5$

Zone D: + 0,8 * 0,85 = 0,68

Zone E: - 0,5 * 0,85 = - 0,43



Figuur 4 - Belastingverdeling wind. Overgenomen van NEN-EN 1991-1-4 (Normcommissie 351 001, 2011b)

Windkracht:

Tot hoogte 22 meter:

Zone D: 0,68	* 1,09 kN/m² =	0,74 kN/m²
Zone E: - 0,425	* 1,09 kN/m² =	- 0,46 kN/m²
Totaal =		1,20 kN/m²

Op hoogte 22-23,4 meter:

Zone D: 0,68	* 1,15 kN/m² =	0,78 kN/m²
Zone E: - 0,425	* 1,15 kN/m² =	- 0,49 kN/m²
Totaal =		1,27 kN/m²

B.2.7.2 Windbelastingen per x aantal bouwlagen

Bovenstaande berekening is voor een aantal bouwlagen uitgevoerd. In onderstaande tabellen zijn de stuwkrachten van de windbelasting opgenomen per x aantal bouwlagen.

Windrichting 1, brede zijde												
Bouwlagen	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24
0 - 22 m (kN/m²)	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,50	1,55	1,63	1,29	1,31	1,32	1,34
22 - x m (kN/m²)	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,50	1,55	1,63	1,70	1,77	1,82	1,88

Tabel 3 - Karakteristieke windbelasting per m² per aantal bouwlagen in windrichting 1

Windrichting 2, korte zijde												
Bouwlagen	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24
0 - 22 m (kN/m²)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23
22 - x m (kN/m²)	1,27	1,31	1,35	1,38	1,43	1,45	1,48	1,54	1,60	1,65	1,68	1,73

Tabel 4 - Karakteristieke windbelasting per m² per aantal bouwlagen in windrichting 2

Bijlage B.3 – Berekening brandwerendheid afwerking

In deze bijlage wordt de brandwerendheid van de elementen berekend die worden gebruikt voor de bouwfysische aspecten die beschreven zijn in bijlage B.1.

B.3.1 Opbouw elementen

Vloerafwerking bovenzijde

- Gipsplaat 2x 12,5 mm
- Steenwol platen 22 mm

Plafondafwerking

- Gipsplaten 2x 12,5 mm
- Steenwol 100 mm

Wandafwerking per zijde alternatief 1

- Gipsplaat 12,5 mm
- Steenwol platen 60 mm

Wandafwerking per zijde alternatief 2

- Gipsplaat 2x 12,5 mm

B.3.2 Brandklasse per materiaal

De verschillende brandklassen geven aan in hoevere het materiaal brandbaar is en in hoeverre het bijdraagt aan de brand.

Brandklasse A houdt in dat het materiaal nauwelijks tot geen bijdrage heeft aan de branduitbreiding. Daarnaast is het materiaal in deze categorie nauwelijks tot niet brandbaar.
Brandklasse B houdt in dat het materiaal weinig bijdrage levert aan de branduitbreiding en is het materiaal moeilijk brandbaar (FOV, 2013).

Voor de verschillende toegepaste materialen gelden de volgende brandklassen:

Gipsplaat	Brandklasse A
Steenwol	Brandklasse A

B.3.3 Inbrandsnelheid

Met de inbrandsnelheid kan worden bepaald in hoeveel tijd er een bepaalde dikte van materiaal verbrand en zijn functie verliest. De inbrandsnelheid van de gebruikte materialen is bepaald aan de hand van de NEN-EN 1995-1-2 (Normcommissie 351 001, 2011).

Voor CLT geldt een inbrandsnelheid van 0,65 mm/min.

t_{ch} geeft aan op welk tijdstip de onderliggende laag begint in te branden. Dit geeft dus aan wat de brandwerendheid is van een bepaalde isolerende laag.

Gipsplaten

Voor gipsplaten waarbij de voegen kleiner zijn dan 2 mm geldt de volgende brandwerendheid:

$$t_{ch} = 2{,}8 * h_p - 14$$

Waarin:
$h_p = plaatdikte\ in\ mm$

Bij het toepassen van dubbele gipsplaten van type A en H dient de volgende waarde aangenomen te worden voor hp:

$$h_p = 1 * hp\ buitenste\ laag + \frac{1}{2} hp\ binnenste\ laag$$

De volgende brandwerendheid geldt voor de verschillende dikte gipsplaten:

$$t_{ch}\ gipsplaat\ 12{,}5\ mm = \ 2{,}8 * 12{,}5 - 14 = 21\ min.$$
$$t_{ch}\ gipsplaat\ 2x12{,}5\ mm = \ 2{,}8 * (12{,}5 + \frac{12{,}5}{2}) - 14 = 38{,}5\ min.$$

Steenwol

$$t_{ch} = 0{,}07 * (h_{ins} - 20) * \sqrt{\rho_{ins}}$$

Waarbij:
$h_{ins} = dikte\ isolatiemateriaal\ in\ mm$
$\rho_{ins} = soortelijk\ gewicht\ isolatiemateriaal$

De volgende brandwerendheid geldt voor de verschillende toegepaste steenwolplaten:

$$t_{ch}\ Steenwol\ 100mm = 0{,}07 * (100 - 20) * \sqrt{60} = 43{,}3\ min.$$
$$t_{ch}\ Steenwolplaat\ 22\ mm = 0{,}07 * (22 - 20) * \sqrt{150} = 17{,}1\ min.$$
$$t_{ch}\ Steenwolplaat\ 80mm = 0{,}07 * (80 - 20) * \sqrt{150} = 51{,}4\ min.$$

B.3.4 Brandwerendheid per onderdeel

Vloerafwerking

Gipsplaten	2x 12,5 mm	38,5 min.	
Steenwolplaat	22 mm	17,1 min.	
Totaal			55 min.

Verlaagd plafond

Gipsplaten	2x 12,5 mm	38,5 min.	
Steenwol	100 mm	43,3 min.	
Totaal			81,8 min.

Wandafwerking alternatief 1

Gipsplaat	12,5 mm	21 min.	
Steenwolplaat	80 mm	51,4 min.	
Totaal			72 min.

Wandafwerking alternatief 2

Gipsplaat	2x 12,5 mm	38,5 min.	
Totaal			38,5 min.

Zodra de hierboven bepaalde brandwerendheid wordt overschreden door de brandtijd, zal de constructie aangetast worden door de brand. Vanaf dat moment geldt de inbrandtijd van 0,65 mm/min in het CLT-paneel.

Deze brandwerendheidstijden zullen gebruikt worden in de berekeningen die gemaakt worden in CLT-designer.

Bijlage B.4 – Berekening constructieonderdelen

Voor het dimensioneren van de CLT-panelen wordt CLT-designer gebruikt. In dit programma worden de CLT-panelen van de fabrikant “Best Wood Schneider” gebruikt omdat deze de houteigenschappen gebruikt die overeenkomen met de houteigenschappen van de Eurocode.

B.4.1 Dimensionering begane grondvloer

De volgende aannames worden gemaakt ten behoeve van de begane grondvloer:

Overspanning vloer:		6 meter
Beton kwaliteit:		C20/25
Betonstaal kwaliteit		B500B
Hoofdwapening		Ø10
Milieuklasse:	Boven	XC1
	Zij	XC2
	Onder	XC2
Betondekking	Boven	15 mm
	Zij	30 mm
	Onder	30 mm

De dikte van de begane grondvloer wordt aan de hand van een vuistregel bepaald. De overspanning van de vloer bedraagt 6 meter met aan één zijde een inklemming en aan één zijde vrij opgelegd. De nuttige hoogte van de vloer wordt als volgt bepaald:

$$32 = \frac{l_{eff}}{d} => d = \frac{l_{eff}}{32} => \frac{6}{32} = 0{,}186\ m$$

De totale vloerdikte wordt:

$$h = d + dekking + \frac{1}{2}Øhw => 186 + 30 + \frac{1}{2} * 10 = 220\ mm.$$

De dikte van de begane grondvloer wordt uitgevoerd met een dikte van 240 mm.

$d_{onder} = 240 - 30 - 0{,}5 * 10 = 205\ mm.$

$d_{boven} = 240 - 15 - 0{,}5 * 10 = 220\ mm.$

B.4.1.1 Belastingen

$g_{ek} = 6\ kN/m^2$

$g_k = 1{,}04\ kN/m^2$

$q_k = 2{,}25\ kN/m^2$ $\Psi_0 = 0{,}4$ $\Psi_1 = 0{,}5$ $\Psi_2 = 0{,}3$

$q_{gk} = 1 * (6 + 1{,}04)\ kN/m^2 = 7{,}04\ kN/m$

$q_{qk} = 1 * 2{,}25\ kN/m^2 = 2{,}25\ kN/m$

B.4.1.2 Belastingcombinaties

$6.10a = 1{,}35 * 7{,}04 + 1{,}5 * 2{,}25 * 0{,}4 = 10{,}86\ \mathrm{kN/m^2}$

$6.10b = 1{,}2 * 7{,}04 + 1{,}5 * 2{,}25 = 11{,}83\ \mathrm{kN/m^2}$

B.4.1.3 Benodigde wapening

Er wordt vanuit gegaan dat de begane grond vloer tweezijdig is ingeklemd en tweezijdig vrij is opgelegd.

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{10}{6} = 1{,}667$$

$$M_{ed,max,onder} = 55 * 0{,}001 * 11{,}83 * 6^2 = 23{,}43\ kNm$$

$$M_{ed,max,boven} = 110 * 0{,}001 * 11{,}83 * 6^2 = 46{,}9\ kNm$$

$$A_{s,ben.onder,max} = \frac{M_{ed}}{0{,}9 * d * f_{yd}} => \frac{23{,}43 * 10^6}{0{,}9 * 205 * 435} = 292\ mm^2/m.$$

$$A_{s,ben.boven,max} = \frac{M_{ed}}{0{,}9 * d * f_{yd}} => \frac{46{,}9 * 10^6}{0{,}9 * 220 * 435} = 545\ mm^2/m.$$

$$A_{s,toegepast,onder} = \#\ Ø8 - 150\ , As = 335\ mm^2/m.$$

$$A_{s,toegepast,boven} = \#\ Ø8 - 150\ , As = 335\ mm^2/m,\ met\ bijlegwapening\ boven\ de\ steunpunten.$$

$$A_{s,toegepast,boven,bijleg} = Ø8 - 150\ , As = 335\ mm^2/m.$$

B.4.2 Fundering

De fundering wordt aangenomen op betonbalken met funderingspalen.

Er wordt aangenomen dat de volgende palen worden toegepast:

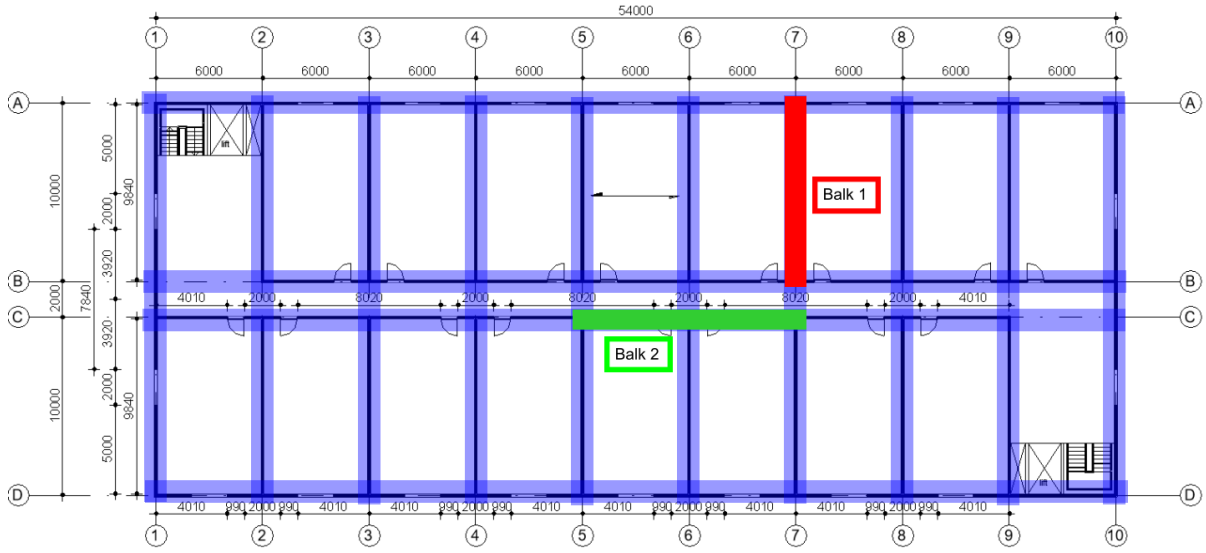
Materiaal: Beton C40/50
E = 35000 N/mm²
Afmeting: 320x320 mm
Lengte: 20 meter

De rotatieveerconstante "C" van de fundering wordt als volgt bepaald:

$$C = k_{paal} * I_{paalgroep}$$

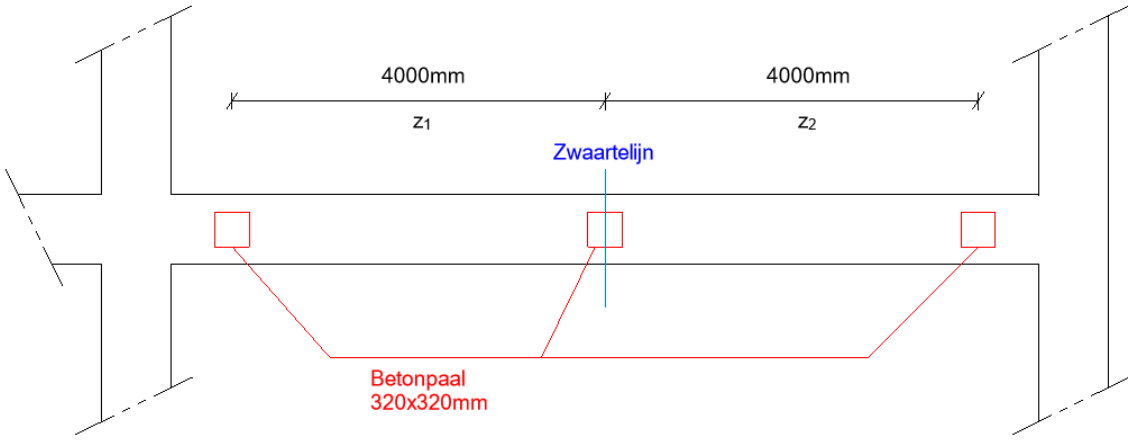
$$k_{paal} = \frac{E * A_{paal}}{L_{paal}} = \frac{35000 * (320 * 320)}{20000} = 179.200\ N/mm$$

$$I_{paalgroep} = \sum A_{paal,i} * z_i^2$$



Figuur 1 - Locatie beschouwde fundering

Voor de fundering ter plaatse van de wand van 9,84 meter (Balk 1):
Onder deze wand worden 3 palen geplaatst. Figuur 2 laat dit schematisch zien.



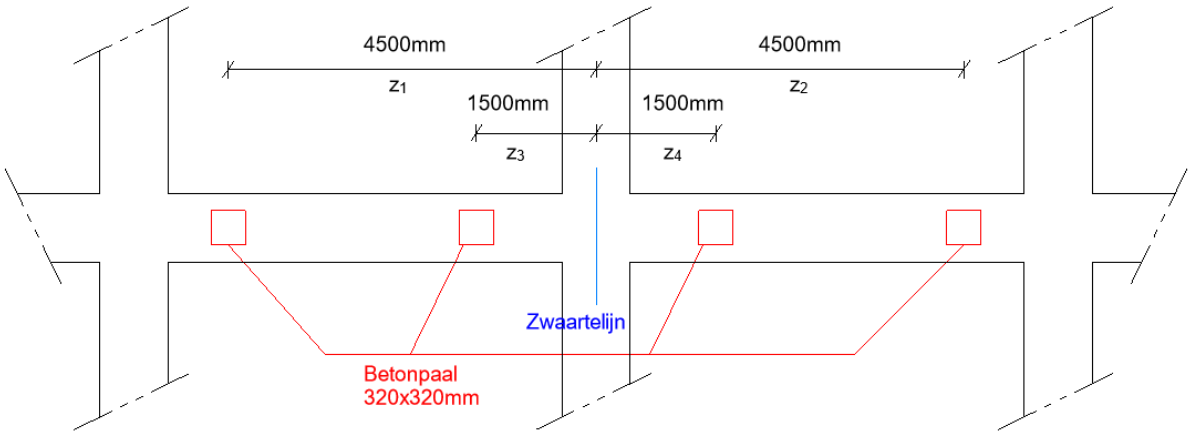
Figuur 2 - Locatie palen onder stabiliteitswand balk 1

$I_{paalgroep} = 4000^2 + 4000^2 = 3{,}2 * 10^7\ mm^4$

$C = 179.200 * 3{,}2 * 10^7 = 5{,}73 * 10^{12}\ Nmm/rad$

Voor de fundering ter plaatse van de wand van 8,02 meter (Balk 2):

Er wordt aangenomen dat de palen hier een h.o.h.-afstand hebben van 3 meter. In figuur 3 is schematisch weergeven hoe de palen zijn geplaatst.



Figuur 3 - Locatie palen onder stabiliteitswand balk 2

$I_{paalgroep} = 4500^2 + 4500^2 + 1500^2 + 1500^2 = 4{,}5 * 10^7\ mm^4$

$C = 179.200 * 4{,}5 * 10^7 = 8{,}064 * 10^{12}\ Nmm/rad$

B.4.3 Berekening dak 6 meter overspanning

Het dimensioneren en het toetsen van het dak zal met behulp van CLT-designer worden uitgevoerd. Er wordt een dak strook van 1 meter breed genomen.

B.4.3.1 Belastingen

$g_{ek} = N.t.b.$

$g_k = 0{,}52\ kN/m^2$

$q_{k,H} = 1\ kN/m^2$ $\Psi_0 = 0 \quad \Psi_1 = 0 \quad \Psi_2 = 0$

$q_{k,s} = 0{,}56\ kN/m^2$ $\Psi_0 = 0 \quad \Psi_1 = 0{,}2 \quad \Psi_2 = 0$

B.4.3.2 Belastingcombinaties

UGT

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum 1{,}35 * G_{k,j} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10a)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10b)

$q_{fi.} = \sum G_{k,j} + A_d + Q_{k,1} * \psi_{2,1}(\psi_1 \text{ voor wind}) + \sum Q_{k,i} * \psi_{2,i}$ (verg. 6.11b)

BGT

$q_{kar} = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum Q_{k,i} * \psi_0$ (verg. 6.14b)

B.4.3.3 Brand

Bij het dak zal ervanuit worden gegaan dat alleen de onderzijde blootgesteld wordt aan brand. Echter, doordat er een verlaagd plafond is aangebracht zal de constructie niet direct blootgesteld worden aan brand.

De brandduur wordt ingesteld op 120 minuten.
De brandwerendheid van het verlaagde plafond bedraagt 81 minuten.
De berekening van de brandwerendheid is terug te vinden in bijlage B.3.

B.4.3.4 Resultaat doorlopende dakpaneel

Benodigde paneeldikte volgens berekening: 140 mm (140 L5s)
Met dit paneel voldoet het paneel op sterkte en stijfheid.

De factor doorbuiging is in dit geval maatgevend.

B.4.3.5 Resultaat enkelveld dakpaneel

Benodigde paneeldikte volgens berekening: 160 mm (160 L5s)
Met dit paneel voldoet het paneel op sterkte en stijfheid.

De factor doorbuiging is in dit geval maatgevend.

B.4.3.6 Gekozen dakpaneel

Voor het dak worden er panelen toegepast met een dikte van 160mm.

B.4.4 Berekening verdiepingsvloer 6 meter overspanning

Het dimensioneren en het toetsen van de verdiepingsvloeren zal met behulp van CLT-designer worden uitgevoerd. Er wordt een vloer strook van 1 meter breed genomen.

B.4.4.1 Belastingen

$g_{ek} = n.t.b.$

$g_k = 0{,}61\ kN/m^2$

$q_k = 2{,}25\ kN/m^2$ $\Psi_0 = 0{,}4$ $\Psi_1 = 0{,}5$ $\Psi_2 = 0{,}3$

B.4.4.2 Belastingcombinaties

UGT

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum 1{,}35 * G_{k,j} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10a)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10b)

$q_{fi.} = \sum G_{k,j} + A_d + Q_{k,1} * \psi_{2,1}(\psi_1 \text{ voor wind}) + \sum Q_{k,i} * \psi_{2,i}$ (verg. 6.11b)

BGT

$q_{kar} = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum Q_{k,i} * \psi_0$ (verg. 6.14b)

B.4.4.3 Brand

Bij de verdiepingsvloer zal er aan de bovenzijde en onderzijde gerekend worden met brand. Aan de bovenzijde van de vloer is er vloerafwerking aanwezig die voor extra brandwerendheid zorgt. Verder is er aan de onderzijde een verlaagd plafond toegepast die voor extra brandwerendheid zorgt.

De brandduur wordt ingesteld op 120 minuten.
De brandwerendheid van de vloerafwerking bedraagt 55 minuten.
De brandwerendheid van het verlaagde plafond bedraagt 81 minuten.

Er wordt aangenomen dat de brand aan de bovenzijde plaatsvindt omdat daar de brandwerendheid van de afwerking het laagste is.
De berekening van de brandwerendheid is terug te vinden in bijlage B.3.

B.4.4.4 Resultaat doorlopend vloerpaneel

Benodigde paneeldikte volgens berekening: 160 mm (160 L5s)
Met dit paneel voldoet het paneel op sterkte en stijfheid.

De factor brand is in dit geval maatgevend. Om een geldige doorsnede te behalen tijdens brand is het bovenstaande paneel noodzakelijk.

B.4.4.5 Resultaat enkelveld vloerpaneel

Benodigde paneeldikte volgens berekening: 180 mm (180 L5s)
Met dit paneel voldoet het paneel op sterkte en stijfheid.

De factor doorbuiging is in dit geval maatgevend.

B.4.4.6 Gekozen vloer

Als vloerpanelen wordt er een paneel toegepast met een dikte van 180mm.

B.4.5 Berekening wanden

De verdiepingshoogte bedraagt 3,2 meter. De dikte van de CLT-wand zal bepaald worden aan de hand van de wand die het meest belast zal worden.

Het dimensioneren en het toetsen van de wand zal met behulp van CLT-designer worden uitgevoerd. Er wordt een wand strook van 1 meter breed genomen. De dimensionering van de wand zal aan de hand van de belasting van 8 bouwlagen worden vastgesteld.

De wand wordt getoetst op sterkte, stijfheid en stabiliteit. De factor knik wordt hierin meegenomen.

B.4.5.1 Belastingcombinaties

UGT

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum 1{,}35 * G_{k,j} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10a)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + 1{,}5 * Q_{k,2} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i>2} * \psi_0)$ (verg. 6.10b)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i>1} * \psi_0)$ (wind extreem) (verg. 6.10b)

$q_{fi.} = \sum G_{k,j} + A_d + Q_{k,1} * \psi_{2,1}(\psi_1 \text{ voor wind}) + \sum Q_{k,i>1} * \psi_{2,i}$ (verg. 6.11b)

Waarin:

$Veiligheidsklasse\ CC2\ dus\ K_{FI} = 1$

$\xi = 0{,}89$

B.4.5.2 Brand

De wanden worden voorzien van een voorzetwand. Deze wand zorgt ervoor dat de brandwerendheid van de wand wordt verhoogd. De brand zal gerekend worden aan één zijde van de wand.

De brandduur wordt ingesteld op 120 minuten.
De brandwerendheid van de voorzetwand bedraagt 71 minuten per zijde.
De berekening van de brandwerendheid is terug te vinden in bijlage B.3.

B.4.5.3 Gewichtsberekening

Uit de gewichtsberekening van bijlage B.6 blijkt dat de maximale belasting als volgt luidt (wand 1.19 van de gewichtsberekening):

UGT 338 kN druk

Brand 172,5 kN druk

B.4.5.4 Resultaat

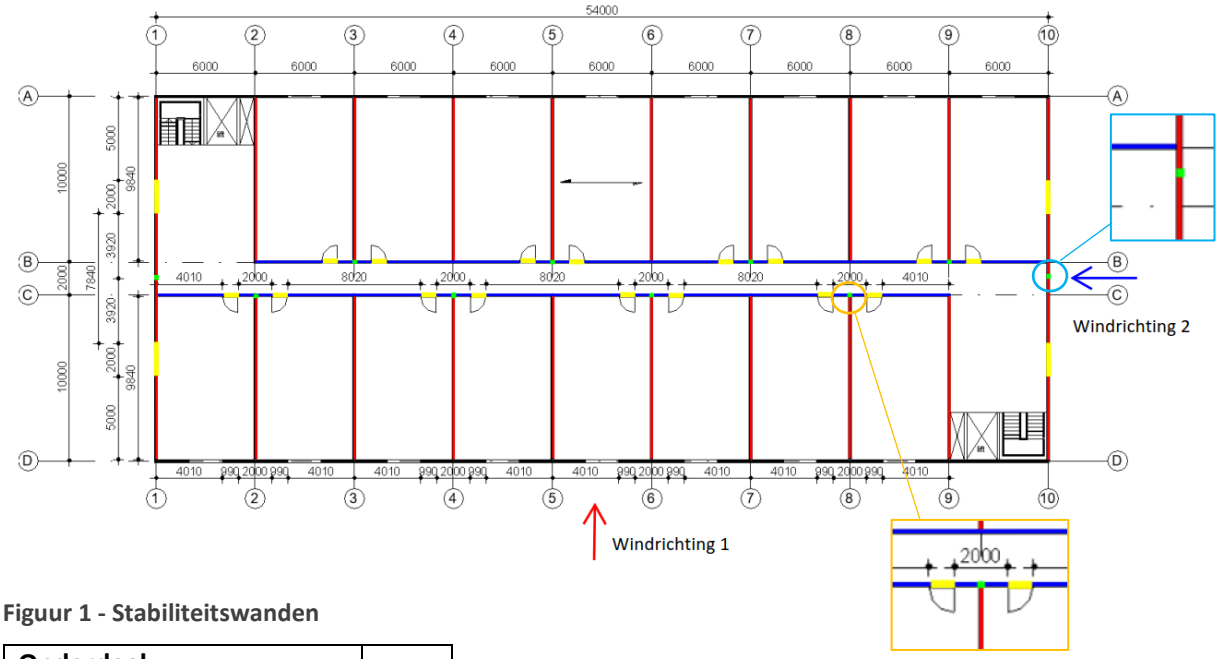
De hoogte van de wand bedraagt 2,95 meter.
Minimaal benodigde paneeldikte volgens berekening: 140 mm (140 L5s)
Met dit paneel voldoet het paneel op sterkte en stijfheid.
De knikfactor bedraagt in dit geval: 0,70

De factor brand is in dit geval maatgevend. Om een geldige doorsnede te behalen tijdens brand is het bovenstaande paneel noodzakelijk.

Bijlage B.5 - Verdeling windbelasting

Onderstaande figuur geeft aan welke wanden gebruikt worden om de stabiliteit van het gebouw te waarborgen. Ter plaatse van de wanddeling bij stramien 1 en 10 zullen de wanden aan elkaar gekoppeld worden om een stijvere constructie te realiseren. De wanddelingen in stramien B & C zullen niet met elkaar gekoppeld worden, omdat dit weinig voordeel heeft.

In dit hoofdstuk zal ook de doorbuiging van het gebouw berekend worden per x aantal bouwlagen.



Figuur 1 - Stabiliteitswanden

Onderdeel	
Stab.wand windrichting 1	
Stab.wand windrichting 2	
Deling wand	
Sparing	

Tabel 1 - Legenda

B.5.1 Windbelasting

De windbelasting die optreedt per windrichting bij de verschillende bouwlagen zijn als volgt:

Windrichting 1, brede zijde												
Bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20
0 - 22 m (kN/m²)	1,18	1,22	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,50	1,55	1,63	1,29	1,31
22 - x m (kN/m²)	1,18	1,22	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,50	1,55	1,63	1,70	1,77

Tabel 2 - Karakteristieke windbelasting per m² per aantal bouwlagen in windrichting 1

Windrichting 2, korte zijde												
Bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20
0 - 22 m (kN/m²)	1,18	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,21	1,21
22 - x m (kN/m²)	1,18	1,22	1,27	1,31	1,35	1,38	1,43	1,45	1,48	1,54	1,60	1,65

Tabel 3 - Karakteristieke windbelasting per m² per aantal bouwlagen in windrichting 2

B.5.2 Varianten aandeel per wand

De vloer werkt als één grote schijf. De vloer verdeeld de optredende windbelasting over de stabiliteitswanden op basis van stijfheid. Er zal onderzocht worden welk aandeel van de windbelasting elke wand op zich neemt. Daarnaast zal er onderzocht worden wat het effect is wanneer de wandelementen ter plaatse van de wanddeling los van elkaar worden gemonteerd en wanneer deze met elkaar worden gekoppeld. In onderstaande tabellen is aangegeven welk aandeel van de windbelasting door elke wand wordt opgenomen. Dit aandeel is als volgt bepaald

$$Wandaandeel\ (\%) = \frac{I_{wand}}{I_{totaal,windrichting}} * 100\%$$

Waarbij:

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

Losstaand

Het aandeel van de wanden wanneer deze niet met elkaar gekoppeld worden luidt als volgt:

	Windrichting 1					**Windrichting 2**			
Wand	L (mm)	B (mm)	Iy (mm^4)	Aandeel	Wand	L (mm)	B (mm)	Iy (mm^4)	Aandeel
1	9840	160	1,30E+13	5,96%	25	4010	160	8,6E+11	1,91%
2	9840	160	1,30E+13	5,96%	26	1000	160	1,3E+10	0,03%
3	9840	160	1,30E+13	5,96%	27	1000	160	1,3E+10	0,03%
4	9840	160	1,30E+13	5,96%	28	8020	160	6,9E+12	15,31%
5	9840	160	1,30E+13	5,96%	29	1000	160	1,3E+10	0,03%
6	9840	160	1,30E+13	5,96%	30	1000	160	1,3E+10	0,03%
7	9840	160	1,30E+13	5,96%	31	8020	160	6,9E+12	15,31%
8	9840	160	1,30E+13	5,96%	32	1000	160	1,3E+10	0,03%
9	9840	160	1,30E+13	5,96%	33	1000	160	1,3E+10	0,03%
10	9840	160	1,30E+13	5,96%	34	8020	160	6,9E+12	15,31%
11	9840	160	1,30E+13	5,96%	35	1000	160	1,3E+10	0,03%
12	9840	160	1,30E+13	5,96%	36	1000	160	1,3E+10	0,03%
13	9840	160	1,30E+13	5,96%	37	4010	160	8,6E+11	1,91%
14	9840	160	1,30E+13	5,96%	38	4010	160	8,6E+11	1,91%
15	9840	160	1,30E+13	5,96%	39	1000	160	1,3E+10	0,03%
16	9840	160	1,30E+13	5,96%	40	1000	160	1,3E+10	0,03%
17	5000	160	1,70E+12	0,78%	41	8020	160	6,9E+12	15,31%
18	3920	160	8,00E+11	0,38%	42	1000	160	1,3E+10	0,03%
19	3920	160	8,00E+11	0,38%	43	1000	160	1,3E+10	0,03%
20	5000	160	1,70E+12	0,78%	44	8020	160	6,9E+12	15,31%
21	5000	160	1,70E+12	0,78%	45	1000	160	1,3E+10	0,03%
22	3920	160	8,00E+11	0,38%	46	1000	160	1,3E+10	0,03%
23	3920	160	8,00E+11	0,38%	47	8020	160	6,9E+12	15,31%
24	5000	160	1,70E+12	0,78%	48	1000	160	1,3E+10	0,03%
			2,10E+14	100,00%	49	1000	160	1,3E+10	0,03%
					50	4010	160	8,6E+11	1,91%
								4,5E+13	100,00%

Tabel 4 - Aandeel per wand wanneer niet gekoppeld

Gekoppeld

Wanneer de wanden wel met elkaar gekoppeld worden is het aandeel van de wanden als volgt:

	Windrichting 1					Windrichting 2			
Wand	L (mm)	B (mm)	Iy (mm^4)	Aandeel	Wand	L (mm)	B (mm)	Iy (mm^4)	Aandeel
1	9840	160	1,3E+13	5,70%	23	4010	160	8,6E+11	1,89%
2	9840	160	1,3E+13	5,70%	24	2000	160	1,1E+11	0,23%
3	9840	160	1,3E+13	5,70%	25	8020	160	6,9E+12	15,10%
4	9840	160	1,3E+13	5,70%	26	2000	160	1,1E+11	0,23%
5	9840	160	1,3E+13	5,70%	27	8020	160	6,9E+12	15,10%
6	9840	160	1,3E+13	5,70%	28	2000	160	1,1E+11	0,23%
7	9840	160	1,3E+13	5,70%	29	8020	160	6,9E+12	15,10%
8	9840	160	1,3E+13	5,70%	30	2000	160	1,1E+11	0,23%
9	9840	160	1,3E+13	5,70%	31	4010	160	8,6E+11	1,89%
10	9840	160	1,3E+13	5,70%	32	4010	160	8,6E+11	1,89%
11	9840	160	1,3E+13	5,70%	33	2000	160	1,1E+11	0,23%
12	9840	160	1,3E+13	5,70%	34	8020	160	6,9E+12	15,10%
13	9840	160	1,3E+13	5,70%	35	2000	160	1,1E+11	0,23%
14	9840	160	1,3E+13	5,70%	36	8020	160	6,9E+12	15,10%
15	9840	160	1,3E+13	5,70%	37	2000	160	1,1E+11	0,23%
16	9840	160	1,3E+13	5,70%	38	8020	160	6,9E+12	15,10%
17	5000	160	1,7E+12	0,75%	39	2000	160	1,1E+11	0,23%
18	7840	160	6,4E+12	2,88%	40	4010	160	8,6E+11	1,89%
19	5000	160	1,7E+12	0,75%				4,6E+13	100,00%
20	5000	160	1,7E+12	0,75%					
21	7840	160	6,4E+12	2,88%					
22	5000	160	1,7E+12	0,75%					
			2,2E+14	100,00%					

Tabel 5 - Aandeel per wand wanneer gekoppeld

B.5.3 Windbelasting per wand

In windrichting 1 heeft het koppelen van de wanden effect op de verdeling van de wind. In windrichting 2 daarentegen heeft het koppelen van de wanden weinig effect op de windverdeling. Daarom is ervoor gekozen om de wanden in windrichting 1 met elkaar te koppelen en in windrichting 2 niet. Daar zal verder mee worden gerekend. In onderstaande tabel is het aandeel per wand opgenomen waar verder mee gerekend wordt.

Windrichting 1

Wand	L (mm)	B (mm)	Iy (mm^4)	Aandeel
1	9840	160	1,27E+13	5,70%
2	9840	160	1,27E+13	5,70%
3	9840	160	1,27E+13	5,70%
4	9840	160	1,27E+13	5,70%
5	9840	160	1,27E+13	5,70%
6	9840	160	1,27E+13	5,70%
7	9840	160	1,27E+13	5,70%
8	9840	160	1,27E+13	5,70%
9	9840	160	1,27E+13	5,70%
10	9840	160	1,27E+13	5,70%
11	9840	160	1,27E+13	5,70%
12	9840	160	1,27E+13	5,70%
13	9840	160	1,27E+13	5,70%
14	9840	160	1,27E+13	5,70%
15	9840	160	1,27E+13	5,70%
16	9840	160	1,27E+13	5,70%
17	5000	160	1,67E+12	0,75%
18	7840	160	6,43E+12	2,88%
19	5000	160	1,67E+12	0,75%
20	5000	160	1,67E+12	0,75%
21	7840	160	6,43E+12	2,88%
22	5000	160	1,67E+12	0,75%
			2,23E+14	100,00%

Windrichting 2

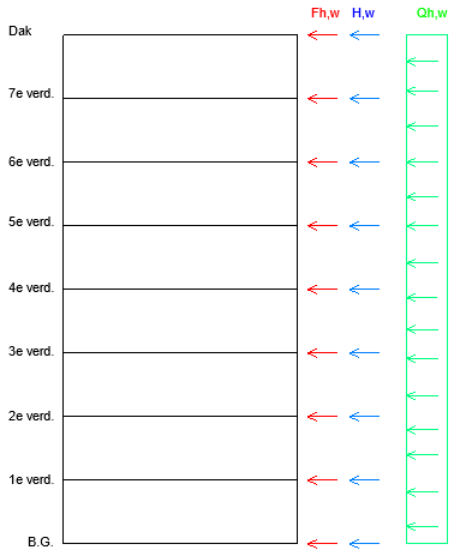
Wand	L (mm)	B (mm)	Iy (mm^4)	Aandeel
23	4010	160	8,6E+11	1,91%
24	1000	160	1,3E+10	0,03%
25	1000	160	1,3E+10	0,03%
26	8020	160	6,9E+12	15,31%
27	1000	160	1,3E+10	0,03%
28	1000	160	1,3E+10	0,03%
29	8020	160	6,9E+12	15,31%
30	1000	160	1,3E+10	0,03%
31	1000	160	1,3E+10	0,03%
32	8020	160	6,9E+12	15,31%
33	1000	160	1,3E+10	0,03%
34	1000	160	1,3E+10	0,03%
35	4010	160	8,6E+11	1,91%
36	4010	160	8,6E+11	1,91%
37	1000	160	1,3E+10	0,03%
38	1000	160	1,3E+10	0,03%
39	8020	160	6,9E+12	15,31%
40	1000	160	1,3E+10	0,03%
41	1000	160	1,3E+10	0,03%
42	8020	160	6,9E+12	15,31%
43	1000	160	1,3E+10	0,03%
44	1000	160	1,3E+10	0,03%
45	8020	160	6,9E+12	15,31%
46	1000	160	1,3E+10	0,03%
47	1000	160	1,3E+10	0,03%
48	4010	160	8,6E+11	1,91%
			4,5E+13	100,00%

Tabel 6 - Wandaandeel windrichting 1 gekoppeld en windrichting 2 niet gekoppeld.

In figuur 2 wordt laten zien op welke manier de windbelasting wordt verdeeld over het gebouw.

Kracht	Beschrijving
Qh,w	Gelijkmatig verdeelde windlast op de wand
Fh,w	Windlast vanuit Qh,w op de vloer
H,w	Totale horizontale schuifkracht op de vloer

Tabel 7 - Legenda



Figuur 2 - Windverdeling wand

Voor de berekeningen worden de totale horizontale schuifkrachten op de 1e verdiepingsvloer en de begane grondvloer gebruikt.

De totale horizontale schuifkracht op de begane grondvloer wordt als volgt bepaald:

$$H_{w,BG} = F_{h,w,dak} + F_{h,w,7e\ verd.} + F_{h,w,6e\ verd.} + F_{h,w,5e\ verd.} + F_{h,w,4e\ verd.} + F_{h,w,3e\ verd.} + F_{h,w,2e\ verd.} + F_{h,w,1e\ verd.} + F_{h,w,BG}$$

De totale horizontale schuifkracht op de 1e verdiepingsvloer wordt op dezelfde manier bepaald, maar zonder de $F_{h,w,BG}$.

Voor de berekeningen zal het moment, dat optreedt vanuit de wind, op de begane grond en de 1e verdiepingsvloer relevant zijn voor de berekeningen. Deze worden als volgt bepaald:

$$M = \frac{1}{2} Q_{h,w} * h^2$$

Voor het bepalen van het moment op de begane grond is de “h” de totale hoogte van het gebouw. Voor het moment op de 1e verdiepingsvloer is “h” de hoogte van het gebouw minus de 1e bouwlaag.

De rekenwaarde van de windbelasting per wand per x aantal bouwlagen luiden als volgt:

6 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	3,62	0,47	1,83	kN/m
q,ed op wand	5,43	0,71	2,75	kN/m
M,ek op BG	667	88	338	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	463	61	234	kNm
M,ed op BG	1001	131	506	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	695	91	352	kNm
Hed,w BG	104,27	13,68	52,74	kN
Hed,w 1e verd.vloer	95,58	12,54	48,34	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,50	0,01	3,98	kN/m
q,ed op wand	0,75	0,01	5,97	kN/m
M,ek op BG	92	1	734	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	64	1	510	kNm
M,ed op BG	138	2	1101	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	96	1	765	kNm
Hed,w BG	14,34	0,22	114,70	kN
Hed,w 1e verd.vloer	13,14	0,20	105,15	kN

7 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	3,75	0,49	1,89	kN/m
q,ed op wand	5,62	0,74	2,84	kN/m
M,ek op BG	940	123	475	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	690	91	349	kNm
M,ed op BG	1410	185	713	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	1036	136	524	kNm
Hed,w BG	125,86	16,51	63,66	kN
Hed,w 1e verd.vloer	116,87	15,33	59,11	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,51	0,01	4,09	kN/m
q,ed op wand	0,77	0,01	6,14	kN/m
M,ek op BG	127	2	1015	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	93	1	745	kNm
M,ed op BG	190	3	1522	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	140	2	1118	kNm
Hed,w BG	16,98	0,26	135,85	kN
Hed,w 1e verd.vloer	15,77	0,24	126,15	kN

8 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	3,94	0,52	1,99	kN/m
q,ed op wand	5,91	0,78	2,99	kN/m
M,ek op BG	1291	169	653	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	989	130	500	kNm
M,ed op BG	1937	254	980	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	1483	195	750	kNm
Hed,w BG	151,35	19,86	76,55	kN
Hed,w 1e verd.vloer	141,89	18,62	71,76	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,54	0,01	4,28	kN/m
q,ed op wand	0,80	0,01	6,42	kN/m
M,ek op BG	169	3	1349	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	129	2	1034	kNm
M,ed op BG	253	4	2023	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	194	3	1552	kNm
Hed,w BG	19,63	0,30	157,00	kN
Hed,w 1e verd.vloer	18,41	0,29	147,27	kN

9 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	4,10	0,54	2,08	kN/m
q,ed op wand	6,16	0,81	3,11	kN/m
M,ek op BG	1702	223	861	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	1345	176	680	kNm
M,ed op BG	2553	335	1291	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	2017	265	1020	kNm
Hed,w BG	177,31	23,26	89,68	kN
Hed,w 1e verd.vloer	167,46	21,97	84,70	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,55	0,01	4,43	kN/m
q,ed op wand	0,83	0,01	6,64	kN/m
M,ek op BG	218	3	1747	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	173	3	1386	kNm
M,ed op BG	328	5	2620	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	260	4	2079	kNm
Hed,w BG	22,38	0,35	179,07	kN
Hed,w 1e verd.vloer	21,17	0,33	169,33	kN

10 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	4,23	0,56	2,14	kN/m
q,ed op wand	6,35	0,83	3,21	kN/m
M,ek op BG	2168	284	1097	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	1756	230	888	kNm
M,ed op BG	3252	427	1645	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	2634	346	1332	kNm
Hed,w BG	203,25	26,67	102,80	kN
Hed,w 1e verd.vloer	193,09	25,33	97,66	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,57	0,01	4,54	kN/m
q,ed op wand	0,85	0,01	6,81	kN/m
M,ek op BG	276	4	2208	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	225	3	1798	kNm
M,ed op BG	414	6	3312	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	337	5	2697	kNm
Hed,w BG	25,25	0,39	202,01	kN
Hed,w 1e verd.vloer	24,03	0,37	192,27	kN

11 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	4,37	0,57	2,21	kN/m
q,ed op wand	6,55	0,86	3,31	kN/m
M,ek op BG	2705	355	1368	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	2235	293	1131	kNm
M,ed op BG	4057	532	2052	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	3353	440	1696	kNm
Hed,w BG	230,52	30,24	116,59	kN
Hed,w 1e verd.vloer	220,04	28,87	111,29	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,58	0,01	4,65	kN/m
q,ed op wand	0,87	0,01	6,98	kN/m
M,ek op BG	342	5	2738	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	285	4	2277	kNm
M,ed op BG	513	8	4108	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	427	7	3415	kNm
Hed,w BG	28,25	0,44	226,01	kN
Hed,w 1e verd.vloer	27,03	0,42	216,28	kN

12 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	4,53	0,59	2,29	kN/m
q,ed op wand	6,80	0,89	3,44	kN/m
M,ek op BG	3343	439	1691	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	2809	369	1421	kNm
M,ed op BG	5014	658	2536	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	4213	553	2131	kNm
Hed,w BG	261,15	34,26	132,08	kN
Hed,w 1e verd.vloer	250,26	32,83	126,58	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,60	0,01	4,80	kN/m
q,ed op wand	0,90	0,01	7,20	kN/m
M,ek op BG	420	7	3360	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	355	6	2843	kNm
M,ed op BG	630	10	5040	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	533	8	4265	kNm
Hed,w BG	31,50	0,49	252,01	kN
Hed,w 1e verd.vloer	30,28	0,47	242,27	kN

13 bouwlagen

Windrichting 1	Wandtype			
	10m	5m	7,84m	
q,ek op wand	4,63	0,61	2,34	kN/m
q,ed op wand	6,95	0,91	3,51	kN/m
M,ek op BG	4009	526	2027	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	3416	448	1728	kNm
M,ed op BG	6013	789	3041	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	5123	672	2591	kNm
Hed,w BG	289,08	37,93	146,21	kN
Hed,w 1e verd.vloer	277,96	36,47	140,59	kN

Windrichting 2	Wandtype			
	4,01m	1m	8,02m	
q,ek op wand	0,61	0,01	4,88	kN/m
q,ed op wand	0,91	0,01	7,31	kN/m
M,ek op BG	503	8	4021	kNm
M,ek op 1e verd.vloer	431	7	3450	kNm
M,ed op BG	754	12	6032	kNm
M,ed op 1e verd.vloer	647	10	5176	kNm
Hed,w BG	34,66	0,54	277,25	kN
Hed,w 1e verd.vloer	33,44	0,52	267,51	kN

B.5.4 Horizontale doorbuiging

In de bruikbaarheidstoetstand mag het gebouw maximaal 1/500 van de hoogte doorbuigen. Voor de doorbuiging in windrichting 1 wordt de wand van 9,84 meter beschouwd. In windrichting 2 de wand van 8,02 meter. Doordat de belasting op basis van stijfheid wordt verdeeld zullen de doorbuigingen van de overige wanden identiek zijn aan deze doorbuiging. Om de maximale doorbuiging van het gebouw te bepalen wordt de volgende vergelijking gebruikt:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

Waarbij:

$$\delta_1 = \frac{M}{C} * l$$

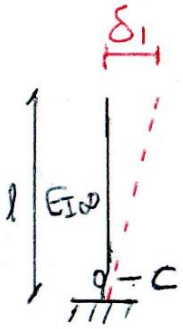
$$\delta_2 = \frac{q*l^4}{8EI}$$

Waarbij:

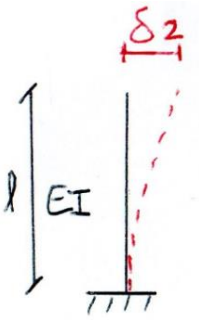
$E = E_{0,mean} = 11.000\ N/mm^2$

$$I = \frac{1}{12} * d_{0,net} * b^3$$

$d_{0,net}$ = Totale dikte van de lamellen die evenwijdig georiënteerd zijn aan de overspanningsrichting van de wand.



Figuur 4- Doorbuiging δ_1



Figuur 3- Doorbuiging δ_2

De rotatieveerconstantie “C” wordt bepaald aan de hand van de onderliggende fundering. In bijlage B.4 is een aanname gedaan voor de onderliggende fundering en is de rotatieveerconstante bepaald. In bijlage B.5.3 is de windbelasting per wand bepaald.

In tabel 8 is weergeven wat de maximaal toelaatbare doorbuiging van het gebouw is per x aantal bouwlagen.

Bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	
Hoogte	19,2	22,4	25,6	28,8	32	35,2	38,4	41,6	m
Max. doorbuiging	38,4	44,8	51,2	57,6	64	70,4	76,8	83,2	mm

Tabel 8- Maximaal toelaatbare doorbuiging

In tabel 9 is de optredende doorbuiging opgenomen die in windrichting 1 optreedt. Deze is bepaald aan de hand van bovenstaande formules en de wand van 9,84 meter.

Windrichting 1									
Bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	
$q_{ek,wind}$	3,62	3,75	3,94	4,11	4,23	4,37	4,53	4,63	kN/m
$M_{ek,wind}$	667	940	1291	1702	2168	2705	3343	4009	kNm

$d_{0,net}$	Doorbuiging								
100	2,94	5,03	8,20	12,61	18,48	26,23	36,54	49,00	mm
120	2,83	4,80	7,80	11,94	17,42	24,63	34,18	45,69	mm
140	2,74	4,64	7,51	11,45	16,66	23,49	32,51	43,32	mm
160	2,68	4,52	7,29	11,09	16,09	22,63	31,25	41,55	mm
180	2,63	4,43	7,12	10,81	15,65	21,97	30,27	40,17	mm
200	2,59	4,35	6,99	10,59	15,30	21,43	29,48	39,07	mm
220	2,56	4,29	6,88	10,40	15,01	21,00	28,84	38,17	mm
240	2,53	4,24	6,79	10,25	14,77	20,63	28,31	37,41	mm

Tabel 9- Doorbuiging windrichting 1

In tabel 10 is de optredende doorbuiging opgenomen die in windrichting 2 optreedt. Deze is bepaald met bovenstaande formules en aan de hand van de wand van 8,02 meter.

Windrichting 2									
Bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	
$q_{ek,wind}$ $0-22m$	3,98	4,04	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	kN/m
$q_{ek,wind}$ $22+m$	3,98	4,09	4,28	4,43	4,54	4,65	4,80	4,87	kN/m
$M_{ek,wind}$	734	1015	1349	1747	2208	2738	3360	4021	kNm

$d_{0,net}$	Doorbuiging								
100	3,18	5,54	9,14	14,29	21,35	30,84	43,59	59,32	mm
120	2,94	5,09	8,33	12,95	19,25	27,69	38,99	52,89	mm
140	2,77	4,76	7,75	11,99	17,75	25,44	35,71	48,30	mm
160	2,64	4,52	7,32	11,27	16,63	23,76	33,24	44,86	mm
180	2,54	4,33	6,98	10,71	15,75	22,44	31,33	42,18	mm
200	2,46	4,18	6,71	10,26	15,05	21,40	29,79	40,03	mm
220	2,40	4,06	6,49	9,90	14,48	20,54	28,54	38,28	mm
240	2,34	3,95	6,31	9,59	14,01	19,82	27,50	36,82	mm

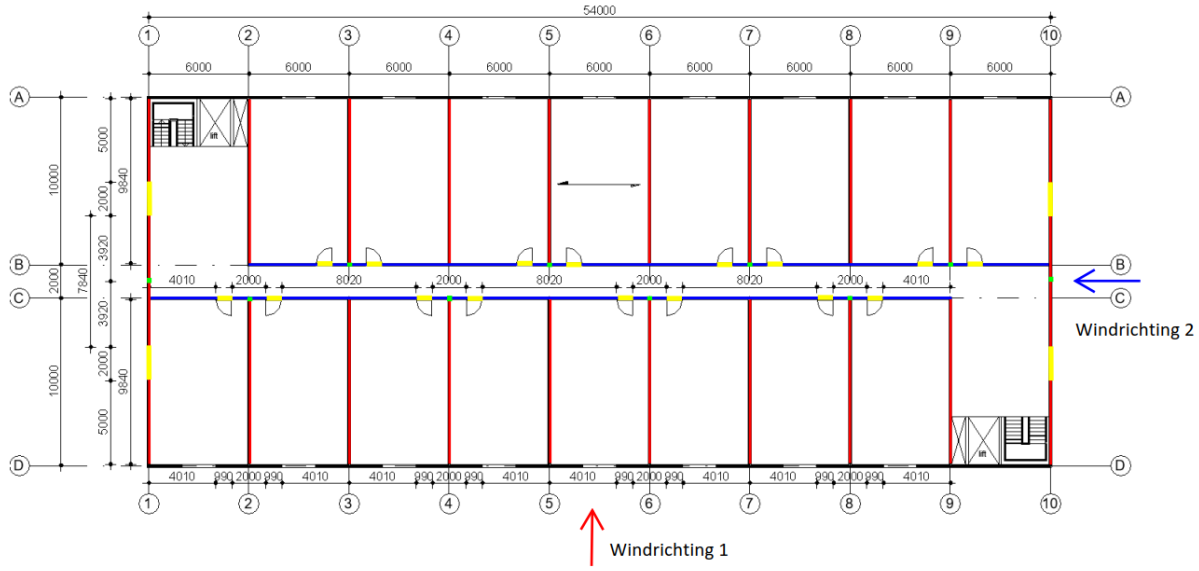
Tabel 10- Doorbuiging windrichting 2

De doorbuiging voldoet in alle gevallen.

Bijlage B.6 – Gewichtsberekening

De gewichtsberekening is uitgevoerd in Excel. Op die manier worden wijzigingen direct verrekend in de berekening. In deze bijlage wordt laten zien op welke manier de belasting op de wanden wordt bepaald. Dit gebeurt aan de hand van de casus met 8 bouwlagen en met een wanddikte van 160mm. De overige belastingen zijn overgenomen van de uitgangspunten in bijlage B.2.

Deze gewichtsberekening is gemaakt voor elk aantal bouwlagen in Excel. Deze berekening laat zien hoe de berekeningen zijn opgebouwd.



Figuur 1 - Stabiliteitswanden

Onderdeel	
Stab.wand windrichting 1	
Stab.wand windrichting 2	
Deling wand	
Sparing	

Tabel 1 - Legenda

B.6.1 Windbelasting

Bepalen stijfheid wanden

De windbelasting wordt op basis van stijfheid over de wanden verdeeld. In bijlage B.5 is het aandeel per wand berekend.

Windbelasting windrichting 1 brede zijde

Stuwdruk windrichting 1 Q,ek = 1,28 kN/m² (Zie bijlage B.2.7).
Stuwdruk UGT Q,ed = 1,5 * 1,28 = 1,92 kN/m²

Verdiepingshoogte:	3,2 meter
Aantal bouwlagen:	8
Gebouwhoogte 8 * 3,2:	25,6 meter
Breedte gebouw:	54 meter
Diepte gebouw:	22 meter

Er zijn 10 stramienen waar stabiliteitswanden geplaatst zijn.
Op stramien 1 en 10 (de kopgevels) zijn op elke stramien twee panelen geplaatst die met elkaar

gekoppeld zijn. Op de overige stramienen zijn 2 wanden geplaatst met elk een lengte van 9,84 meter. De vloer werkt als schijf en zal de windbelasting gelijk verdelen op basis van stijfheid over de wanden.

Verdeling windbelasting

q-last totale gebouw: 54 m * 1,92 kN/m² = 103,67 kN/m

q-last wand 9,84 meter: $\frac{I_{(9,84m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{1,27*10^{13}}{2,22*10^{14}} * 103,67 =$ 5,91 kN/m

q-last wand 5 meter: $\frac{I_{(5m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{1,66*10^{12}}{2,22*10^{14}} * 103,67 =$ 0,78 kN/m

q-last wand 7,84 meter: $\frac{I_{(7,84m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{6,43*10^{13}}{2,22*10^{14}} * 103,67 =$ 2,99 kN/m

Windbelasting t.b.v. gewichtsberekening 1e verdiepingsvloer

De uitkomst van deze berekening zal gebruikt worden om te bepalen hoeveel windbelasting er op de 1e verdiepingsvloer optreedt. Met deze belasting kan er getoetst worden of de maximale drukspanning loodrecht op de houtvezel niet wordt overschreden.

Moment op wand 9,84m Med = $5,91 * (25,6 - 3,2) * \frac{25,6-3,2}{2} =$ 1483 kNm

Moment op wand 5m Med = $0,78 * (25,6 - 3,2) * \frac{25,6-3,2}{2} =$ 195 kNm

Moment op wand 7,84m Med = $2,99 * (25,6 - 3,2) * \frac{25,6-3,2}{2} =$ 750 kNm

De optredende spanningen worden als volgt bepaald:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{ed} * \left(\frac{l(x)}{2}\right)}{Ix}\ [N/mm^2]$$

Optredende spanning vanuit wind op wand 9,84m $\sigma_{max} = \frac{1483*10^6*\left(\frac{9840}{2}\right)}{1,27*10^{13}} =$ +/- 0,57 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 5m $\sigma_{max} = \frac{195*10^6*\left(\frac{5000}{2}\right)}{1,66*10^{12}} =$ +/- 0,29 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 7,84m $\sigma_{max} = \frac{750*10^6*\left(\frac{7840}{2}\right)}{6,43*10^{13}} =$ +/- 0,46 N/mm²

Windbelasting t.b.v. gewichtsberekening onderste wand

De uitkomst van deze berekening zal gebruikt worden om te bepalen hoeveel windbelasting er op de begane grondvloer plaatsvindt. Met deze belasting kan er straks getoetst worden of de maximale drukspanning evenwijdig aan de houtvezelrichting niet wordt overschreden en of er trekspanning opgenomen dient te worden.

Moment op wand 9,84m Med = $5,91 * 25,6 * \frac{25,6}{2} =$ 1937 kNm

Moment op wand 5m Med = $0,78 * 25,6 * \frac{25,6}{2} =$ 254 kNm

Moment op wand 7,84m Med = $2,99 * 25,6 * \frac{25,6}{2} =$ 750 kNm

Optredende spanning vanuit wind op wand 9,84m $\sigma_{max} = \frac{1937*10^6*\left(\frac{9840}{2}\right)}{1,27*10^{13}} =$ +/- 0,75 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 5m $\sigma_{max} = \frac{254*10^6*\left(\frac{5000}{2}\right)}{1{,}66*10^{12}} =$ +/- 0,38 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 7,84m $\sigma_{max} = \frac{980*10^6*\left(\frac{7840}{2}\right)}{6{,}43*10^{13}} =$ +/- 0,60 N/mm²

Windbelasting windrichting 2, korte zijde

Stuwdruk windrichting 2;

Tot 22m hoogte =	1,20 kN/m² (Zie bijlage B.2.7).
22 t/m 25,6m hoogte =	1,27 kN/m² (Zie bijlage B.2.7).
Stuwdruk UGT = 1,5 * 1,20 =	1,81 kN/m²
Stuwdruk UGT = 1,5 * 1,27 =	1,91 kN/m²

Verdiepingshoogte:	3,2 meter
Aantal bouwlagen:	8
Gebouwhoogte 8 * 3,2m:	25,6 meter
Breedte gebouw:	22 meter
Diepte gebouw:	54 meter

Er zijn 2 stramienen waar stabiliteitswanden op geplaatst zijn.
Op de stramienen B en C zijn panelen geplaatst van 6 en 12 meter lengte. De wanden zullen in deze richting niet aan elkaar gekoppeld zijn. Er zijn diverse sparingen aanwezig die voor verzwakkingen zorgen. De vloer werkt als schijf en zal de windbelasting gelijk verdelen over de stramienen.

Verdeling windbelasting

De windbelasting wordt op basis van stijfheid over de wanden verdeeld.

q-last totale gebouw 0-22m:	22 m * 1,81 kN/m² =	39,8 kN/m
q-last totale gebouw 22-25,6m:	22 m * 1,91 kN/m² =	41,93 kN/m

q-last 0-22m wand 4,01m: $\frac{I_{(4,01m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{8{,}597*10^{11}}{4{,}49*10^{13}} * 39{,}8 =$ 0,76 kN/m

q-last 22-25,6m wand: 4,01m: $\frac{I_{(4,01m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{8{,}597*10^{11}}{4{,}49*10^{13}} * 41{,}93 =$ 0,8 kN/m

q-last 0-22m wand 1m: $\frac{I_{(1m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{1{,}333*10^{10}}{4{,}49*10^{13}} * 39{,}8 =$ 0,012 kN/m

q-last 22-25,6m wand: 1m: $\frac{I_{(1m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{1{,}333*10^{10}}{4{,}49*10^{13}} * 41{,}93 =$ 0,012 kN/m

q-last 0-22m wand 8,02m: $\frac{I_{(8,02m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{6{,}88*10^{12}}{4{,}49*10^{13}} * 39{,}8 =$ 6,086 kN/m

q-last 22-25,6m wand: 8,02m: $\frac{I_{(8,02m)}}{I_{(totaal)}} * qlast\ totaal = \frac{6{,}88*10^{12}}{4{,}49*10^{13}} * 41{,}93 =$ 6,42 kN/m

Windbelasting t.b.v. gewichtsberekening 1e verdiepingsvloer

De uitkomst van deze berekening zal gebruikt worden om te bepalen hoeveel windbelasting er op de 1e verdiepingsvloer optreedt. Met deze belasting kan er straks getoetst worden of de maximale drukspanning loodrecht op de houtvezel niet wordt overschreden.

Moment op wand 4,01m

Med = $0{,}76 * (22 - 3{,}2) * \frac{22-3{,}2}{2} + 0{,}8 * (25{,}6 - 22) * \frac{25{,}6-22}{2} =$ 193,96 kNm

Moment op wand 1m

Med = $0{,}012 * (22 - 3{,}2) * \frac{22-3{,}2}{2} + 0{,}012 * (25{,}6 - 22) * \frac{25{,}6-22}{2} =$ 3,01 kNm

Moment op wand 8,02m

Med = $6{,}086 * (22 - 3{,}2) * \frac{22-3{,}2}{2} + 6{,}42 * (25{,}6 - 22) * \frac{25{,}6-22}{2} =$ 1551,7 kNm

De optredende spanningen worden als volgt bepaald:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{ed} * \left(\frac{l(x)}{2}\right)}{Iy} \ [N/mm^2]$$

Optredende spanning vanuit wind op wand 4,01m $\sigma_{max} = \frac{193{,}96*10^6*\left(\frac{4010}{2}\right)}{8{,}597*10^{11}} =$ +/- 0,452 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 1m $\sigma_{max} = \frac{3{,}01*10^6*\left(\frac{1000}{2}\right)}{1{,}333*10^{10}} =$ +/- 0,113 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 8,02m $\sigma_{max} = \frac{1551{,}7*10^6*\left(\frac{8020}{2}\right)}{6{,}88*10^{12}} =$ +/- 0,905 N/mm²

Windbelasting t.b.v. gewichtsberekening onderste wand

De uitkomst van deze berekening zal gebruikt worden om te bepalen hoeveel windbelasting er op de begane grondvloer plaatsvindt. Met deze belasting kan er straks getoetst worden of de maximale drukspanning evenwijdig aan de houtvezelrichting niet wordt overschreden en of er trekspanning opgenomen dient te worden.

Moment op wand 4,01m

Med = $0{,}76 * 22 * \frac{22}{2} + 0{,}8 * (25{,}6 - 22) * \frac{25{,}6-22}{2} =$ 252,86 kNm

Moment op wand 1m

Med = $0{,}012 * 22 * \frac{22}{2} + 0{,}012 * (25{,}6 - 22) * \frac{25{,}6-22}{2} =$ 3,92 kNm

Moment op wand 8,02m

Med = $6{,}086 * 22 * \frac{22}{2} + 6{,}42 * (25{,}6 - 22) * \frac{25{,}6-22}{2} =$ 2022,9 kNm

De optredende spanningen worden als volgt bepaald:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{ed} * \left(\frac{l(x)}{2}\right)}{Iy} \ [N/mm^2]$$

Optredende spanning vanuit wind op wand 4,01m $\sigma_{max} = \frac{252{,}86*10^6*\left(\frac{4010}{2}\right)}{8{,}597*10^{11}} =$ +/- 0,59 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 1m $\sigma_{max} = \frac{30{,}93*10^6*\left(\frac{1000}{2}\right)}{1{,}333*10^{10}} =$ +/- 0,147 N/mm²

Optredende spanning vanuit wind op wand 8,02m $\sigma_{max} = \frac{2022{,}9*10^6*\left(\frac{8020}{2}\right)}{6{,}88*10^{12}} =$ +/- 1,18 N/mm²

B.6.2 Gewichtsberekening 8 bouwlagen platformmethode

De belasting op de wanden vanuit het dak, de verdiepingsvloeren en de begane grondvloer zijn afkomstig uit matrixframe. De vloeren zijn doorlopend en daardoor zal de belastingafdracht per wand verschillend zijn.

Uitgangspunten

Houtkwaliteit	C24
Overspanning vloerveld	6 meter
Hoogte verdieping	3,2 meter
Dak	1 stuk
Verdiepingsvloer	7 stuks

Belastingen

De volgende belastingen (afkomstig van bijlage B.2) zijn ingevoerd in de rekenmodellen:

Dak

qg, dakvloer	1,39	kN/m
qv, sneeuw	0,56	kN/m

Verdiepingsvloer

qg, verd. vloer	1,59	kN/m
qv, verd. vloer Cat. A	2,25	kN/m

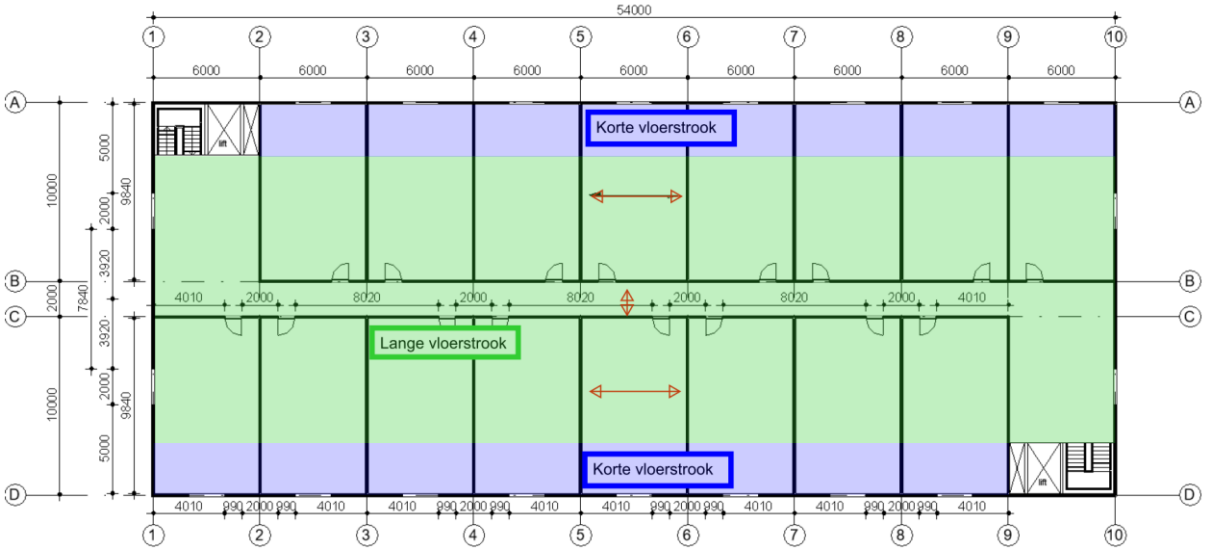
Wand

qg, wand	1,35	kN/m²

De belastingverdeling van het dak en de vloer zijn bepaald aan de hand van een krachtverdeling in Matrixframe. Aan de hand van deze verdeling is er bepaald welk percentage van de totale belasting naar elke wand wordt afgedragen.

Stramien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Eenheid
Wand onder dak											
Eg,wand	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	kN/m
qg,dakvloer	3,29	9,41	8,12	8,40	8,27	8,27	8,40	8,12	9,41	3,29	kN/m
qv,sneeuw	1,33	3,79	3,28	3,39	3,34	3,34	3,39	3,28	3,79	1,33	kN/m
Verdeling	4,39	12,55	10,83	11,20	11,03	11,03	11,20	10,83	12,55	4,39	%

Tabel 2 - Karakteristieke belastingen op wanden



Figuur 2 - Vloerstroken

Er zijn twee soorten vloerstroken, namelijk:

- De korte vloerstrook: de vloerstrook met een sparing bij de liftschacht/trappenhuis.
- De lange vloerstrook: de vloerstrook die over de gehele breedte loopt.

In figuur 2 is aangegeven waar deze vloerstroken zijn gepositioneerd. De krachtsafdracht van deze vloerstroken verschillen van elkaar. In tabel 3 is de belasting opgenomen per verdieping bij de korte vloerstrook.

Wand onder verdiepingsvloer	1/10	2/9	3/8	4/7	5/6	6/5	7/4	8/3	9/2	10/1	Eenheid
Vloerstrook	Kort	Kort	Kort	Kort	Kort	Kort	Kort	Kort	Kort	Kort	
Eg, wand	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	kN/m
qg, verd.vloer	0,00	3,77	10,84	9,21	9,66	9,51	9,66	9,21	10,84	3,77	kN/m
qv, verd.vloer Cat. A	0,00	5,32	15,31	13,01	13,64	13,43	13,64	13,01	15,31	5,32	kN/m
Verdeling	0,00	4,93	14,18	12,05	12,63	12,44	12,63	12,05	14,18	4,93	%

Tabel 3 - Karakteristieke belastingen op wanden per verdieping

In tabel 4 is de belasting opgenomen per verdieping bij de lange vloerstrook.

Wand onder verdiepingsvloer	1/10	2/9	3/8	4/7	5/6	6/5	7/4	8/3	9/2	10/1	Eenheid
Vloerstrook	Lang	Lang	Lang	Lang	Lang	Lang	Lang	Lang	Lang	Lang	
Eg, wand	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	kN/m
qg, verd.vloer	3,78	10,77	9,32	9,64	9,50	9,50	9,64	9,32	10,77	3,78	kN/m
qv, verd.vloer Cat. A	5,34	15,22	13,16	13,61	13,42	13,42	13,61	13,16	15,22	5,34	kN/m
Verdeling	4,39	12,52	10,83	11,20	11,05	11,05	11,20	10,83	12,52	4,39	%

Tabel 4 - Karakteristieke belastingen op wanden per verdieping

In de korte richting is er een klein stukje vloer tussen stramien A en B die zijn belasting afdraagt aan de wanden.

Stramien	A	B	C	D	Eenheid
Wand onder dak					
Eg,wand	3,97	3,97	3,97	3,97	kN/m
qg vanuit dakvloer		1,389	1,389		kN/m
qv,sneeuw		0,56	0,56		kN/m
Wand onder verdiepingsvloer					
Eg, wand	3,97	3,97	3,97	3,97	kN/m
qg, verd.vloer		1,593	1,593		kN/m
qv, verd.vloer Cat. A		2,25	2,25		kN/m

Tabel 5 - Karakteristieke belastingen op wanden

Voor de gewichtsberekening zullen er 2 cruciale punten worden berekend, namelijk:

- Belasting op 1e verdiepingsvloer t.b.v. belasting loodrecht op de vezel.
- Belasting op onderste wand

Uit de tabellen is af te lezen dat stramien 9 waarschijnlijk het zwaarst belast zal worden (wand 1.9 van de gewichtsberekening). Deze stramien zal hier verder uitgewerkt worden. In het Excel bestand is deze berekening voor elke stramien gemaakt.

Belastingcombinaties

De volgende belastingcombinaties zijn gebruikt om de optredende belastingen en spanningen te bepalen.

UGT

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum 1{,}35 * G_{k,j} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10a)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum 0{,}9 * G_{k,j})$ (Wind extreem) (voor trek) (verg. 6.10a)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + 1{,}5 * Q_{k,2} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (verg. 6.10b)

$q_{Ed} = K_{FI} * (\sum \xi * 1{,}35 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + \sum 1{,}5 * Q_{k,i} * \psi_0)$ (wind extreem) (verg. 6.10b)

$q_{fi.} = \sum G_{k,j} + A_d + Q_{k,1} * \psi_{2,1} (\psi_1 \text{ voor wind}) + \sum Q_{k,i} * \psi_{2,i}$ (verg. 6.11b)

Waarin:

$Veiligheidsklasse\ CC2\ dus\ K_{FI} = 1$

$\xi = 0{,}89$

Belasting op wand onder 1e verdiepingsvloer

Stramien 9

6.10a $q_{Ed} = 1 * \left(1{,}35 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + (6 * 3{,}97 + 7 * 10{,}84)\right) + 1{,}5 * (1 * 3{,}79 * 0 + 7 * 15{,}31 * 0{,}4)\right) = 216{,}93\ \mathrm{kN/m}$

6.10b $q_{Ed} = 1 * \left(0{,}89 * 1{,}35 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + (6 * 3{,}97 + 7 * 10{,}84)\right) + 1{,}5 * 15{,}31 + 1{,}5 * 15{,}31 + 1{,}5 * (1 * 3{,}79 * 0 + (7 - 2) * 15{,}31 * 0{,}4)\right) = 227{,}53\ \mathrm{kN/m}$

Wind extreem (wordt later verrekend).

6.10b $q_{Ed} = 1 * \left(0{,}89 * 1{,}35 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + (6 * 3{,}97 + 7 * 10{,}84)\right) + 1{,}5 * 15{,}31 + 1{,}5 * (1 * 3{,}79 * 0 + (7 - 1) * 15{,}31 * 0{,}4)\right) = 213{,}75\ \mathrm{kN/m}$

Wind extreem (wordt later verrekend).

6.10a $q_{Ed} = 1 * \left(0{,}9 * \left(1 * (3{,}97 + 10{,}84) + (6 * 3{,}97 + 7 * 10{,}84)\right)\right) = 101{,}75\ \mathrm{kN/m}$

6.11b $q_{fi} = 1 * \left(\left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + (6 * 3{,}97 + 7 * 10{,}84)\right) + 1 * 3{,}79 * 0 + 7 * 15{,}31 * 0{,}3\right) = 145{,}23\ \mathrm{kN/m}$ (wind wordt later verrekend).

Belasting op begane grondvloer

Stramien 9

6.10a $q_{Ed} = 1 * \left(1{,}35 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + 7 * (3{,}97 + 10{,}84)\right) + 1{,}5 * (1 * 3{,}79 * 0 + 7 * 15{,}31 * 0{,}4)\right) = 222{,}29\ \mathrm{kN/m}$

6.10b $q_{Ed} = 1 * \left(0{,}89 * 1{,}35 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + 7 * (3{,}97 + 10{,}84)\right) + 1{,}5 * 15{,}31 + 1{,}5 * 15{,}31 + 1{,}5 * (1 * 3{,}79 * 0 + (7 - 2) * 15{,}31 * 0{,}4)\right) = 232{,}29\ \mathrm{kN/m}$

Wind extreem (wordt later verrekend).

6.10b $q_{Ed} = 1 * \left(0{,}89 * 1{,}35 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + 7 * (3{,}97 + 10{,}84)\right) + 1{,}5 * 15{,}31 + 1{,}5 * (1 * 3{,}79 * 0 + (7 - 1) * 15{,}31 * 0{,}4)\right) = 218{,}51\ \mathrm{kN/m}$

Wind extreem (wordt later verrekend).

6.10a $q_{Ed} = 1 * \left(0{,}9 * \left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + 7 * (3{,}97 + 10{,}84)\right)\right) = 105{,}32\ \mathrm{kN/m}$

6.11b $q_{fi} = 1 * \left(\left(1 * (3{,}97 + 9{,}41) + 7 * (3{,}97 + 10{,}84)\right) + 1 * 3{,}79 * 0 + 7 * 15{,}31 * 0{,}3\right) = 149{,}18\ \mathrm{kN/m}$ (wind wordt later verrekend).

Optredende spanningen

De optredende spanning wordt als volgt bepaald:

$$\sigma = \frac{q_{ed} * b}{A}$$

Voor oppervlakte A wordt in eerste instantie de gehele diepte van de wand genomen en één meter breedte. A wordt in dat geval: 1000 * 160 = 160.000 mm². Als bovenstaande formule wordt ingevuld voor de verschillende belastingcombinaties komt daar het volgende uit:

	1e verd. vloer	B.g. vloer
6.10a	1,36 N/mm²	1,39 N/mm²
6.10b	1,42 N/mm²	1,45 N/mm²
6.10b (wind extreem)	1,34 N/mm²	1,37 N/mm²
6.10a (Perm. gunstig, wind extreem)	0,64 N/mm²	0,66 N/mm²
6.11b	0,90 N/mm²	0,93 N/mm²

Tabel 6 - Optredende spanningen UGT

Bij de combinaties waar wind meegenomen dient te worden, moet de bijkomende spanning nog opgeteld of afgetrokken worden om de minimale en maximale spanning te bepalen. Deze is eerder bepaald in paragraaf B.6.1.
De optredende spanning vanuit de wind op stramien 9 is:
Op 1e verdiepingsvloer: +/- 0,57 N/mm²
Op B.G.-vloer: +/- 0,75 N/mm²

De minimale en maximaal optredende spanning bedraagt dan:

	1e verd. vloer		B.g. vloer	
	Min. spanning	Max. spanning	Min. spanning	Max. spanning
6.10a (Perm. gunstig, wind extreem)	0,06 N/mm²	1,21 N/mm²	-0.09 N/mm²	1,41 N/mm²
6.10b (wind extreem)	0,76 N/mm²	1,91 N/mm²	0,62 N/mm²	2,12 N/mm²

Tabel 7 - Optredende spanningen UGT

In dit geval zal er geen trekspanning ontstaan op de 1e verdiepingsvloer maar wel op de begane grondvloer.

Belasting op 1e verdiepingsvloer

Op de eerste verdiepingsvloer worden de wanden op de vloer geplaatst. Op deze plaatsen ontstaat er druk loodrecht op de vezelrichting.

Uit het literatuuronderzoek bleek dat erbij druk loodrecht op de vezel met een effectieve oppervlakte gerekend mag worden waar de belasting over wordt verdeeld. De effectieve oppervlakte bestaat uit de breedte van de wand maal de diepte van de wand + 30 mm aan beide zijdes (als dit mogelijk is).

Dus $A_{eff} = b * (h + 2 * 30)$

Om dit om te rekenen naar de optredende spanning op de effectieve oppervlakte wordt de volgende formule gebruikt:

$$\sigma_{b,eff} = \sigma * \frac{A}{A_{eff}}$$

Voor deze toetsing wordt de maximale drukspanning op de eerste verdiepingsvloer genomen. Op dit stramien is dat belastingcombinatie 6.10b met wind extreem. De optredende drukspanning is in dat geval 1,91 N/mm². Deze spanning is echter berekend op de 'normale' oppervlakte (de oppervlakte van de wandstrook).

De werkelijke spanning bedraagt:

$$\sigma_{b,eff} = 1{,}91 * \frac{1000 * 160}{1000 * (160 + 2 * 30)} = 1{,}39\ N/mm^2$$

De maximaal toelaatbare drukspanning loodrecht op de vezel bedraagt:

$$\sigma_{max} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m}$$

$$\sigma_{max} = 0{,}9 * \frac{2{,}5}{1{,}25} = 1{,}8\ N/mm^2$$

$$U.C. = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} = \frac{1{,}29}{1{,}8} = 0{,}77 < 1$$

Belasting op begane grond vloer

De wanden die op de begane grondvloer zijn geplaatst worden in het vlak belast. Doordat de lamellen kruislings zijn verlijmd zijn er echter maar een aantal lamellen die de belasting dragen, namelijk de lamellen die evenwijdig zijn georiënteerd aan de belasting. De netto oppervlakte van de wand is dan: $A_{net} = b * \sum(h_{i,0})$

Waarbij $h_{i,0}$ = dikte van lamel met evenwijdige oriëntatie

De optredende spanning in de lamellen die de belasting dragen kan als volgt worden bepaald:

$$\sigma_{b,net} = \sigma * \frac{A}{A_{net}}$$

Voor deze toetsing wordt de maximale drukspanning op de begane grondvloer genomen. Op dit stramien is dat belastingcombinatie 6.10b met wind extreem. De optredende drukspanning is in dat geval 2,14 N/mm². Deze spanning is echter berekend op de 'normale' oppervlakte (de oppervlakte van de wandstrook).

De werkelijke spanning bedraagt:

$$\sigma_{b,net} = 2{,}12 * \frac{1000 * 160}{1000 * (3 * 40)} = 2{,}82\ N/mm^2$$

De maximaal toelaatbare drukspanning evenwijdig aan de vezel bedraagt:

$$\sigma_{max} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$$

$$\sigma_{max} = 0{,}9 * \frac{21}{1{,}25} = 15{,}12\ N/mm^2$$

$$U.C. = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} = \frac{2{,}82}{15{,}12} = 0{,}19 < 1$$

B.6.3 Tweede orde

Om te controleren of het tweede orde effect meegenomen dient te worden, wordt er per windrichting bepaald, aan de hand van de zwaarst belaste wand, wat de vergrotingsfactor dient te zijn. Het moment vanuit de wind en de horizontale doorbuiging dient met deze factor te worden vermenigvuldigd.

De vergrotingsfactor wordt als volgt bepaald:

$$v.g.f. = \frac{n}{n-1}$$

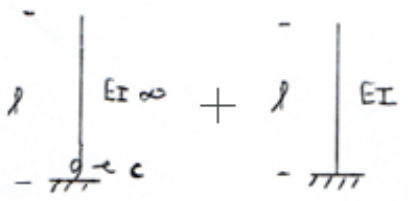
Waarbij:

$$n = \frac{F_{kr}}{F}$$

$$F_{kr} = \frac{1}{\frac{1}{F_{kr,1}} + \frac{1}{F_{kr,2}}}$$

$$F_{kr,1} = \frac{C}{l}$$

$$F_{kr,2} = \frac{\pi^2 * EI}{(2l)^2}$$



Figuur 3 - Schema kritieke last

Waarbij:

$$I = \frac{1}{12} * d_{0,net} * b^3$$

d_0= Dikte van de lamellen die evenwijdig aan de overspanningsrichting zijn geplaatst.
E_0= Elasticiteitsmodulus van de lamellen die evenwijdig aan de overspanningsrichting zijn geplaatst $= 11.000\ N/mm^2$
n_{90}= Aantal lamellen loodrecht geplaatst op de overspanningsrichting.
d_{90}= Dikte van de lamellen die loodrecht op de overspanningsrichting zijn geplaatst.
$d_{0,net}$ = Totale dikte van de lamellen die evenwijdig aan de overspanningsrichting zijn geplaatst.

Windrichting 1

Wand 1.9 van de gewichtsberekening wordt aanschouwd omdat deze de grootste drukbelasting krijgt. De verticale belasting die op deze wand rust bedraagt:

Wand	1.9						
	q (kN/m)	σ (N/mm²)	σ min (N/mm²)	σ max (N/mm²)	σ bnet max (N/mm²)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	222,29	1,39	1,39	1,39	1,85	222,29	222,29
6.10b	232,29	1,45	1,45	1,45	1,94	232,29	232,29
6.10b wind	218,51	1,37	0,62	2,12	2,82	98,47	338,55
6.10a perm. Gunstig	105,32	0,66	-0,09	1,41	1,88	-14,72	225,37
6.11b wind	149,18	0,93	0,78	1,08	1,44	125,17	173,19

Figuur 4 - Belastingen wand 1.9

$$F_{ed} = 218{,}5\ kN/m * 9{,}84m = 2150{,}2\ kN$$

De rotatieveerconstante van de fundering (zoals in bijlage B.4.2 bepaald) bedraagt:

$$C = 5{,}72 * 10^{12}\ Nmm/rad$$

$$EI = 11.000 * \left(\frac{1}{12} * 120 * 9840^3\right) = 1{,}048 * 10^{17} Nmm^2$$

$$F_{kr,1} = \frac{5{,}72 * 10^{12}}{2950} * 10^{-3} = 1.938.983\ kN$$

$$F_{kr,2} = \frac{\pi^2 * 1{,}048 * 10^{17}}{(2 * 2950)^2} * 10^{-3} = 29.714.861\ kN$$

$$F_{kr} = \frac{1}{\frac{1}{1.938.983} + \frac{1}{29.714.861}} = 1.820.209\ kN$$

$$n = \frac{1.820.209}{2.150} = 846$$

$$v.g.f. = \frac{846}{846 - 1} = 1{,}001 < 1{,}1$$

Het tweede orde effect hoeft niet meegenomen te worden.

Windrichting 2

Wand 2.1 van de gewichtsberekening wordt aanschouwd omdat deze de grootste drukbelasting krijgt. De verticale belasting die op deze wand rust bedraagt:

Wand	2.1						
	q (kN/m)	σ (N/mm²)	σ min (N/mm²)	σ max (N/mm²)	σ bnet max (N/mm²)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	69,23	0,43	0,43	0,43	0,58	69,23	69,23
6.10b	66,64	0,42	0,42	0,42	0,56	66,64	66,64
6.10b wind	64,61	0,40	-0,78	1,58	2,11	-124,09	253,32
6.10a perm. Gunstig	35,0	0,22	-0,96	1,40	1,86	-153,67	223,74
6.11b wind	49,0	0,31	0,07	0,54	0,72	11,27	49,01

Figuur 5 - Belastingen wand 2.1

$$F_{ed} = 64{,}61\ kN/m * 8{,}02m = 518{,}2\ kN$$

De rotatieveerconstante van de fundering (zoals in bijlage B.4 bepaald) bedraagt:

$$C = 8{,}064 * 10^{12}\ Nmm/rad$$

$$EI = 11.000 * \left(\frac{1}{12} * 120 * 8020^3\right) = 5{,}67 * 10^{16} Nmm^2$$

$$F_{kr,1} = \frac{8{,}064 * 10^{12}}{2950} * 10^{-3} = 2.733.559\ kN$$

$$F_{kr,2} = \frac{\pi^2 * 5{,}67 * 10^{16}}{(2 * 2950)^2} * 10^{-3} = 16.088.350\ kN$$

$$F_{kr} = \frac{1}{\frac{1}{2.733.559} + \frac{1}{16.088.350}} = 2.336.556\ kN$$

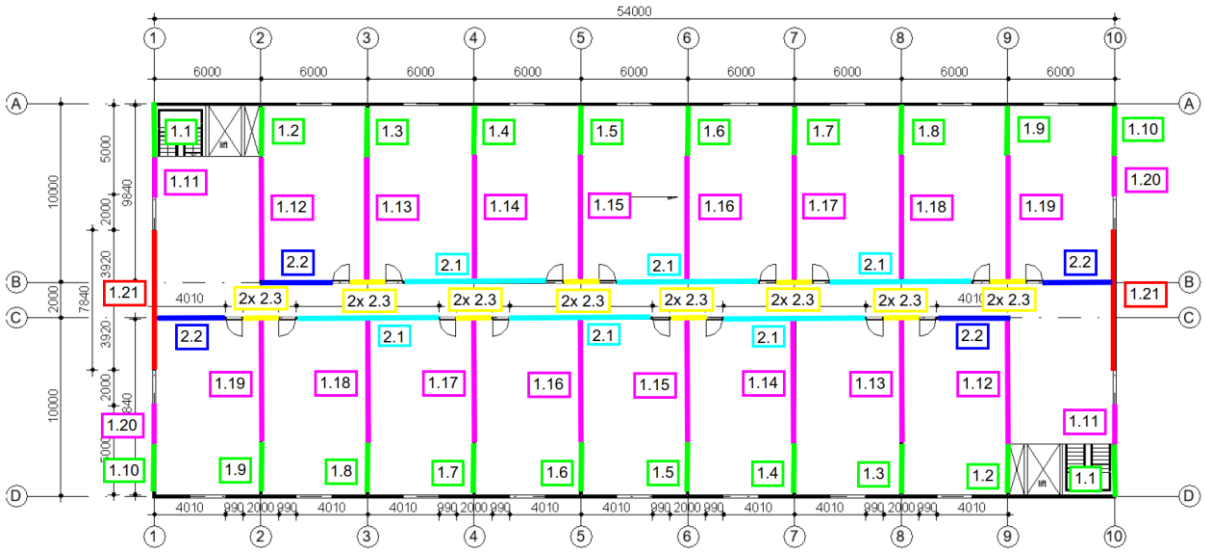
$$n = \frac{2.336.556}{518{,}2} = 4508$$

$$v.g.f. = \frac{4508}{4508 - 1} = 1{,}00 < 1{,}1$$

Het tweede orde effect hoeft niet meegenomen te worden.

B.6.4 Totale overzicht

In deze paragraaf is het totale overzicht te vinden van de gewichtsberekening per wand.



Figuur 6 - Locatie wand gewichtsberekening

In de volgende tabel is de gewichtsberekening te zien per wand bij 8 bouwlagen.

Windrichting 1

Belasting op onderste wand

Wand	1.1							1.2							1.3							1.4							1.5						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	47,30	0,30	0,30	0,30	0,39	47,30	47,30	113,53	0,71	0,71	0,71	0,95	113,53	113,53	220,55	1,38	1,38	1,38	1,84	220,55	220,55	195,91	1,22	1,22	1,22	1,63	195,91	195,91	202,56	1,27	1,27	1,27	1,69	202,56	202,56
6.10b	42,04	0,26	0,26	0,26	0,35	42,04	42,04	112,98	0,71	0,71	0,71	0,94	112,98	112,98	230,74	1,44	1,44	1,44	1,92	230,74	230,74	203,64	1,27	1,27	1,27	1,70	203,64	203,64	210,97	1,32	1,32	1,32	1,76	210,97	210,97
6.10b wind	42,04	0,26	-0,12	0,64	0,86	-18,95	103,04	108,19	0,68	-0,07	1,43	1,90	-11,85	228,24	216,96	1,36	0,61	2,11	2,81	96,92	337,01	191,93	1,20	0,45	1,95	2,60	71,88	311,97	198,69	1,24	0,49	1,99	2,66	78,65	318,74
6.10a perm. Gunstig	31,53	0,20	-0,18	0,58	0,77	-29,47	92,53	60,78	0,38	-0,37	1,13	1,51	-59,26	180,83	104,17	0,65	-0,10	1,40	1,87	-15,88	224,21	94,17	0,59	-0,16	1,34	1,79	-25,87	214,21	96,85	0,61	-0,14	1,36	1,81	-23,19	216,89
6.11b wind	35,04	0,22	0,14	0,30	0,39	22,84	47,24	78,71	0,49	0,34	0,64	0,86	54,71	102,72	147,89	0,92	0,77	1,07	1,43	123,88	171,90	131,96	0,82	0,67	0,97	1,30	107,95	155,97	136,25	0,85	0,70	1,00	1,34	112,25	160,26

Wand	1.6							1.7							1.8							1.9							1.10						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	200,28	1,25	1,25	1,25	1,67	200,28	200,28	202,73	1,27	1,27	1,27	1,69	202,73	202,73	195,54	1,22	1,22	1,22	1,63	195,54	195,54	222,29	1,39	1,39	1,39	1,85	222,29	222,29	105,27	0,66	0,66	0,66	0,88	105,27	105,27
6.10b	208,47	1,30	1,30	1,30	1,74	208,47	208,47	211,12	1,32	1,32	1,32	1,76	211,12	211,12	203,31	1,27	1,27	1,27	1,69	203,31	203,31	232,29	1,45	1,45	1,45	1,94	232,29	232,29	105,64	0,66	0,66	0,66	0,88	105,64	105,64
6.10b wind	196,39	1,23	0,48	1,98	2,64	76,34	316,43	198,84	1,24	0,49	1,99	2,66	78,80	318,89	191,60	1,20	0,45	1,95	2,60	71,56	311,64	218,51	1,37	0,62	2,12	2,82	98,47	338,55	100,85	0,63	0,25	1,01	1,35	39,85	161,85
6.10a perm. Gunstig	95,92	0,60	-0,15	1,35	1,80	-24,13	215,96	96,96	0,61	-0,14	1,36	1,81	-23,08	217,01	93,92	0,59	-0,16	1,34	1,78	-26,12	213,97	105,32	0,66	-0,09	1,41	1,88	-14,72	225,37	55,28	0,35	-0,04	0,73	0,97	-5,72	116,27
6.11b wind	134,78	0,84	0,69	0,99	1,32	110,77	158,79	136,38	0,85	0,70	1,00	1,34	112,37	160,39	131,69	0,82	0,67	0,97	1,30	107,68	155,70	149,18	0,93	0,78	1,08	1,44	125,17	173,19	72,60	0,45	0,38	0,53	0,71	60,40	84,80

Belasting op 1e verd. Vloer

Wand	1.1							1.2							1.3							1.4							1.5						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	41,94	0,26	0,26	0,26	0,22	41,94	41,94	108,17	0,68	0,68	0,68	0,49	108,17	108,17	215,19	1,34	1,34	1,34	0,98	215,19	215,19	190,55	1,19	1,19	1,19	0,87	190,55	190,55	197,20	1,23	1,23	1,23	0,90	197,20	197,20
6.10b	37,28	0,23	0,23	0,23	0,20	37,28	37,28	108,22	0,68	0,68	0,68	0,49	108,22	108,22	225,98	1,41	1,41	1,41	1,03	225,98	225,98	198,88	1,24	1,24	1,24	0,90	198,88	198,88	206,21	1,29	1,29	1,29	0,94	206,21	206,21
6.10b wind	37,28	0,23	-0,06	0,52	0,52	-9,42	83,98	103,43	0,65	0,07	1,22	0,89	11,52	195,34	212,20	1,33	0,75	1,90	1,38	120,29	304,11	187,17	1,17	0,60	1,74	1,27	95,26	279,07	193,93	1,21	0,64	1,79	1,30	102,02	285,84
6.10a perm. Gunstig	27,96	0,17	-0,12	0,47	0,39	-18,74	74,66	57,21	0,36	-0,22	0,93	0,68	-34,70	149,12	100,59	0,63	0,05	1,20	0,88	8,69	192,50	90,60	0,57	-0,01	1,14	0,83	-1,31	182,51	93,28	0,58	0,01	1,16	0,84	1,37	185,19

Wand	1.6							1.7							1.8							1.9							1.10						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	194,93	1,22	1,22	1,22	0,89	194,93	194,93	197,37	1,23	1,23	1,23	0,90	197,37	197,37	190,19	1,19	1,19	1,19	0,86	190,19	190,19	216,93	1,36	1,36	1,36	0,99	216,93	216,93	99,91	0,62	0,62	0,62	0,53	99,91	99,91
6.10b	203,71	1,27	1,27	1,27	0,93	203,71	203,71	206,36	1,29	1,29	1,29	0,94	206,36	206,36	198,55	1,24	1,24	1,24	0,90	198,55	198,55	227,53	1,42	1,42	1,42	1,03	227,53	227,53	100,88	0,63	0,63	0,63	0,53	100,88	100,88
6.10b wind	191,62	1,20	0,62	1,77	1,29	99,72	283,53	194,08	1,21	0,64	1,79	1,30	102,17	285,99	186,84	1,17	0,59	1,74	1,27	94,93	278,75	213,75	1,34	0,76	1,91	1,39	121,84	305,66	96,09	0,60	0,31	0,89	0,75	49,39	142,79
6.10a perm. Gunstig	92,35	0,58	0,00	1,15	0,84	0,44	184,26	93,39	0,58	0,01	1,16	0,84	1,48	185,30	90,35	0,56	-0,01	1,14	0,83	-1,56	182,26	101,75	0,64	0,06	1,21	0,88	9,85	193,66	51,71	0,32	0,03	0,62	0,52	5,00	98,41

Belasting op onderste wand

wand	1.11							1.12							1.13							1.14							1.15						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	105,44	0,66	0,66	0,66	0,88	105,44	105,44	221,27	1,38	1,38	1,38	1,84	221,27	221,27	197,12	1,23	1,23	1,23	1,64	197,12	197,12	202,45	1,27	1,27	1,27	1,69	202,45	202,45	200,21	1,25	1,25	1,25	1,67	200,21	200,21
6.10b	105,83	0,66	0,66	0,66	0,88	105,83	105,83	231,17	1,44	1,44	1,44	1,93	231,17	231,17	205,04	1,28	1,28	1,28	1,71	205,04	205,04	210,82	1,32	1,32	1,32	1,76	210,82	210,82	208,39	1,30	1,30	1,30	1,74	208,39	208,39
6.10b wind	101,02	0,63	0,25	1,01	1,35	40,03	162,02	217,48	1,36	0,61	2,11	2,81	97,44	337,52	193,20	1,21	0,46	1,96	2,61	73,16	313,24	198,56	1,24	0,49	1,99	2,66	78,52	318,61	196,31	1,23	0,48	1,98	2,64	76,26	316,35
6.10a perm. Gunstig	55,35	0,35	-0,04	0,73	0,97	-5,65	116,34	104,91	0,66	-0,09	1,41	1,87	-15,14	224,95	94,57	0,59	-0,16	1,34	1,79	-25,47	214,61	96,85	0,61	-0,14	1,36	1,81	-23,19	216,89	95,89	0,60	-0,15	1,35	1,80	-24,16	215,93
6.11b wind	72,7	0,45	0,38	0,53	0,71	60,51	84,91	148,5	0,93	0,78	1,08	1,44	124,51	172,53	132,7	0,83	0,68	0,98	1,31	108,70	156,72	136,2	0,85	0,70	1,00	1,34	112,19	160,21	134,7	0,84	0,69	0,99	1,32	110,72	158,74

Wand	1.16							1.17							1.18							1.19							1.20							1.21						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	200,21	1,25	1,25	1,25	1,67	200,21	200,21	202,45	1,27	1,27	1,27	1,69	202,45	202,45	197,12	1,23	1,23	1,23	1,64	197,12	197,12	221,27	1,38	1,38	1,38	1,84	221,27	221,27	105,44	0,66	0,66	0,66	0,88	105,44	105,44	105,44	0,66	0,66	0,66	0,88	105,44	105,44
6.10b	208,39	1,30	1,30	1,30	1,74	208,39	208,39	210,82	1,32	1,32	1,32	1,76	210,82	210,82	205,04	1,28	1,28	1,28	1,71	205,04	205,04	231,17	1,44	1,44	1,44	1,93	231,17	231,17	105,83	0,66	0,66	0,66	0,88	105,83	105,83	105,83	0,66	0,66	0,66	0,88	105,83	105,83
6.10b wind	196,31	1,23	0,48	1,98	2,64	76,26	316,35	198,56	1,24	0,49	1,99	2,66	78,52	318,61	193,20	1,21	0,46	1,96	2,61	73,16	313,24	217,48	1,36	0,61	2,11	2,81	97,44	337,52	101,02	0,63	0,25	1,01	1,35	40,03	162,02	101,02	0,63	0,03	1,23	1,64	5,38	196,67
6.10a perm. Gunstig	95,89	0,60	-0,15	1,35	1,80	-24,16	215,93	96,85	0,61	-0,14	1,36	1,81	-23,19	216,89	94,57	0,59	-0,16	1,34	1,79	-25,47	214,61	104,91	0,66	-0,09	1,41	1,87	-15,14	224,95	55,35	0,35	-0,04	0,73	0,97	-5,65	116,34	55,35	0,35	-0,25	0,94	1,26	-40,30	150,99
6.11b wind	134,7	0,84	0,69	0,99	1,32	110,72	158,74	136,2	0,85	0,70	1,00	1,34	112,19	160,21	132,7	0,83	0,68	0,98	1,31	108,70	156,72	148,5	0,93	0,78	1,08	1,44	124,51	172,53	72,7	0,45	0,38	0,53	0,71	60,51	84,91	72,7	0,45	0,33	0,57	0,77	53,58	91,84

Belasting op 1e verd. Vloer

Stramien	1.11							1.12							1.13							1.14							1.15						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	100,09	0,63	0,63	0,63	0,53	100,09	100,09	215,91	1,35	1,35	1,35	0,98	215,91	215,91	191,76	1,20	1,20	1,20	0,87	191,76	191,76	197,10	1,23	1,23	1,23	0,90	197,10	197,10	194,85	1,22	1,22	1,22	0,89	194,85	194,85
6.10b	101,07	0,63	0,63	0,63	0,53	101,07	101,07	226,41	1,42	1,42	1,42	1,03	226,41	226,41	200,28	1,25	1,25	1,25	0,91	200,28	200,28	206,06	1,29	1,29	1,29	0,94	206,06	206,06	203,62	1,27	1,27	1,27	0,93	203,62	203,62
6.10b wind	96,26	0,60	0,31	0,89	0,89	49,56	142,97	212,72	1,33	0,76	1,90	1,38	120,81	304,63	188,44	1,18	0,60	1,75	1,27	96,53	280,35	193,80	1,21	0,64	1,79	1,30	101,89	285,71	191,54	1,20	0,62	1,77	1,29	99,64	283,45
6.10a perm. Gunstig	51,78	0,32	0,03	0,62	0,52	5,07	98,48	101,34	0,63	0,06	1,21	0,88	9,43	193,25	91,00	0,57	-0,01	1,14	0,83	-0,91	182,91	93,28	0,58	0,01	1,16	0,84	1,37	185,19	92,31	0,58	0,00	1,15	0,84	0,41	184,22

Wand	1.16							1.17							1.18							1.19							1.20							1.21						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	194,85	1,22	1,22	1,22	0,89	194,85	194,85	197,10	1,23	1,23	1,23	0,90	197,10	197,10	191,76	1,20	1,20	1,20	0,87	191,76	191,76	215,91	1,35	1,35	1,35	0,98	215,91	215,91	100,09	0,63	0,63	0,63	0,53	100,09	100,09	100,09	0,63	0,63	0,63	0,53	100,09	100,09
6.10b	203,62	1,27	1,27	1,27	0,93	203,62	203,62	206,06	1,29	1,29	1,29	0,94	206,06	206,06	200,28	1,25	1,25	1,25	0,91	200,28	200,28	226,41	1,42	1,42	1,42	1,03	226,41	226,41	101,07	0,63	0,63	0,63	0,53	101,07	101,07	101,07	0,63	0,63	0,63	0,53	101,07	101,07
6.10b wind	191,54	1,20	0,62	1,77	1,29	99,64	283,45	193,80	1,21	0,64	1,79	1,30	101,89	285,71	188,44	1,18	0,60	1,75	1,27	96,53	280,35	212,72	1,33	0,76	1,90	1,38	120,81	304,63	96,26	0,60	0,31	0,89	0,75	49,56	142,97	96,26	0,60	0,14	1,06	0,89	23,04	169,49
6.10a perm. Gunstig	92,31	0,58	0,00	1,15	0,84	0,41	184,22	93,28	0,58	0,01	1,16	0,84	1,37	185,19	91,00	0,57	-0,01	1,14	0,83	-0,91	182,91	101,34	0,63	0,06	1,21	0,88	9,43	193,25	51,78	0,32	0,03	0,62	0,52	5,07	98,48	51,78	0,32	-0,13	0,78	0,66	-21,45	125,00

Windrichting 2

Belasting op onderste wand

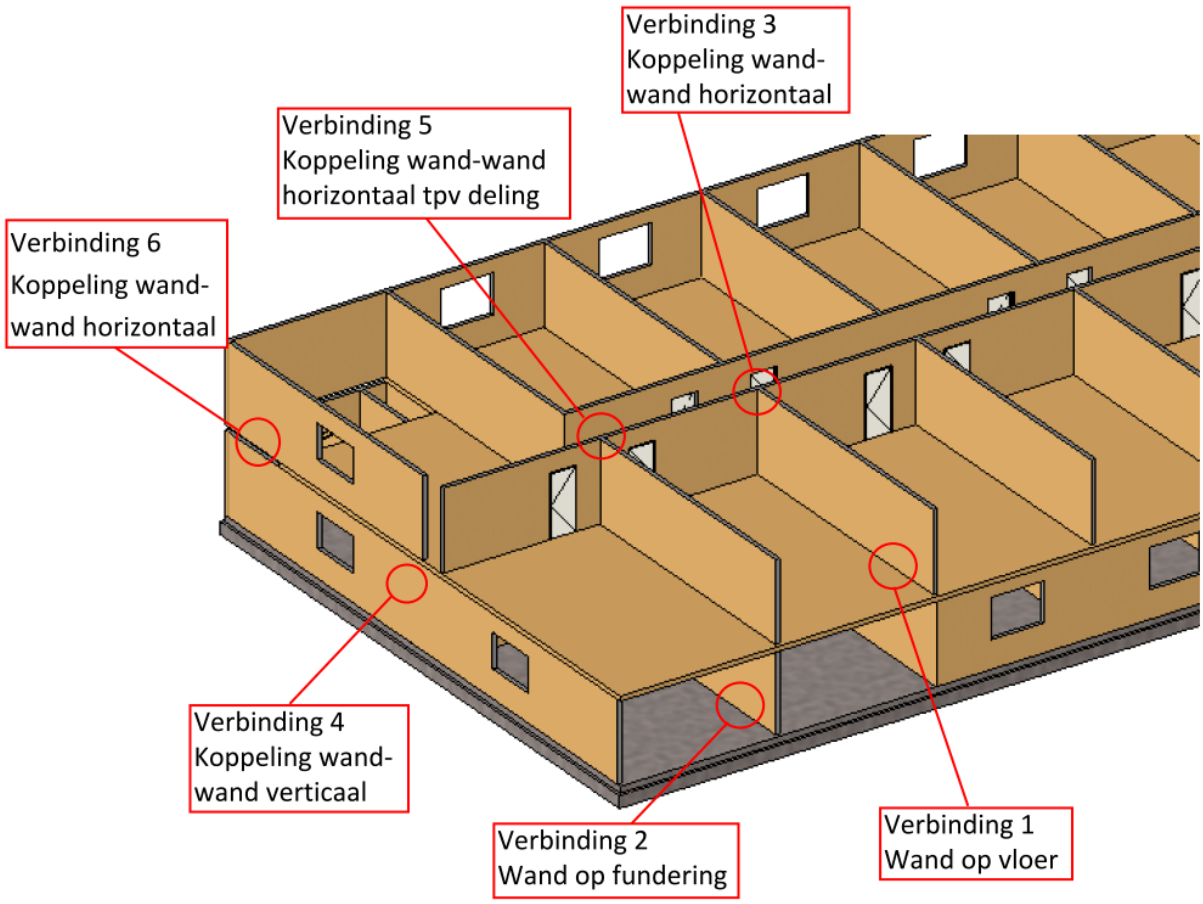
Wand	2.1							2.2							2.3						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ bnet max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	69,23	0,43	0,43	0,43	0,58	69,23	69,23	69,23	0,43	0,43	0,43	0,58	69,23	69,23	69,23	0,43	0,43	0,43	0,58	69,23	69,23
6.10b	66,64	0,42	0,42	0,42	0,56	66,64	66,64	66,64	0,42	0,42	0,42	0,56	66,64	66,64	66,64	0,42	0,42	0,42	0,56	66,64	66,64
6.10b wind	64,61	0,40	-0,78	1,58	2,11	-124,09	253,32	64,61	0,40	-0,19	0,99	1,32	-29,74	158,97	64,61	0,40	0,26	0,55	0,73	41,08	88,14
6.10a perm. Gunstig	35,0	0,22	-0,96	1,40	1,86	-153,67	223,74	39,9	0,25	-0,34	0,84	1,12	-54,50	134,21	39,9	0,25	0,10	0,40	0,53	16,32	63,38
6.11b wind	49,0	0,31	0,07	0,54	0,72	11,27	49,01	49,0	0,31	0,19	0,42	0,57	30,14	49,01	49,0	0,31	0,28	0,34	0,45	44,30	49,01

Belasting op 1e verd. Vloer

Wand	2.1							2.2							2.3						
	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)	q (kN/m)	σ (N/mm^2)	σ min (N/mm^2)	σ max (N/mm^2)	σ beff max (N/mm^2)	qmin (kN/m)	qmax (kN/m)
6.10a	63,87	0,40	0,40	0,40	0,29	63,87	63,87	63,87	0,40	0,40	0,40	0,29	63,87	63,87	63,87	0,40	0,40	0,40	0,29	63,87	63,87
6.10b	61,88	0,39	0,39	0,39	0,28	61,88	61,88	61,88	0,39	0,39	0,39	0,28	61,88	61,88	61,88	0,39	0,39	0,39	0,28	61,88	61,88
6.10b wind	59,85	0,37	-0,53	1,28	0,93	-84,89	204,60	59,85	0,37	-0,08	0,83	0,60	-12,52	132,22	59,85	0,37	0,26	0,49	0,35	41,80	77,90
6.10a perm. Gunstig	36,3	0,23	-0,68	1,13	0,82	-108,46	181,03	36,3	0,23	-0,23	0,68	0,49	-36,09	108,65	36,3	0,23	0,11	0,34	0,25	18,23	54,33

Bijlage B.7 - Sterkteberekening verbindingen[11] [12]

Voor een goed ontwerp zijn er diverse punten in de constructie waarbij de verbindingen nader onderzocht dienen te worden. In deze bijlage worden de maximaal opneembare krachten berekend voor deze cruciale verbindingen. De onderstaande verbindingen zorgen ervoor dat de constructie aan elkaar gekoppeld wordt en deze dienen te voldoen aan de eisen. De volgende verbindingen worden getoetst:



Figuur 1 - Locatie van de kritieke verbindingen

Voor de stalen verbindingsmiddelen worden producten gebruikt van Rothoblaas. Dit bedrijf is gespecialiseerd in het ontwerpen en leveren van verbindingsmiddelen voor CLT-constructies. De rekenwaarde van de sterkte van de schroefverbindingen in het hout zullen handmatig gemaakt worden. De handberekening zijn gebaseerd op het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014) en Blaß en Uibel (2012). De rekenwaarde van de sterkte van de betonbouten zal overgenomen worden van de productspecificaties.

[11] Competentie vakmanschap
[12] Competentie onderzoekend

B.7.1 Schroefafstanden

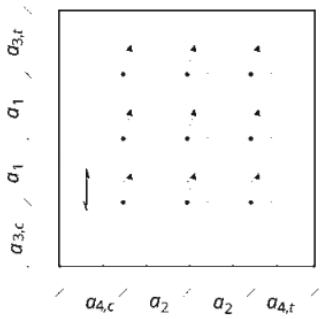
In deze paragraaf zal de minimale schroefafstand bepaald worden van losstaande schroeven. Dit wordt vastgesteld voor schroeven die in- en op het vlak worden aangebracht.

Op het vlak

De volgende minimale afstanden van de schroeven dienen aangehouden te worden volgens het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014) voor schroeven die op het vlak van het paneel worden aangebracht. Deze schroeven worden belast op afschuiving.

		Min. afstand
Tussenafstand van de schroeven evenwijdig aan de vezelrichting van de toplaag.	A1	4*d
Tussenafstand van de schroeven loodrecht op de vezelrichting van de toplaag.	A2	2,5*d
Randafstand aan de boven en onderzijde	A3	6*d
Randafstand aan de rechter en linkerzijde	A4	6*d
Randafstand aan de rechter en linkerzijde onbelast	A4c	2,5d

Tabel 1 – Min. schroefafstanden op het vlak



Figuur 2 - Schroefafstanden op het vlak. Overgenomen van *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

Voor de toegepaste schroeven gelden de volgende afstanden:

	Ø5	Ø6	Ø8	Ø11
A1	20mm	24mm	32mm	44mm
A2	12,5mm	15mm	20mm	27,5mm
A3	30mm	36mm	48mm	66mm
A4	30mm	36mm	48mm	66mm
A4c	12,5mm	15mm	20mm	29mm

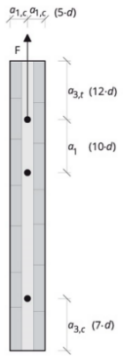
Tabel 2 - Min. schroefafstand per gebruikte diameter

In het vlak

De volgende minimale afstanden van de schroeven dienen aangehouden te worden volgens het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014) voor schroeven die in het vlak van het paneel worden aangebracht. Deze schroeven worden belast op afschuiving en eventueel trekbelasting.

		Min. afstand
Tussenafstand van de schroeven in de lengte van het paneel.	A1	10*d
Tussenafstand van de schroeven in de breedte van het paneel.	A2	3*d
Randafstand aan de boven en onderzijde	A3	12*d
Randafstand aan de rechter en linkerzijde	A4	5*d

Tabel 3 – Min. schroefafstanden op het vlak



Figuur 3 - Schroefafstanden in het vlak. Overgenomen van *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

Voor de toegepaste schroeven gelden de volgende afstanden:

	Ø5	Ø6	Ø8	Ø11
A1	50mm	60mm	80mm	110mm
A2	15mm	18mm	24mm	33mm
A3	60mm	72mm	96mm	132mm
A4	25mm	30mm	40mm	55mm

Tabel 4 - Min. schroefafstand per gebruikte diameter

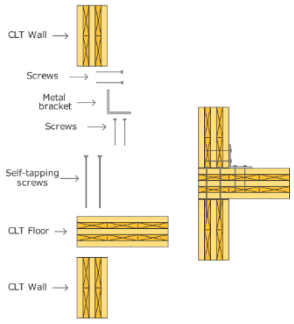
B.7.2 Verbinding 1 – Koppeling wand-verdiepingsvloer

B.7.2.1 Platformmethode

Op te nemen krachten

Bij de wand-vloer verbinding zijn er verschillende punten die getoetst dienen te worden, namelijk:

- Drukbelasting loodrecht op de houtvezel
- Trekbelasting ter plaatse van de wand op de vloer.
- Trekbelasting ter plaatse van de vloer op de wand.
- Afschuiving schroeven.



Figuur 4 - Wand/vloer verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Sterkte verbinding

Druk loodrecht op de houtvezel

Voor CLT wordt houtsterkte C24 gebruikt. De karakteristieke druksterkte loodrecht op de houtvezel bedraagt voor deze houtsterkte:

$$f_{c,90,k} = 2{,}5\ N/mm^2$$

De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een middellange belastingduur (kmod 0,8).

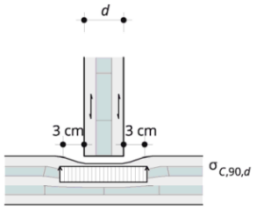
$$f_{c,90,d} = 0{,}8 * \frac{2{,}5}{1{,}25} = 1{,}6\ N/mm^2$$

De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een korte belastingduur van wind (kmod 0,9).

$$f_{c,90,d} = 0{,}9 * \frac{2{,}5}{1{,}25} = 1{,}8\ N/mm^2$$

Bij druk loodrecht op de houtvezel mag er met een effectieve oppervlakte gerekend worden. De effectieve oppervlakte bestaat uit de breedte van de wand maal de diepte van de wand + 30 mm per zijde waar CLT aanwezig is.

Dus $A_{eff} = b * (h + 2 * 30)$



Figuur 5- Effectieve oppervlakte. *Proholz* (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

Om dit om te rekenen naar de optredende spanning op de effectieve oppervlakte wordt de volgende formule gebruikt:

$$\sigma = \sigma * \frac{A}{A_{eff}}$$

In onderstaande tabellen is een overzicht opgenomen wat de maximale belasting is per wanddikte.

Bij Kmod 0,8:

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	mm
Max. Belasting	320	352	384	416	448	480	512	544	576	608	640	kN/m

Tabel 5 - Maximale drukbelasting per meter loodrecht op de vezel bij Kmod 0,8

Bij Kmod 0,9:

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	mm
Max. Belasting	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	kN/m

Tabel 6 - Maximale drukbelasting per meter loodrecht op de vezel bij Kmod 0,9

Sterkte verbinding wand op vloer

Wanneer er trekbelasting optreedt dient dit opgenomen te worden door ankers. In dit geval zal er een staalplaat toegepast worden met schroeven zoals in figuur 6 is weergeven. De schroeven hebben een lengte van 50mm een diameter van Ø5mm. De verbinding zal worden getoetst worden op de volgende punten:



Figuur 6 - Stalenplaat wand-verdiepingsvloer verbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

- Treksterkte van de schroeven in de vloer.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand.
- Stuiksterkte van de schroeven in de vloer.

Er wordt aangenomen dat de staalplaat voldoet op sterkte.

Treksterkte

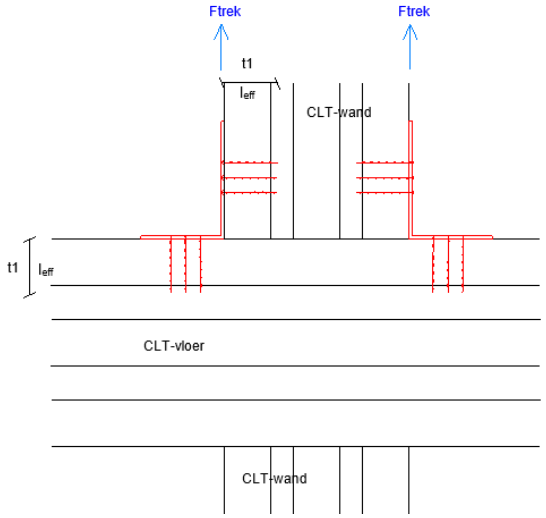
De uittreksterkte van een schroef wordt, volgens het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014), bepaald met de volgende formule.

$$F_{ax,rk} = \frac{31d^{0,8}{l_{ef}}^{0,9}}{1{,}5 * \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2}$$

Waarbij:
α = de hoek van de schroef ten opzichte van de vezelrichting van het hout.
l_{ef} = De lengte van het schroefdraad in houtdeel 2.

De schroeven worden loodrecht op de houtvezel aangebracht.

l_{ef} is in dit geval 50mm.



Figuur 7 - Koppeling wand-verdiepingsvloer

$$F_{ax,rk} = \frac{31 * 5 *^{0,8} 50^{0,9}}{1{,}5 * \cos(90)^2 + \sin(90)^2} = 3.798\ N$$

De rekenwaarde bedraagt:

$$F_{ax,rd} = 0{,}9 * \frac{3.798}{1{,}3} = 2.629\ N$$

In totaal worden er 36 schroeven gebruikt in de verbinding met de vloer.
De totale treksterkte wordt bepaald met de volgende formule:

$$F_{ax,rd,totaal} = F_{ax,rd} * n_{ef}$$

Waarbij:

$$n_{ef} = max(n^{0,9}; 0{,}9 * n)$$

Waarbij n = aantal schroeven

$$n_{ef} = max(36^{0,9}; 0{,}9 * 36) = 32{,}4$$

$$F_{ax,rd,totaal} = 2.629 * 32{,}4 = 85179\ N => 85{,}18\ kN$$

In onderstaande tabel is opgenomen wat de maximaal opneembare trekkracht per meter is bij verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten. Er wordt gerekend vanaf een h.o.h.-afstand van

400mm omdat er anders erg veel staalplaten gebruikt moeten worden. De maximaal opneembare trekbelasting per meter luidt als volgt:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{ax,rd,totaal}$	213	170	142	122	107	95	85	kN/m

Tabel 7 - Rekenwaarde treksterkte verbinding per h.o.h.-afstand

Stuiksterkte

De stuiksterkte van de schroeven in de wand en de vloer worden in deze paragraaf getoetst. De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules van een hout-staalverbinding die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.6). In dit geval worden de formules gebruikt van dunne staalplaat verbinding.

STUIKSTERKTE EVENWIJDIG AAN HOUTVEZELRICHTING

De stuiksterkte van de verbinding in de wand naar aanleiding van de trekkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die evenwijdig loopt aan de vezelrichting.

$$M_{y,rk} = 0{,}45 f_u d^{2,6} => 0{,}45 * 800 * 5^{2,6} = 23.638\ N/mm^2$$

$$f_{h,k} = 0{,}8622 d^{-0{,}46} * {\rho_{k,hout}}^{0{,}56} => 0{,}8622 * 5^{-4{,}6} * 350^{0{,}56} = 10{,}9\ N/mm^2$$

$$F_{ax,rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,rk} d l_{ef} k_d}{1{,}2*\cos(\alpha)^2+\sin(\alpha)^2} => \frac{1*(0{,}52*5^{-0{,}5}*50^{-0{,}1}*350^{0{,}8})*5*50*(\frac{5}{8})}{1{,}2*\cos(90)^2+\sin(90)^2} * 10\text{^} - 3 = 2{,}66\ \text{kN}$$

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	10,9	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,rk}$	2,66	kN

Tabel 8 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{v,rk,a}$	1,09	kN
$F_{v,rk,b}$	2,52	kN

Tabel 9 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{v,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{v,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}09}{1{,}3} = 0{,}756\ kN$$

In totaal worden er 36 schroeven gebruikt in de verbinding met de wand. De totale schuifsterkte wordt dan:

$$f_{v,rd,totaal} = 0{,}756 * 36 = 27{,}25\ kN$$

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{v,rd,totaal}$	68	54	45	39	34	30	27	kN/m

Tabel 10 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

STUIKSTERKTE LOODRECHT OP DE HOUTVEZELRICHTING

De stuiksterkte in de wand en vloer naar aanleiding van de schuifkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die loodrecht loopt op de vezelrichting.

$$f_{h,k} = 0{,}019d^{-0{,}3} * {\rho_{k,hout}}^{1{,}24} => 0{,}019 * 5^{-0{,}3} * 350^{1{,}24} = 16{,}7\ N/mm^2$$

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	16,7	N/mm²
$l_{ef,1}\ (t_1)$	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 11 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{v,rk,a}$	1,67	kN
$F_{v,rk,b}$	2,95	kN

Tabel 12 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{h,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{h,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}67}{1{,}3} = 1{,}158\ kN$$

In totaal worden er 36 schroeven gebruikt in de verbinding met de wand en 36 schroeven in de verbinding met de vloer. De totale schuifsterkte van beide punten wordt dan:

$$f_{h,rd,totaal} = 1{,}158 * 36 = 41{,}7\ kN$$

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{v,rd,totaal}$	104	83	70	60	52	46	42	kN/m

Tabel 13 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

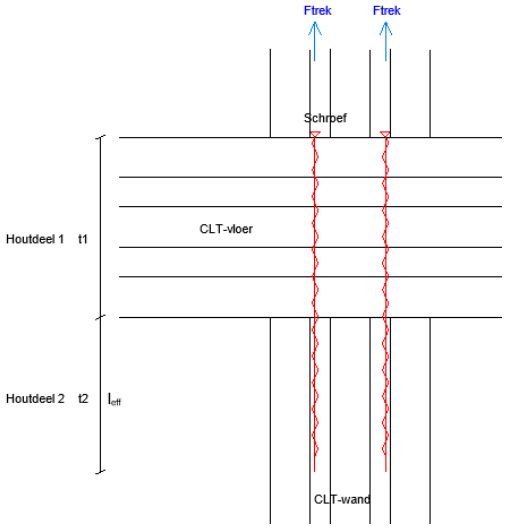
Sterkte verbinding vloer op wand

Alternatief 1: schroeven

De vloer wordt met behulp van schroeven aan de wand gekoppeld. De vloer heeft een dikte van 180mm (vastgesteld in bijlage B.4).

Voor deze verbinding worden schroeven gebruikt met een diameter van Ø11mm en een lengte van 600mm.

Deze verbinding dient te worden getoetst op treksterkte en op stuiksterkte van de schroeven.



Figuur 8 - Koppeling vloer-wand variant 1

TREKSTERKTE

De uittreksterkte van een schroef wordt, volgens het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014), bepaald met de volgende formule.

$$F_{ax,rk} = \frac{31d^{0,8}{l_{ef}}^{0,9}}{1,5 * \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2}$$

Waarbij:
α = de hoek van de schroef ten opzichte van de vezelrichting van het hout.
l_{ef} = De lengte van het schroefdraad in houtdeel 2.

Volgens het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014) kan er in het werk slecht gecontroleerd worden of de schroef loodrecht- of evenwijdig aan de houtvezel wordt geplaatst. Daarom moet ervanuit worden gegaan dat de schroef op de ongunstige manier wordt aangebracht. Verder dient de uittreksterkte met 50% gereduceerd te worden om het lange termijneffect mee te nemen.

l_{ef} is in dit geval: 600mm – 180mm = 420mm.

$$F_{ax,rk} = 0,5 * \frac{31 * 11 *^{0,8} 420^{0,9}}{1,5 * \cos(0)^2 + \sin(0)^2} = 16.153\ N$$

De rekenwaarde bedraagt:

$$F_{ax,rd} = 0,9 * \frac{16.153}{1,3} = 11.183\ N = 11,18kN$$

In onderstaande tabel is opgenomen wat de maximaal opneembare trekkracht per meter is bij verschillende H.O.H.-afstanden van de schroeven. Er wordt gerekend vanaf de minimale h.o.h.-afstand die in paragraaf 7.1 is vastgesteld. Deze is vastgesteld op 110mm. De maximaal opneembare trekbelasting per meter luidt als volgt:

	110	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
1x	101,7	74,6	55,9	44,7	37,3	32,0	28,0	24,9	22,4	kN/m
2x	203,3	149,1	111,8	89,5	74,6	63,9	55,9	49,7	44,7	kN/m

Tabel 14 - Rekenwaarde treksterkte verbinding per h.o.h.-afstand

STUIKSTERKTE

De stuiksterkte voor schroeven die aan de kopzijde van de wand wordt toegepast, wordt bepaald aan de hand van de formule die het artikel van Proholz (Walner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014, p. 113).

$$f_{h,rk} = \frac{20}{\sqrt{d}} = \frac{20}{\sqrt{11}} = 6{,}03\ kN$$

De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{h,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{h,rd} = 0{,}9 * \frac{6{,}03}{1{,}3} = 4{,}17\ kN$$

In onderstaande tabellen is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt in de tabel om duidelijk te krijgen hoeveel schuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. In tabel 15 is er opgenomen hoeveel belasting er opgenomen kan worden bij een enkele en een dubbele rij schroeven per wandpaneel.

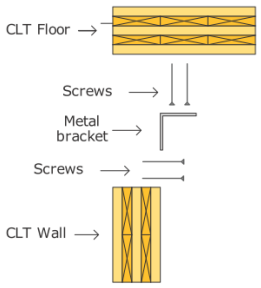
Op te nemen schuifbelasting per meter.

	110	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
1x	38,0	27,8	20,9	16,7	13,9	11,9	10,4	9,3	8,3	kN/m
2x	75,9	55,7	41,7	33,4	27,8	23,9	20,9	18,6	16,7	kN/m

Tabel 15 - Rekenwaarde horizontale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

Alternatief 2: stalen platen

Alternatief 2 wordt op dezelfde manier toegepast als de wand-vloer verbinding.



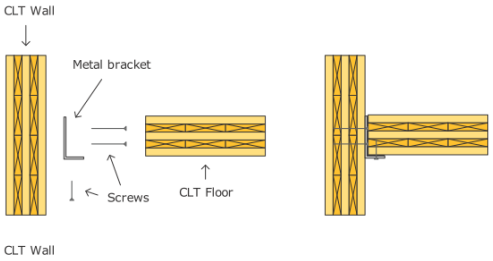
Figuur 9 - Wand/vloer verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

B.7.2.2 Balloonmethode

De vloer zal met behulp van een hoekstaal aan de wand gekoppeld worden.

De wanden kunnen op verschillende manier met elkaar gekoppeld worden. Dezelfde verbindingen als verbinding 2 kunnen hiervoor gebruikt worden.

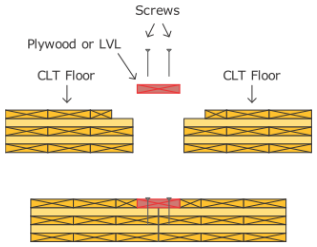
Het enige verschil is dat er in plaats van dat er aan twee zijde multiplex wordt toegepast zal er in dit geval aan één zijde een multiplexplaat toegepast worden.



Figuur 10 - Wand - vloer verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Eénzijdig multiplex

Voor de wand – wand verbinding wordt aan één zijde van de wand een multiplex plaat met een dikte van 22mm gebruikt met schroeven om de wanden aan elkaar te koppelen. Er wordt aangenomen dat er per plaat 2 rijen schroeven worden gebruikt met een diameter van Ø6mm een lengte van 70mm met een schroefdraad van 60mm. De schroeven hebben een treksterkte van 800 N/mm².



Figuur 11 - Eenzijdig multiplexplaat. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

De effectieve diameter van de schroef (de diameter van het schroefdraad) bedraagt 5 mm.

De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.5). In dit geval worden de formules gebruikt van enkelsnedige verbinding.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
Multiplex 22 $f_{h,1,k}$	40,72	N/mm²
CLT $f_{h,2,k}$	16,74	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	0,41	
$l_{ef,1}$ (t_1)	22	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	48	mm
$f_{ax,1,rk}$	28,5	N/mm²
$f_{ax,2,rk}$	17,1	N/mm²
$F_{ax,1,k,rk}$	1,96	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	2,57	kN

Tabel 16 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking	Waarde	Eenheid
$F_{v,rk,a}$	4,48	kN
$F_{v,rk,b}$	4,02	kN
$F_{v,rk,c}$	2,12	kN
$F_{v,rk,d}$	1,96	kN
$F_{v,rk,e}$	2,64	kN
$F_{v,rk,f}$	3,21	kN

Tabel 17 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

De maatgevende waarde volgt uit bezwijkmechanisme d met een waarde van 1,96 kN. De kmod bedraagt 0,9 omdat de sterkte wordt bepaald aan de hand van de windbelasting.

De rekenwaarde van de stuiksterkte wordt:

$$F_{v,rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,rk}}{1{,}3} = 0{,}9 * \frac{1{,}96}{1{,}3} = 1{,}36\ kN\ per\ schroef$$

De maximale schuifkracht die opgenomen kan worden door de verbinding is afhankelijk van het aantal schroeven dat gebruikt wordt. Er wordt vanuit gegaan dat de verbinding aan beide zijde van de wand wordt toegepast, dus de schuifkracht wordt over beide panelen verdeeld. Er wordt berekend wat de maximaal opneembare schuifkracht zal zijn als er 1 of 2 rijen schroeven worden gebruikt per wandpaneel.

De maximaal opneembare schuifkrachten per meter (in de UGT) zijn als volgt:

H.O.H.	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	Eenheid
1x	27,18	13,59	9,06	6,79	5,44	4,53	3,88	3,40	3,02	2,72	kN/m
2x	54,35	27,18	18,12	13,59	10,87	9,06	7,76	6,79	6,04	5,44	kN/m

Tabel 18 - Rekenwaarde schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

B.7.3 Verbinding 2 – Koppeling wand-fundering

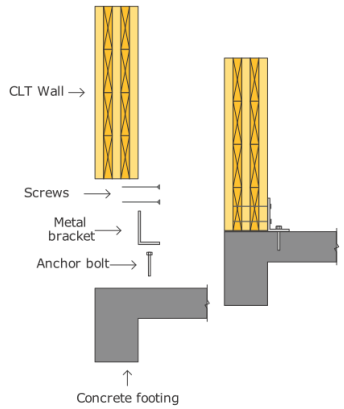
Op te nemen krachten

Deze verbinding zal getoetst worden op de maximaal toelaatbare drukspanning en de maximaal toelaatbare trekspanning ter plaatse van de fundering.

De schroeven die in het hout worden geplaatst hebben een lengte van 50mm en een diameter van Ø5mm.

Bij de verbinding zijn er verschillende punten die getoetst dienen te worden, namelijk:

- Drukbelasting evenwijdig aan de houtvezel.
- Treksterkte betonbouten.
- Stuik ter plaatse van CLT-wand.
- Horizontale afschuiving.



Figuur 12 - Wand/fundering verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Sterkte verbinding

Druk evenwijdig aan de vezel

De maximaal toelaatbare druk is afhankelijk van de toegepast wand. De netto breedte bestaat uit de lamellen die evenwijdig lopen aan de verticale belasting.

De karakteristieke druksterkte evenwijdig aan de vezelrichting van houtsterkte C24 bedraagt:

$$f_{c,0,k} = 21\ N/mm^2$$

De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een middellange belastingduur (kmod 0,8).

$$f_{c,90,d} = 0{,}8 * \frac{21}{1{,}25} = 13{,}44\ N/mm^2$$

De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een korte belastingduur (kmod 0,9).

$$f_{c,0,d} = 0{,}9 * \frac{21}{1{,}25} = 15{,}12\ N/mm^2$$

Verder dient er met een knikfactor gerekend te worden zodat er aan de knikeisen wordt voldaan. In onderstaande tabel is deze factor opgenomen is de uiteindelijk toelaatbare belasting weergeven.

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	mm
Net. Wanddikte	100	120	120	120	180	200	mm
Factor Kc	0,7	0,78	0,85	0,89	0,91	0,92	
Krit. Last	1058	1415	1542	1615	2477	2782	kN/m

Tabel 19 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting per netto wanddoorsnede

Wanddikte	260	280	300	320	340	mm
Net. Wanddikte	200	200	240	240	280	mm
Factor Kc	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	
Krit. Last	2812	2843	3447	3484	4064	kN/m

Tabel 20 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting per netto wanddoorsnede

Staalplaat



Figuur 13 - Staalplaat wand-fundering verbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

Treksterkte

Volgens de productspecificaties van TCN240 (Rothoblaas, 2015, p. 150) bedraagt de karakteristieke treksterke van de verbinding in gescheurd beton 37,08 kN (met 2x M16 ankers). De rekenwaarde van de treksterkte per verbinding bedraagt:

$$f_{t,rd} = \frac{37{,}08}{1{,}8} = 20{,}6\ kN$$

In onderstaande tabel is de opneembare trekbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{ax,rd,totaal}$	52	41	34	29	26	23	21	kN/m

Tabel 21 - Rekenwaarde treksterkte van de betonbouten per h.o.h.-afstand

Stuiksterkte

De stuiksterkte van de schroeven in de wand en de vloer worden in deze paragraaf getoetst. De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules van een hout-staalverbinding die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.6). In dit geval worden de formules gebruikt van dunne staalplaat verbinding. In de verbinding worden schroeven gebruikt met een diameter van Ø5 en een lengte van 50mm.

Stuiksterkte evenwijdig aan houtvezelrichting

De stuiksterkte in de wand naar aanleiding van de trekkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die evenwijdig loopt aan de vezelrichting.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	10,9	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 22 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{v,rk,a}$	1,09	kN
$F_{v,rk,b}$	2,52	kN

Tabel 23 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{v,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{v,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}09}{1{,}3} = 0{,}756\ kN$$

In totaal worden er 36 schroeven gebruikt in de verbinding met de wand. De totale schuifsterkte van beide punten wordt dan:

$f_{v,rd,totaal} = 0{,}756 * 36 = 27{,}2\ kN$

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{v,rd,totaal}$	68,1	54,5	45,4	38,9	34,1	30,3	27,2	kN/m

Tabel 24 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

Voor de optredende trekbelasting is de treksterkte van de betonbouten maatgevend.

Stuiksterkte loodrecht op de houtvezelrichting

De stuiksterkte in de wand en vloer naar aanleiding van de schuifkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die loodrecht loopt op de vezelrichting.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	16,7	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 25 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{h,rk,a}$	1,67	kN
$F_{h,rk,b}$	2,95	kN

Tabel 26 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{h,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{h,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}67}{1{,}3} = 1{,}158\ kN$$

In totaal worden er 36 schroeven gebruikt in de verbinding met de wand. De totale schuifsterkte van beide punten wordt dan:

$$f_{h,rd,totaal} = 1{,}158 * 36 = 41{,}7\ kN$$

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{h,rd,totaal}$	104	83	70	60	52	46	42	kN/m

Tabel 27 - Rekenwaarde horizontale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

Stalen plaatankers



Figuur 14 - Stalenplaatanker. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

Treksterkte betonbouten

Volgens de productspecificaties van WHT540 (Rothoblaas, 2015, p. 115) bedraagt de karakteristieke treksterke van de verbinding in gescheurd beton 75,39 kN (met 1x M20 betonanker). De rekenwaarde van de treksterkte per verbinding bedraagt:

$$f_{t,rd} = \frac{75{,}39}{2{,}1} = 35{,}9\ kN$$

In onderstaande tabel is de opneembare trekbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de bouten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{ax,rd,totaal}$	90	72	60	51	45	40	36	kN/m

Tabel 28 - Rekenwaarde treksterkte betonbouten per h.o.h.-afstand

Stuiksterkte

De stuiksterkte van de schroeven in de wand en de vloer worden in deze paragraaf getoetst. De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules van een hout-staalverbinding die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.6). In dit geval worden de formules gebruikt van een dunne staalplaat verbinding. In de verbinding worden schroeven gebruikt met een diameter van Ø5 en een lengte van 50mm.

Stuiksterkte evenwijdig aan houtvezelrichting

De stuiksterkte in de wand naar aanleiding van de trekkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die evenwijdig loopt aan de vezelrichting.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.637	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	10,9	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 29 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{v,rk,a}$	1,09	kN
$F_{v,rk,b}$	2,52	kN

Tabel 30 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{v,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{v,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}09}{1{,}3} = 0{,}756\ kN$$

In totaal worden er 45 schroeven gebruikt in de verbinding met de wand. De totale schuifsterkte van beide punten wordt dan:

$f_{v,rd,totaal} = 0{,}756 * 45 = 34{,}06\ kN$

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{v,rd,totaal}$	85,2	68,1	56,8	48,7	42,6	37,8	34,1	kN/m

Tabel 31 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

Voor de optredende trekbelasting is de stuiksterkte van de schroeven in het hout maatgevend.

Stuiksterkte loodrecht op de houtvezelrichting

De stuiksterkte in de wand en vloer naar aanleiding van de schuifkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die loodrecht loopt op de vezelrichting.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	16,7	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 32 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{h,rk,a}$	1,67	kN
$F_{h,rk,b}$	2,95	kN

Tabel 33 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{h,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{h,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}67}{1{,}3} = 1{,}158\ kN$$

In totaal worden er 45 schroeven gebruikt in de verbinding met de wand. De totale schuifsterkte van beide punten wordt dan:

$$f_{h,rd,totaal} = 1{,}158 * 45 = 52{,}15\ kN$$

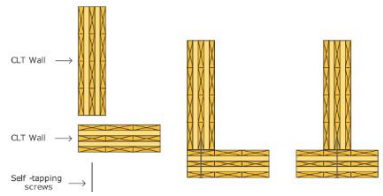
In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{h,rd,totaal}$	130	104	87	74	65	58	52	kN/m

Tabel 34 - Rekenwaarde horizontale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

B.7.4 Verbinding 3 – Koppeling wand – wand horizontaal

Voor deze verbinding worden schroeven gebruikt met een diameter van Ø11mm en een lengte van 450mm met een schroefdraad van 450mm. De schroeven hebben een treksterkte van 800 N/mm².



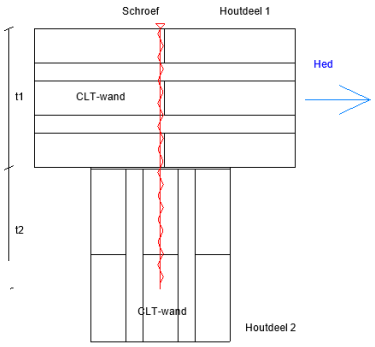
Figuur 15 - wand - wand verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Op te nemen krachten

Ter plaatse van deze verbinding dient de schuifkracht die wordt veroorzaakt door de windbelasting opgenomen te worden door de schroefverbinding. De verbinding zal getoetst moeten worden op stuiksterkte ter plaatse van de schroeven.

Sterkte verbinding

De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.5). In dit geval worden de formules gebruikt van enkelsnedige verbinding.



Figuur 16 - Wand-wand verbinding

	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$M_{y,rk}$	122414	122414	122414	122414	122414	122414	Nmm²
CLT loodrecht $f_{h,1,k}$	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	N/mm²
CLT evenwijdig $f_{h,2,k}$	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	
$l_{ef,1}$ (t_1)	140	160	180	200	220	240	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	310	290	270	250	230	210	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	18,21	20,53	22,83	25,10	27,35	29,57	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	22,46	21,15	19,83	18,50	17,17	15,82	kN

Tabel 35 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

	260	280	300	320	340	Eenheid
$M_{y,rk}$	122414	122414	122414	122414	122414	Nmm²
CLT loodrecht $f_{h,1,k}$	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	N/mm²
CLT evenwijdig $f_{h,2,k}$	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	
$l_{ef,1}$ (t_1)	260	280	300	320	340	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	190	170	150	130	110	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	31,78	33,98	36,15	38,31	40,46	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	14,46	13,08	11,68	10,27	8,84	kN

Tabel 36 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$F_{rk,a}$	20,35	23,25	26,16	29,07	31,97	34,88	kN
$F_{rk,b}$	25,94	24,27	22,59	20,92	19,25	17,57	kN
$F_{rk,c}$	13,76	14,74	15,09	15,40	15,81	16,33	kN
$F_{rk,d}$	11,11	12,65	13,45	14,11	14,80	15,51	kN
$F_{rk,e}$	14,83	14,81	14,04	13,11	12,19	11,28	kN
$F_{rk,f}$	10,42	11,00	10,82	10,49	10,16	9,82	kN

Tabel 37 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Vergelijking	260	280	300	320	340	Eenheid
$F_{rk,a}$	37,79	40,69	43,60	46,51	49,41	kN
$F_{rk,b}$	15,90	14,23	12,55	10,88	9,21	kN
$F_{rk,c}$	16,93	17,61	18,37	19,20	20,10	kN
$F_{rk,d}$	16,27	17,10	18,05	19,19	20,68	kN
$F_{rk,e}$	10,37	9,48	8,60	7,74	6,92	kN
$F_{rk,f}$	9,48	9,13	8,79	8,43	8,07	kN

Tabel 38 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{rd} = k_{mod} * \frac{f_{rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

De uitkomst per wanddikte is opgenomen in onderstaande tabel.

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	Eenheid
F_{rd}	7,2	7,6	7,46	7,26	7,03	6,79	6,56	6,33	5,95	5,35	4,79	kN

Tabel 39 - Rekenwaarde schuifsterkte schroef per wanddikte

In onderstaande tabellen is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt in de tabel om duidelijk te krijgen hoeveel schuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. Per wanddikte is deze tabel gemaakt.

	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
140	144,22	72,11	48,07	36,06	28,84	24,04	20,60	18,03	16,02	14,42	kN/m
160	152,27	76,14	50,76	38,07	30,45	25,38	21,75	19,03	16,92	15,23	kN/m
180	149,85	74,92	49,95	37,46	29,97	24,97	21,41	18,73	16,65	14,98	kN/m
200	145,25	72,63	48,42	36,31	29,05	24,21	20,75	18,16	16,14	14,53	kN/m
220	140,62	70,31	46,87	35,16	28,12	23,44	20,09	17,58	15,62	14,06	kN/m
240	135,95	67,98	45,32	33,99	27,19	22,66	19,42	16,99	15,11	13,60	kN/m
260	131,23	65,62	43,74	32,81	26,25	21,87	18,75	16,40	14,58	13,12	kN/m
280	126,47	63,23	42,16	31,62	25,29	21,08	18,07	15,81	14,05	12,65	kN/m
300	119,03	59,51	39,68	29,76	23,81	19,84	17,00	14,88	13,23	11,90	kN/m
320	107,16	53,58	35,72	26,79	21,43	17,86	15,31	13,39	11,91	10,72	kN/m
340	95,75	47,87	31,92	23,94	19,15	15,96	13,68	11,97	10,64	9,57	kN/m

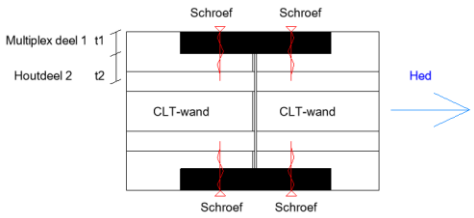
Tabel 40 - Rekenwaarde schuifsterkte per wanddikte per h.o.h.-afstand per meter

B.7.5 Verbinding 4 – Koppeling wand-wand verticaal

Deze verbinding wordt gebruikt om de wanden aan elkaar te koppelen. Door de wanden aan elkaar te koppelen zullen de gekoppelde wanden als één geheel werken en kan de windbelasting beter verdeeld worden over de wand. Om dat voor elkaar te krijgen dienen de wanden als één geheel te werken.

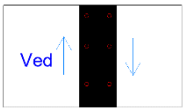
Op te nemen krachten

Ter plaatse van deze verbinding dient de horizontale schuifkracht die wordt veroorzaakt door de windbelasting opgenomen te worden door de schroefverbinding. Verder zal de dwarskracht overgedragen moeten worden tussen de wanden om als één schijf te functioneren.



Figuur 17 - koppeling wanden verticaal.

De verbinding zal getoetst moeten worden op stuiksterkte ter plaatse van de schroeven in verticale en horizontale richting.



Figuur 18 - Dwarskracht in koppeling

Sterkte verbinding

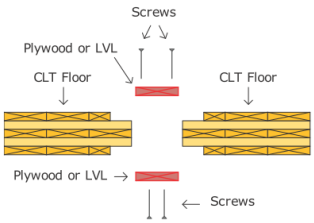
Er zullen een drietal verbindingen nader onderzocht worden. Deze verbindingen worden veel toegepast in deze situatie.

De volgende verbindingen worden nader bekeken:

- Toepassen van multiplex platen aan twee zijden
- Toepassen van multiplex plaat aan de binnenzijde
- Tandverbinding

Tweezijdig multiplex

Voor de wand – wand verbinding wordt aan beide zijde van de wand een multiplex plaat met een dikte van 22mm gebruikt met schroeven om de wanden aan elkaar te koppelen. Er wordt aangenomen dat er per plaat 2 rijen schroeven worden gebruikt met een diameter van Ø6mm een lengte van 70mm met een schroefdraad van 60mm. De schroeven hebben een treksterkte van 800 N/mm².



Figuur 19 - tweezijdig multiplex. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.5). In dit geval worden de formules gebruikt van enkelsnedige verbinding.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	37975	Nmm²
Multiplex 22 $f_{h,1,k}$	38,6	N/mm²
CLT $f_{h,2,k}$	15,8	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	0,41	
$l_{ef,1}$ (t_1)	22	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	48	mm
$f_{ax,1,rk}$	26,01	N/mm²
$f_{ax,2,rk}$	16,00	N/mm²
$F_{ax,1,k,rk}$	2,58	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	2,74	kN

Tabel 41 – Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking	Waarde	Eenheid
$F_{rk,a}$	5,09	kN
$F_{rk,b}$	4,56	kN
$F_{rk,c}$	2,49	kN
$F_{rk,d}$	2,39	kN
$F_{rk,e}$	3,33	kN
$F_{rk,f}$	4,32	kN

Tabel 42 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

De maatgevende waarde volgt uit bezwijkmechanisme d met een waarde van 2,39 kN. De kmod bedraagt 0,9 omdat de sterkte wordt bepaald aan de hand van de windbelasting.

De rekenwaarde van de stuiksterkte wordt:

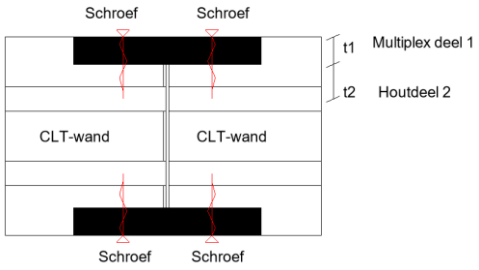
$$F_{rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,rk}}{1{,}3} = 0{,}9 * \frac{2{,}39}{1{,}3} = 1{,}65\ kN\ per\ schroef$$

De maximale schuifkracht die opgenomen kan worden door de verbinding is afhankelijk van het aantal schroeven dat gebruikt wordt. Er wordt vanuit gegaan dat de verbinding aan beide zijde van de wand wordt toegepast, dus de schuifkracht wordt over beide panelen verdeeld. Er wordt berekend wat de maximaal opneembare schuifkracht zal zijn als er 1 of 2 rijen schroeven worden gebruikt per wandzijde per wand.

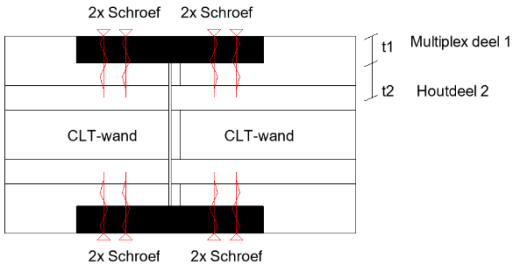
De maximaal opneembare schuifkrachten per meter (in de UGT) zijn als volgt:

H.O.H.	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	Eenheid
1x2	66,32	33,16	22,11	16,58	13,26	11,05	9,47	8,29	7,37	6,63	kN/m
2x2	132,63	66,32	44,21	33,16	26,53	22,11	18,95	16,58	14,74	13,26	kN/m

Tabel 43 - Rekenwaarde schuifsterkte per h.o.h.-afstand per meter.



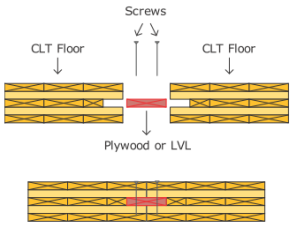
Figuur 21 - 1 rij schroeven per wandzijde per wand



Figuur 20 - 2 rijen schroeven per wandzijde per wand

Interne multiplex plaat

Bij deze variant van de wand-wand verbinding wordt er aan de binnenzijde een multiplexplaat geplaatst waar de CLT-wanden aan gekoppeld worden. De multiplexplaat heeft een dikte van 22mm en er wordt gebruik gemaakt van schroeven om de wanden aan elkaar te koppelen.

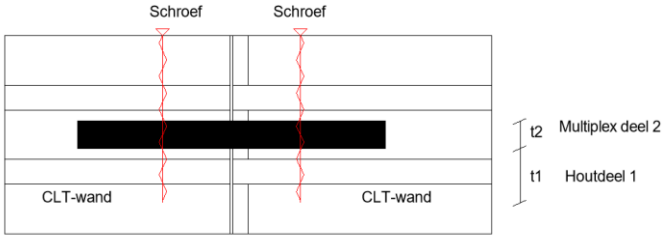


Figuur 22 - Interne multiplexplaat. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Er wordt aangenomen dat er schroeven worden gebruikt met een diameter van Ø11mm. Bij een wanddikte van 140mm wordt er een schroeflengte van 100mm gebruikt. Bij de wanddiktes 160mm t/m 240mm wordt er een schroeflengte van 150mm gebruikt. Bij de wanddiktes 260mm t/m 340mm wordt er een schroeflengte van 200mm gebruikt.

De schroeven hebben een treksterkte van 800 N/mm².

De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.5). In dit geval worden de formules gebruikt van dubbelsnedige verbinding.



Figuur 23 - Interne multiplexplaat.

	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$M_{y,rk}$	122.414	122.414	122.414	122.414	122.414	122.414	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	N/mm²
Multiplex $f_{h,2,k}$	32,15	32,15	32,15	32,15	32,15	32,15	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	
$l_{ef,1}$ (t_1)	19	59	49	39	29	19	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	22	22	22	22	22	22	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,65	7,34	6,21	5,06	3,87	2,65	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	kN

Tabel 44 Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

	260	280	300	320	340	Eenheid
$M_{y,rk}$	122.414	122.414	122.414	122.414	122.414	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	N/mm²
Multiplex $f_{h,2,k}$	32,15	32,15	32,15	32,15	32,15	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	
$l_{ef,1}$ (t_1)	59	49	39	29	19	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	22	22	22	22	22	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	7,34	6,21	5,06	3,87	2,65	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	kN

Tabel 45 Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$F_{rk,g}$	2,76	8,57	7,12	5,67	4,21	2,76	kN
$F_{rk,h}$	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	kN

$F_{rk,i}$	21,00	19,51	19,89	20,34	20,68	21,00	kN
$F_{rk,j}$	8,83	9,33	9,33	9,33	9,14	8,83	kN

Tabel 46 - Uitkomsten Johansen vergelijking dubbelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Vergelijking	260	280	300	320	340	Eenheid
$F_{rk,g}$	8,57	7,12	5,67	4,21	2,76	kN
$F_{rk,h}$	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	kN
$F_{rk,i}$	19,51	19,89	20,34	20,68	21,00	kN
$F_{rk,j}$	9,33	9,33	9,33	9,14	8,83	kN

Tabel 47 - Uitkomsten Johansen vergelijking dubbelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{v,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

De uitkomst per wanddikte is opgenomen in onderstaande tabel.

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	Eenheid
F_{rd}	1,91	2,69	2,69	2,69	2,69	1,91	kN

Tabel 48 - Rekenwaarde schuifsterkte schroef per wanddikte

Vergelijking	260	280	300	320	340	Eenheid
F_{rd}	2,69	2,69	2,69	2,69	1,91	kN

Tabel 49 - Rekenwaarde schuifsterkte schroef per wanddikte

In onderstaande tabellen is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt in de tabel om duidelijk te krijgen hoeveel schuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. In bovenstaande tabel zijn er twee rekenwaarde uitgekomen. Per rekenwaarde zal er een tabel gemaakt worden. Per tabel is er opgenomen hoeveel belasting er opgenomen kan worden bij een enkele en een dubbele rij schroeven per wandpaneel.

Op te nemen schuifbelasting per meter bij $F_{v,rd} = 1{,}91$ kN. Wanddikte 140/240/340.

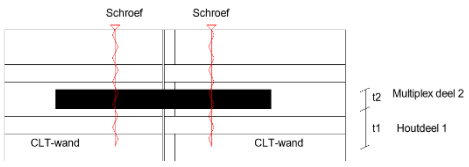
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
2x1	76,47	38,23	25,49	19,12	15,29	12,74	10,92	9,56	8,50	7,65	kN/m
2x2	152,94	76,47	50,98	38,23	30,59	25,49	21,85	19,12	16,99	15,29	kN/m

Tabel 50 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

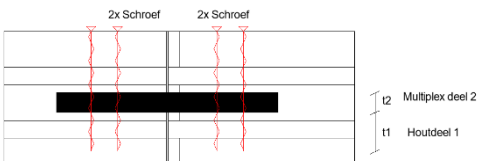
Op te nemen schuifbelasting per meter bij $F_{v,rd} = 2{,}69$ kN. Overige wanddiktes.

	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
1x	107,71	53,86	35,90	26,93	21,54	17,95	15,39	13,46	11,97	10,77	kN/m
2x	215,43	107,71	71,81	53,86	43,09	35,90	30,78	26,93	23,94	21,54	kN/m

Tabel 51 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand



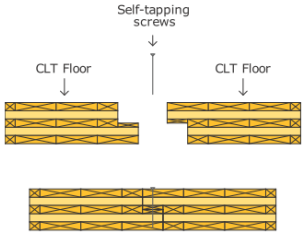
Figuur 25 – Interne multiplexplaat met 1 rij schroeven per wanddeel



Figuur 24 - Interne multiplexplaat met 2 rijen schroeven per wanddeel

Tandverbinding

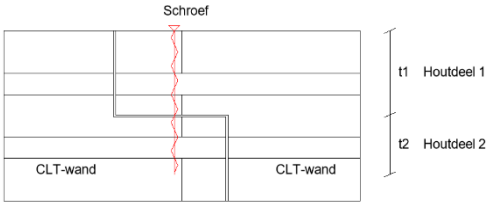
Bij deze variant van de wand-wand verbinding worden de CLT-wanden aan elkaar gekoppeld met behulp van een tandverbinding. Er wordt gebruik gemaakt van schroeven om de wanden aan elkaar te koppelen. Er wordt aangenomen dat er schroeven worden gebruikt met een diameter van Ø11mm. Bij een wanddikte van 140mm wordt er een schroeflengte van 100mm gebruikt. Bij de wanddiktes 160mm t/m 240mm wordt er een schroeflengte van 150mm gebruikt. Bij de wanddiktes 260mm t/m 340mm wordt er een schroeflengte van 200mm gebruikt.



Figuur 26 - Tandverbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

De schroeven hebben een treksterkte van 800 N/mm².

De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.5). In dit geval worden de formules gebruikt van enkelsnedige verbinding.



Figuur 27 - Tandverbinding.

	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$M_{y,rk}$	122.414	122.414	122.414	122.414	122.414	122.414	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	N/mm²
CLT $f_{h,2,k}$	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
$l_{ef,1}$ (t_1)	70	80	90	100	110	120	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	30	70	60	50	40	30	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	8,56	9,65	10,73	11,80	12,86	13,91	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	3,99	8,56	7,45	6,32	5,17	3,99	kN

Tabel 52 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

	260	280	300	320	340	Eenheid
$M_{y,rk}$	122.414	122.414	122.414	122.414	122.414	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	N/mm²
CLT $f_{h,2,k}$	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
$l_{ef,1}$ (t_1)	130	140	150	160	170	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	70	60	50	40	30	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	14,95	15,98	17,00	18,02	19,03	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	8,56	7,45	6,32	5,17	3,99	kN

Tabel 53 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$F_{rk,a}$	10,17	11,63	13,08	14,53	15,99	17,44	kN
$F_{rk,b}$	4,36	10,17	8,72	7,27	5,81	4,36	kN
$F_{rk,c}$	5,83	7,84	8,13	8,48	8,89	9,35	kN
$F_{rk,d}$	11,33	8,09	9,23	10,92	13,67	18,72	kN
$F_{rk,e}$	5,43	7,35	6,77	6,25	5,79	5,43	kN
$F_{rk,f}$	7,86	9,00	8,72	8,44	8,15	7,86	kN

Tabel 54 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Vergelijking	260	280	300	320	340	Eenheid
$F_{rk,a}$	18,89	20,35	21,80	23,25	24,71	kN
$F_{rk,b}$	10,17	8,72	7,27	5,81	4,36	kN
$F_{rk,c}$	11,12	11,52	11,96	12,43	12,94	kN
$F_{,k,d}$	11,81	13,32	15,59	19,30	26,10	kN
$F_{rk,e}$	7,35	6,77	6,25	5,79	5,43	kN
$F_{rk,f}$	9,00	8,72	8,44	8,15	7,86	kN

Tabel 55 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{v,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

De uitkomst per wanddikte is opgenomen in onderstaande tabel.

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	Eenheid
F_{rd}	3,02	5,09	4,69	4,33	4,01	3,02	kN

Tabel 56 - Rekenwaarde schuifsterkte schroef per wanddikte

Vergelijking	260	280	300	320	340	Eenheid
F_{rd}	7,35	6,77	6,25	5,79	4,36	kN

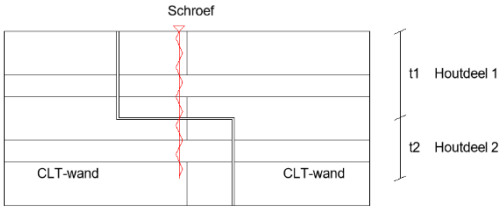
Tabel 57 - Rekenwaarde schuifsterkte schroef per wanddikte

In onderstaande tabellen is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt in de tabel om duidelijk te krijgen hoeveel schuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. In onderstaande tabel is er opgenomen hoeveel belasting er opgenomen kan worden bij een enkele en een dubbele rij schroeven per wandpaneel per wanddikte.

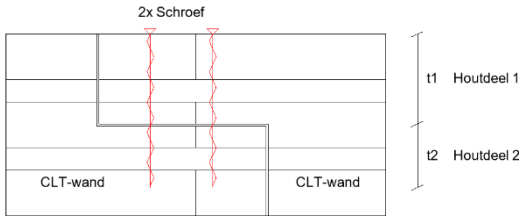
Wand-dikte	H.O.H-afstand											
	Schroef rijen	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
140	1x	60,37	30,19	20,12	15,09	12,07	10,06	8,62	7,55	6,71	6,04	kN/m
	2x	120,74	60,37	40,25	30,19	24,15	20,12	17,25	15,09	13,42	12,07	kN/m
160	1x	101,73	50,86	33,91	25,43	20,35	16,95	14,53	12,72	11,30	10,17	kN/m
	2x	203,46	101,73	67,82	50,86	40,69	33,91	29,07	25,43	22,61	20,35	kN/m
180	1x	93,80	46,90	31,27	23,45	18,76	15,63	13,40	11,72	10,42	9,38	kN/m
	2x	187,59	93,80	62,53	46,90	37,52	31,27	26,80	23,45	20,84	18,76	kN/m
200	1x	86,55	43,27	28,85	21,64	17,31	14,42	12,36	10,82	9,62	8,65	kN/m
	2x	173,10	86,55	57,70	43,27	34,62	28,85	24,73	21,64	19,23	17,31	kN/m
220	1x	80,23	40,11	26,74	20,06	16,05	13,37	11,46	10,03	8,91	8,02	kN/m
	2x	160,46	80,23	53,49	40,11	32,09	26,74	22,92	20,06	17,83	16,05	kN/m
240	1x	60,37	30,19	20,12	15,09	12,07	10,06	8,62	7,55	6,71	6,04	kN/m
	2x	120,74	60,37	40,25	30,19	24,15	20,12	17,25	15,09	13,42	12,07	kN/m
260	1x	101,73	50,86	33,91	25,43	20,35	16,95	14,53	12,72	11,30	10,17	kN/m

	2x	203,46	101,73	67,82	50,86	40,69	33,91	29,07	25,43	22,61	20,35	kN/m
280	1x	93,80	46,90	31,27	23,45	18,76	15,63	13,40	11,72	10,42	9,38	kN/m
	2x	187,59	93,80	62,53	46,90	37,52	31,27	26,80	23,45	20,84	18,76	kN/m
300	1x	86,55	43,27	28,85	21,64	17,31	14,42	12,36	10,82	9,62	8,65	kN/m
	2x	173,10	86,55	57,70	43,27	34,62	28,85	24,73	21,64	19,23	17,31	kN/m
320	1x	80,23	40,11	26,74	20,06	16,05	13,37	11,46	10,03	8,91	8,02	kN/m
	2x	160,46	80,23	53,49	40,11	32,09	26,74	22,92	20,06	17,83	16,05	kN/m
340	1x	60,37	30,19	20,12	15,09	12,07	10,06	8,62	7,55	6,71	6,04	kN/m
	2x	120,74	60,37	40,25	30,19	24,15	20,12	17,25	15,09	13,42	12,07	kN/m

Tabel 58 - Rekenwaarde schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

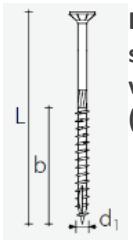


Figuur 29 – Tandverbinding met 1 rij schroeven



Figuur 28 - Tandverbinding met 2 rijen schroeven

B.7.6 Verbinding 5 – Koppeling wand-wand t.p.v. deling windrichting 2



Figuur 30 – HBS-schroef. Overgenomen van *Screws for wood* (Rothoblaas, 2014).

Voor deze verbinding worden er schroeven gebruikt waarbij maar een gedeelte uit schroefdraad bestaat. Daardoor worden de wanden strak tegen elkaar gemonteerd zodra ze vastgeschroefd worden. De schroeven hebben een treksterkte van 800 N/mm². In onderstaande tabel staan de toegepaste schroeven per wanddikte.

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	
Diameter	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	mm
Schroef	240	260	280	300	320	340	360	380	400	440	440	mm
Schroefdraad	75	75	75	75	100	100	100	100	100	100	100	mm

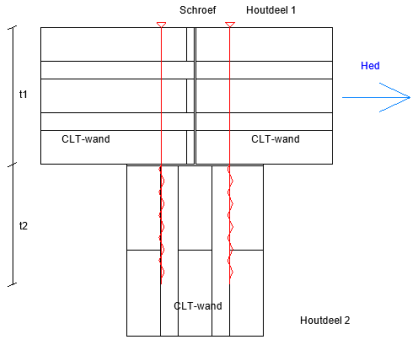
Tabel 59 - Gegevens toegepaste schroef per wanddikte

Op te nemen krachten

In de verbinding zullen de krachten nihil zijn. Er zullen kleine horizontale schuifkrachten plaatsvinden.

Sterkte verbinding

De stuiksterkte wordt bepaald aan de hand van de formules die de NEN-EN 1995-1-1 voorschrijft (zie bijlage A.1.9.2.5). In dit geval worden de formules gebruikt van enkelsnedige verbinding.



Figuur 31 - Koppeling wanden t.p.v. deling

	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$M_{y,rk}$	25317	25317	25317	25317	53487	53487	Nmm²
CLT loodrecht $f_{h,1,k}$	15,85	15,85	15,85	15,85	14,54	14,54	N/mm²
CLT evenwijdig $f_{h,2,k}$	10,05	10,05	10,05	10,05	8,81	8,81	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	
$l_{ef,1}$ (t_1)	140	160	180	200	220	240	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	100	100	100	100	100	100	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	3,86	3,86	3,86	3,86	6,29	6,29	kN

Tabel 60 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

	260	280	300	320	340	Eenheid
$M_{y,rk}$	53487	53487	53487	53487	53487	Nmm²
CLT loodrecht $f_{h,1,k}$	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	N/mm²
CLT evenwijdig $f_{h,2,k}$	8,81	8,81	8,81	8,81	8,81	N/mm²
$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	
$l_{ef,1}$ (t_1)	260	280	300	320	340	mm
$l_{ef,2}$ (t_2)	100	100	100	120	100	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	kN
$F_{ax,2,k,rk}$	6,29	6,29	6,29	6,29	4,85	kN

Tabel 61 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte.

Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	Eenheid
$F_{h,rk,a}$	13,31	15,21	17,11	19,02	25,58	27,91	kN
$F_{h,rk,b}$	4,52	4,52	4,52	4,52	7,05	7,05	kN
$F_{h,rk,c}$	4,92	5,62	6,33	7,05	9,31	10,20	kN
$F_{h,rk,d}$	4,60	5,25	5,91	6,57	9,17	10,00	kN
$F_{h,rk,e}$	2,54	2,54	2,54	2,54	3,25	3,25	kN
$F_{h,rk,f}$	2,22	2,22	2,22	2,22	3,52	3,52	kN

Tabel 62 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Vergelijking	260	280	300	320	340	Eenheid
$F_{h,rk,a}$	30,24	32,56	34,89	37,21	39,54	kN
$F_{h,rk,b}$	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	kN
$F_{h,rk,c}$	11,09	11,99	12,89	13,67	14,70	kN
$F_{h,rk,d}$	10,84	11,67	12,51	12,89	14,17	kN
$F_{h,rk,e}$	3,25	3,25	3,25	3,68	3,25	kN
$F_{vhrk,f}$	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52	kN

Tabel 63 - Uitkomsten Johansen vergelijking enkelsnedig NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{h,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

De uitkomst per wanddikte is opgenomen in onderstaande tabel.

Vergelijking	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	Eenheid
$F_{h,rd}$	1,54	1,54	1,54	1,54	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,44	2,25	kN

Tabel 64 - Maximale drukbelasting per meter loodrecht op de vezel

Omdat de krachten in de verbinding erg klein/nihil zijn, zal er enkel naar de h.o.h.-afstanden van 250mm en 500mm gekeken worden.

Wanddikte	H.O.H.		
	250	500	mm
140-200	6,16	3,08	kN/m
220-300+340	8,99	4,50	kN/m
320	9,76	4,88	kN/m

Tabel 65- Rekenwaarde horizontale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

B.7.7 Verbinding 6 – Koppeling wand-balkje



Figuur 32 - Stalen platen. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

Op te nemen krachten

Wanneer er trekbelasting optreedt dient dit opgenomen te worden door ankers. In dit geval zal er een staalplaat toegepast worden met schroeven. In figuur 32 is te zien hoe deze verbinding eruit zal komen te zien en in figuur 33 is de samenstelling te zien.

De verbinding zal worden getoetst worden op de volgende punten:

- Stuiksterkte van de schroeven in de wanden.

De schroeven hebben een lengte van 50mm een diameter van Ø5mm.

Sterkte verbinding

Stuiksterkte evenwijdig aan houtvezelrichting

De stuiksterkte in de wand naar aanleiding van de trekkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die evenwijdig loopt aan de vezelrichting.

PERFORATED PLATE

code	type	B [mm]	H [mm]	n Ø5 [pcs]	s [mm]
PF703100	LBV60600	60	600	90	1,5

Figuur 33 - Samenstelling. Aangepast overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	10,9	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 66 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{v,rk,a}$	1,09	kN
$F_{v,rk,b}$	2,52	kN

Tabel 67 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

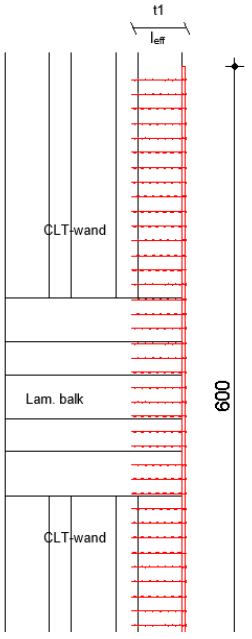
$$f_{v,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{v,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}09}{1{,}3} = 0{,}756\ kN$$

In totaal worden er 90 schroeven toegepast in deze verbinding

$$f_{v,rd,totaal} = 0{,}756 * 90 = 68{,}12\ kN$$



Figuur 34 - Koppeling wand-wand t.p.v. sparing

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{v,rd,totaal}$	170,3	136,2	113,5	97,3	85,2	75,7	68,1	kN/m

Tabel 68 - Rekenwaarde verticale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

Stuiksterkte loodrecht op de houtvezelrichting

De stuiksterkte in de wand en vloer naar aanleiding van de schuifkrachten, wordt bepaald met de formule die geldt voor de verbinding die loodrecht loopt op de vezelrichting.

		Eenheid
$M_{y,rk}$	23.638	Nmm²
CLT $f_{h,1,k}$	16,7	N/mm²
$l_{ef,1}$ (t_1)	50	mm
$F_{ax,1,k,rk}$	2,66	kN

Tabel 69 - Karakteristieke sterktegegevens t.b.v. Johansen vergelijkingen

De kleinste $F_{ax,k,rk}$ waarde wordt gebruikt voor het bepalen van de sterkte. Als deze gegevens in de formules van de NEN-EN 1995-1-1 worden gevoerd komen daar de volgende waarden uit:

Vergelijking		Eenheid
$F_{h,rk,a}$	1,67	kN
$F_{h,rk,b}$	2,95	kN

Tabel 70 - Uitkomsten Johansen vergelijking dunne staalplaat NEN-EN 1995-1-1

Om de rekenwaarde te bepalen wordt per wanddikte de kleinste waarde uit bovenstaande tabel genomen. De rekenwaarde van de sterkte van de schroef wordt als volgt bepaald:

$$f_{h,rd} = k_{mod} * \frac{f_{v,rk}}{\gamma_m}$$

De verbinding wordt getoetst op windbelasting. De Kmod is daardoor 0,9. Bij detailberekeningen bedraagt de factor γ_m 1,3.

$$f_{h,rd} = 0{,}9 * \frac{1{,}67}{1{,}3} = 1{,}158\ kN$$

In totaal worden er 90 schroeven gebruikt in de verbinding. De totale schuifsterkte van beide punten wordt dan:

$$f_{h,rd,totaal} = 1{,}158 * 90 = 104{,}3\ kN$$

In onderstaande tabel is de opneembare schuifbelasting opgenomen met verschillende H.O.H.-afstanden van de staalplaten.

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{h,rd,totaal}$	260,7	208,6	173,8	149,0	130,4	115,9	104,3	kN/m

Tabel 71 - Rekenwaarde horizontale schuifsterkte verbinding per h.o.h.-afstand

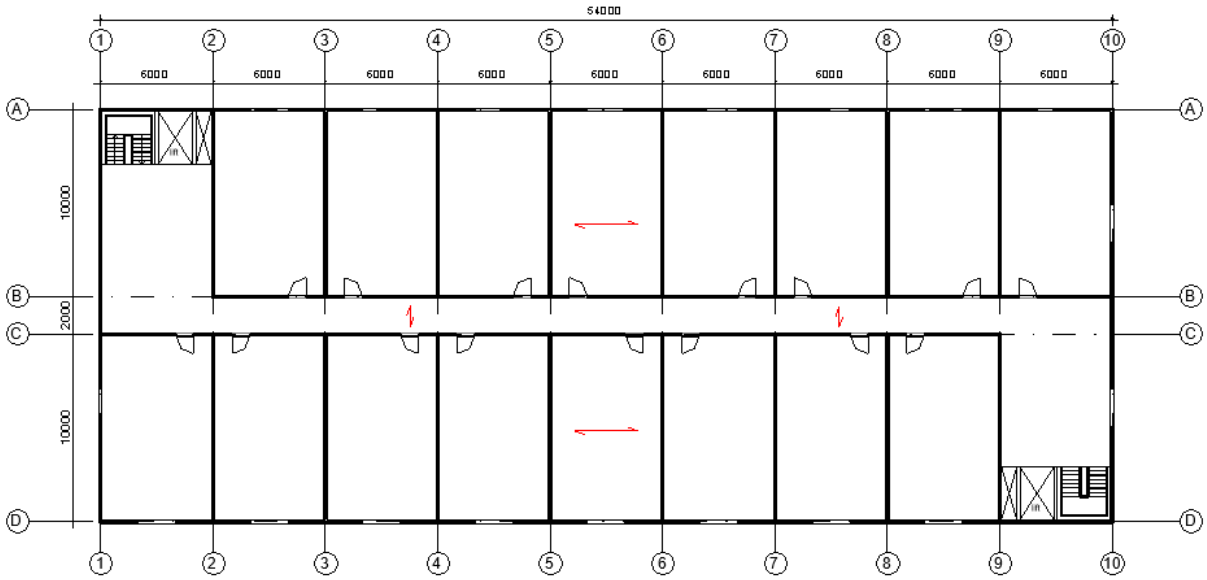
Bijlage B.8 – Toetsing verbindingen[13] [14]

In deze bijlage zal de berekening gemaakt worden voor de platformbouwmethode. Met deze berekening zullen de belastingen worden bepaald die op de 6 kritische verbindingen werken. Vervolgens zullen de verbindingen gecontroleerd worden op sterkte. Naar aanleiding van deze berekening zal er vastgesteld worden hoe hoog er gebouwd kan worden met deze bouwmethode.

De belastingen zijn met behulp van de gewichtsberekening, die in Excel is opgezet, bepaald. In bijlage B.6 is een voorbeeld opgenomen hoe de gewichtsberekening bij 8 bouwlagen is opgezet.

B.8.1 Krachtsverdeling

De belasting van de vloeren wordt als volgt afgedragen. De vloeren zijn doorlopend en functioneren daardoor als een doorgaande ligger. De belastingafdracht per wand is daardoor verschillend. De verhouding van krachtverdeling is bepaald met behulp van Matrixframe. Deze verhouding is vervolgens in Excel verwerkt. Tussen de stramienen B en C is een kleine vloerstrook die op de wanden van stramienen B en C rust.

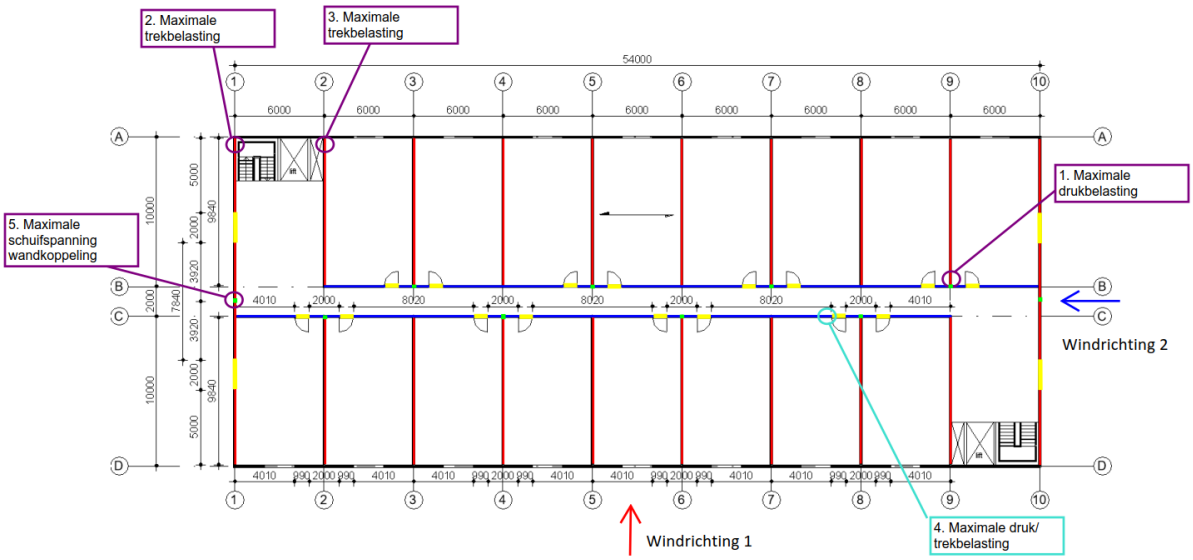


Figuur 1 - Krachtsafdracht

[13] Competentie vakmanschap
[14] Competentie onderzoekend

B.8.2 Optredende belastingen

De maatgevende belastingen worden nader bekeken en gebruikt om de verbindingen te toetsen. Uit de gewichtsberekening van bijlage B.5 blijkt dat De maatgevende punten plaatsvinden bij de punten die in onderstaande figuur zijn aangegeven.



Figuur 2 - Maatgevende punten belastingen

Onderdeel	
Stab.wand windrichting 1	
Stab.wand windrichting 2	
Deling wand	
Sparing	

Tabel 1 - Legenda

Op basis van druk loodrecht op de houtvezel is de tabel 2 opgesteld. Daar waar een x geplaatst is betekent dat de wanddikte toegepast kan worden bij de bijbehorende bouwlaag.

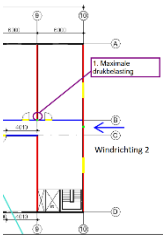
Wanddikte (mm)	**Aantal bouwlagen**							
	6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
140	x	x	x					
160	x	x	x	x				
180	x	x	x	x				
200	x	x	x	x	x			
220	x	x	x	x	x			
240	x	x	x	x	x	x		
260	x	x	x	x	x	x		
280	x	x	x	x	x	x	x	
300	x	x	x	x	x	x	x	
320	x	x	x	x	x	x	x	
340	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabel 2 - Maximaal aantal bouwlagen op basis van druk loodrecht op de vezel

Voor de volgende berekeningen wordt er per wanddikte enkel gerekend met de maximaal aantal bouwlagen die toegepast kunnen worden.

B.8.2.1 Belastingen punt 1: Stramien 9

Op basis van dit punt zal de maximale drukspanning in windrichting 1 bepaald worden op de 1e verdiepingsvloer en de begane grondvloer.



Figuur 3 - Locatie punt 1

Totale Horizontale windlast

De totale windlast die op de wand werkt bedraagt bij de volgende bouwlagen (zoals bepaald in bijlage B.5):

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	104,27	125,86	151,35	177,31	203,25	230,52	261,15	289,08	kN

Tabel 3 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

Deze windlast wordt gebruik voor het toetsen van de wand op horizontale afschuiving. De verbinding tussen de wand en vloer dient hierop getoetst te worden.

1e verdiepingsvloer

Dit punt wordt berekend op basis van de maximale druk loodrecht op de houtvezel.

De rekenwaarde van deze drukspanning bedraagt bij een korte belastingduur van wind (kmod 0,9).

$$f_{c,90,d} = 0{,}9 * \frac{2{,}5}{1{,}25} = 1{,}8\ N/mm^2$$

In onderstaande tabel is weergegeven tot welk aantal bouwlagen gebouwd kan worden zonder dat de maximale druk loodrecht op de houtvezel wordt overschreden. Aan de volgende eis dient de druk loodrecht op de vezel te voldoen:

$$f_{c,90,d} > \frac{q_{ed}}{A_{eff}}$$

Waarbij:

$A_{eff} = De\ effectieve\ oppervlakte = b * (dikte\ wand + (2 * 30mm))$

De maximaal toelaatbare belasting loodrecht op de houtvezel, die verdeeld wordt over de effectieve oppervlakte, luidt per wanddikte als volgt:

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	
Max. Belasting	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	kN/m

Tabel 4 - Maximaal toelaatbare belasting loodrecht op de houtvezel

In onderstaande tabel wordt weergeven wat de maximaal optredende drukbelasting bedraagt per bouwlaag en wanddikte. Alleen de combinatie van wanddiktes en bouwlagen die voldeden aan de eisen, zoals in tabel 2 is weergeven, worden meegenomen. Verder zal enkel de optredende belasting per wanddikte berekend worden bij de maximaal haalbaar bouwlagen volgens tabel 2.

Wanddikte (mm)	Aantal bouwlagen								
	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	-200,2	-247,7	-301,9						kN/m
160				-364,6					kN/m
180				-367,7					kN/m
200					-436,6				kN/m
220					-440,1				kN/m

240						-516,5			kN/m
260						-520,4			kN/m
280							-606,8		kN/m
300							-611,1		kN/m
320							-615,3		kN/m
340								-706,4	kN/m

Tabel 5 - Optredende belasting per wanddikte per x aantal bouwlagen

Begane grond

Dit punt wordt berekend op basis van de maximale druk evenwijdig aan de houtvezel. De sterkte van dit onderdeel is bepaald in bijlage B.7.6.

De maximaal opneembare drukbelasting evenwijdig aan de houtvezel is als volgt:

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	mm
Krit. Last	1058	1415	1542	1615	2477	2782	kN/m

Tabel 6 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting per netto wanddoorsnede

Wanddikte	260	280	300	320	340	mm
Krit. Last	2812	2843	3447	3484	4064	kN/m

Tabel 7 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting per netto wanddoorsnede

In onderstaande tabel wordt weergeven wat de maximaal optredende drukbelasting bedraagt per bouwlaag en wanddikte. Alleen de combinatie van wanddiktes en bouwlagen die voldeden aan de eisen van vorige paragraaf worden meegenomen. Verder zal enkel de optredende belasting per wanddikte berekend worden bij de maximaal haalbaar bouwlagen volgens de vorige paragraaf.

Wanddikte (mm)	Aantal bouwlagen								
	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	-223,5	-275,3	-334,4						kN/m
160				-402,5					kN/m
180				-406,2					kN/m
200					-480,4				kN/m
220					-484,3				kN/m
240						-566,5			kN/m
260						-570,8			kN/m
280							-663,5		kN/m
300							-668,2		kN/m
320							-672,8		kN/m
340								-769,7	kN/m

Tabel 8 - Optredende drukbelasting per wanddikte per x aantal bouwlagen

In tabel 8 is te zien dat de belasting evenwijdig aan de houtvezel bij lange na nog niet wordt overschreden. Dit punt is dus niet maatgevend.

B.8.2.2 belastingen punt 2: Stramien 1

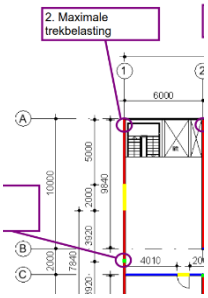
Totale Horizontale windlast

De totale windlast die op de wand werkt bedraagt bij de volgende bouwlagen (zoals bepaald in bijlage B.5):

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	13,68	16,51	19,86	23,26	26,67	30,24	34,26	37,93	kN

Tabel 9 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

Deze windlast wordt gebruik voor het toetsen van de wand op horizontale afschuiving. De verbinding tussen de wand en vloer dient hierop getoetst te worden.



Figuur 4 - Locatie punt 2

Optredende trekbelasting

1e verdiepingsvloer

In onderstaande tabel is opgenomen wat de maximaal optredende trekbelasting is per x aantal bouwlagen. Deze trekspanning dient opgenomen te worden door de ankers die worden toegepast.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	2,53	9,97	20,8						kN/m
160				32,0					kN/m
180				29,7					kN/m
200					42,6				kN/m
220					40,0				kN/m
240						55,2			kN/m
260						52,3			kN/m
280							71,14		kN/m
300							67,927		kN/m
320							64,714		kN/m
340								83,96	kN/m

Tabel 10 - Optredende trekbelasting per x aantal bouwlagen op de 1e verdiepingsvloer

Begane grond

De volgende tabel laat zien wat de maximaal optredende trekbelasting is per x aantal bouwlagen ter plaatse van de begane grondvloer. Ook deze belasting zal opgenomen moeten worden door de te gebruiken ankers.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	8,88	18,47	31,8						kN/m
160				45,3					kN/m
180				42,7					kN/m
200					57,9				kN/m
220					55,0				kN/m
240						72,7			kN/m

260						69,4			kN/m
280							91,0		kN/m
300							87,5		kN/m
320							84,0		kN/m
340								105,77	kN/m

Tabel 11 - Optredende trekbelasting per x aantal bouwlagen op de begane grondvloer

B.8.2.3 Belastingen punt 3: Stramien 2

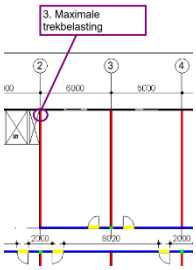
Totale Horizontale windlast

De totale windlast die op de wand werkt bedraagt bij de volgende bouwlagen (zoals bepaald in bijlage B.5):

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	104,27	125,86	151,35	177,31	203,25	230,52	261,15	289,08	kN

Tabel 12 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

Deze windlast wordt gebruik voor het toetsen van de wand op horizontale afschuiving. De verbinding tussen de wand en vloer dient hierop getoetst te worden.



Figuur 5 - Locatie punt 3

Optredende trekbelasting

1e verdiepingsvloer

In onderstaande tabel is opgenomen wat de maximaal optredende trekbelasting is per x aantal bouwlagen. Deze trekspanning dient opgenomen te worden door de ankers die worden toegepast.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	1,25	15,68	34,7						kN/m
160				60,8					kN/m
180				58,5					kN/m
200					86,8				kN/m
220					84,2				kN/m
240						118,0			kN/m
260						115,1			kN/m
280							156,7		kN/m
300							153,5		kN/m
320							150,3		kN/m
340								193,9	kN/m

Tabel 13 - Optredende trekbelasting op 1e verdiepingsvloer

Begane grond

De volgende tabel laat zien wat de maximaal optredende trekbelasting is per x aantal bouwlagen ter plaatse van de begane grondvloer. Deze belasting zal opgenomen moeten worden door de te gebruiken ankers.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	16,92	35,58	61,6						kN/m
160				90,5					kN/m
180				87,8					kN/m
200					121,0				kN/m
220					118,1				kN/m
240						156,9			kN/m

260						153,7			kN/m
280							201,0		kN/m
300							197,5		kN/m
320							194,0		kN/m
340								242,8	kN/m

Tabel 14 - Optredende trekbelasting op begane grondvloer

B.8.2.4 Belastingen punt 4: Stramien B/C

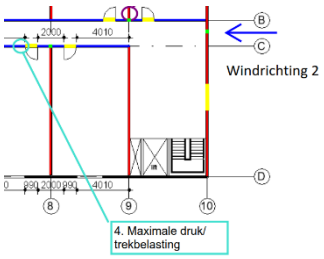
Totale Horizontale windlast

De totale windlast die op de wand werkt bedraagt bij de volgende bouwlagen (zoals bepaald in bijlage B.5):

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	114,9	137,9	157,3	179,5	202,4	226,5	252,5	277,8	kN

Tabel 15 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

Deze windlast wordt gebruik voor het toetsen van de wand op horizontale afschuiving. De verbinding tussen de wand en vloer dient hierop getoetst te worden.



Figuur 6 - Locatie punt 4

Optredende drukbelasting

1e verdiepingsvloer

In onderstaande tabel is opgenomen wat de maximaal optredende drukbelasting is per x aantal bouwlagen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	-113,0	-153,5	-201,5						kN/m
160				-261,8					kN/m
180				-265,3					kN/m
200					-335,4				kN/m
220					-339,4				kN/m
240						-420,1			kN/m
260						-424,4			kN/m
280							-518,8		kN/m
300							-523,3		kN/m
320							-527,9		kN/m
340								-629,8	kN/m

Tabel 16 - Optredende drukbelasting op 1e verdiepingsvloer

Begane grond

De volgende tabel laat zien wat de maximaal optredende drukbelasting is per x aantal bouwlagen ter plaatse van de begane grondvloer.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	-126	-169,9	-221,2						kN/m
160				-284,5					kN/m
180				-287,3					kN/m
200					-360,4				kN/m
220					-363,5				kN/m
240						-447,4			kN/m
260						-450,7			kN/m
280							-548,4		kN/m

300							-551,9		kN/m
320							-555,4		kN/m
340								-660	kN/m

Tabel 17 - Optredende drukbelasting op 1e verdiepingsvloer

Optredende trekbelasting

1e verdiepingsvloer

In onderstaande tabel is opgenomen wat de maximaal optredende trekbelasting is per x aantal bouwlagen. Deze trekspanning dient opgenomen te worden door de ankers die worden toegepast.

Wanddikte	**Aantal bouwlagen**								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	46,3	75,8	110,1						kN/m
160				152,6					kN/m
180				150,7					kN/m
200					201				kN/m
220					198,7				kN/m
240						257,7			kN/m
260						255,1			kN/m
280							325,5		kN/m
300							322,6		kN/m
320							319,7		kN/m
340								394,9	kN/m

Tabel 18 - Optredende trekbelasting op 1e verdiepingsvloer

Begane grond

De volgende tabel laat zien wat de maximaal optredende trekbelasting is per x aantal bouwlagen ter plaatse van de begane grondvloer. Ook deze belasting zal opgenomen moeten worden door de te gebruiken ankers.

Wanddikte	**Aantal bouwlagen**								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	78,9	113,3	155,2						kN/m
160				204,4					kN/m
180				202,6					kN/m
200					259,6				kN/m
220					257,2				kN/m
240						323,9			kN/m
260						321,4			kN/m
280							399,7		kN/m
300							396,8		kN/m
320							393,9		kN/m
340								476,8	kN/m

Tabel 19 - Optredende trekbelasting op begane grondvloer

B.8.2.5 Belastingen punt 5: Stramien 1/10

Totale Horizontale windlast

De totale windlast die op de wand werkt bedraagt bij de volgende bouwlagen (UGT) (zoals bepaald in bijlage B.5):

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	52,74	63,66	76,55	89,68	102,80	116,59	132,08	146,21	kN

Tabel 20 – Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

Het moment dat door de windbelasting optreedt op de fundering bedraagt (UGT):

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Een-heid
Moment Med	506,27	712,98	979,81	1291,38	1644,84	2052,03	2535,98	3041,18	kNm

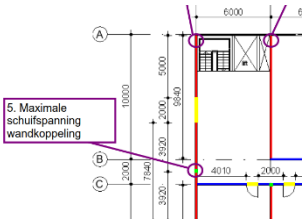
Tabel 21 - Rekenwaarde windmoment op fundering

Afschuiving ter plaatse van wandkoppeling

De afschuiving die die in de koppeling tussen de twee wanden ontstaat wordt als volgt bepaald:

$$V_{ed} = \frac{M_{ed}}{l} \; [kN]$$

Waarbij l is de lengte van de totale wand die als schijf samenwerkt. In dit geval is deze lengte 7,84 meter.



Figuur 7 - Locatie punt 5

Als deze formule voor bovenstaande waarde wordt ingevoerd komen daar de volgende gegevens uit:

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Verticale schuifkracht	64,6	90,9	125	165	210	262	323	388	kN

Tabel 22 - Rekenwaarde verticale schuifkracht ter plaatse van deling

Omgerekend naar de schuifbelasting per meter wordt de bovenstaande schuifbelasting gedeeld door de wandhoogte (2,95m). Daar komen de volgende gegevens uit:

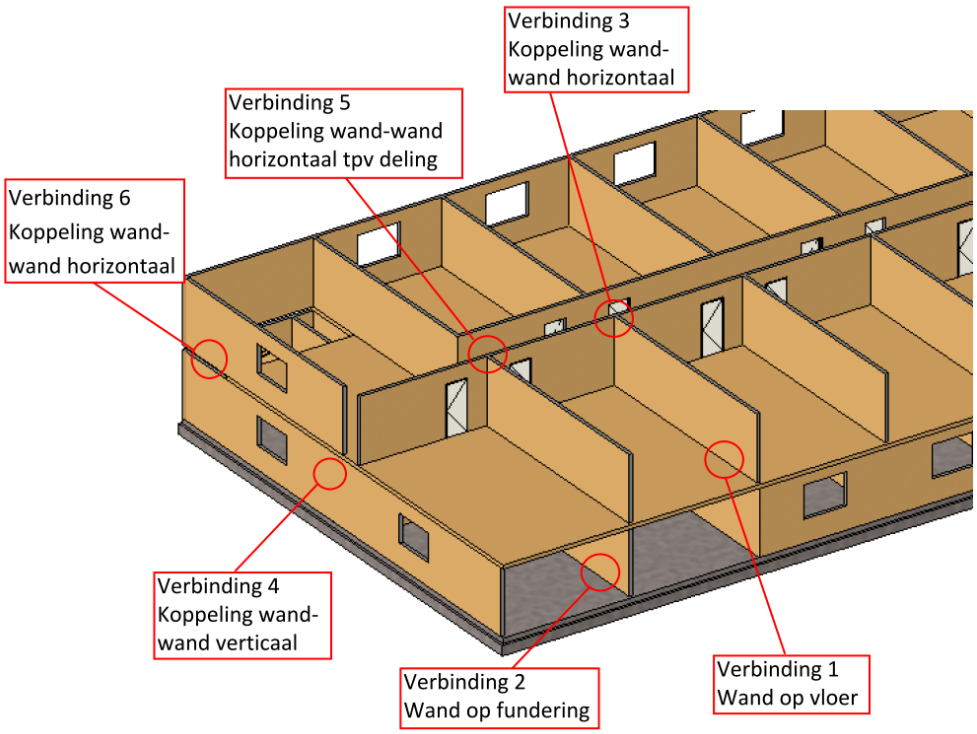
Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Verticale schuifkracht	21,9	30,8	42	56	71	89	110	131	kN/m

Tabel 23 - Rekenwaarde verticale schuifkracht ter plaatse van deling per meter

B.8.3 Toetsing verbindingen

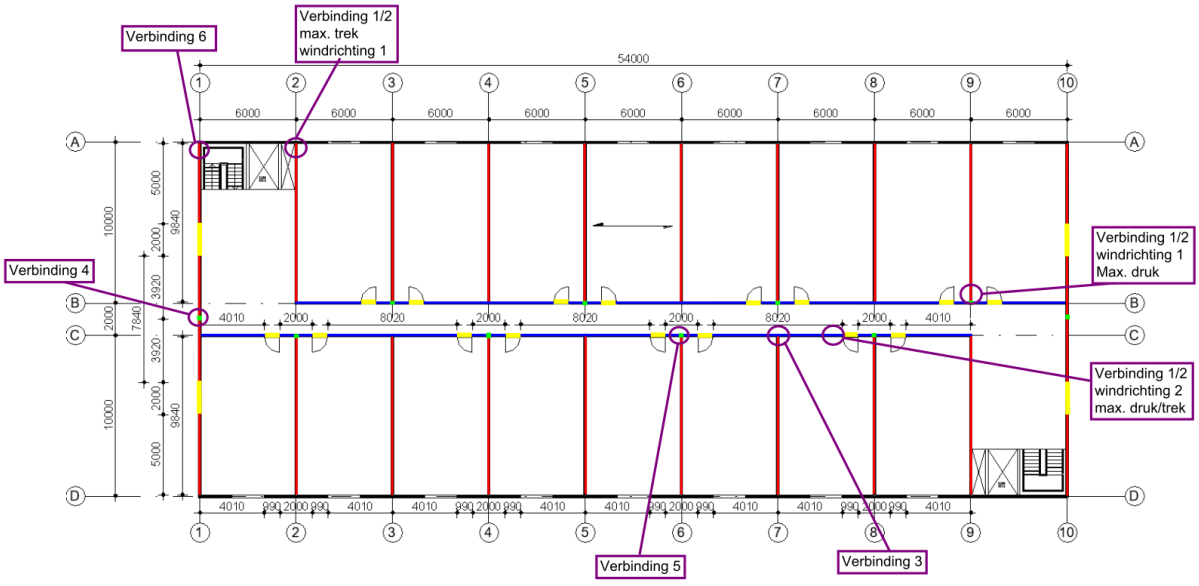
In deze paragraaf worden de verbindingen, waarvan de sterkte is bepaald in bijlage B.7, naast de optredende belastingen van de variant gelegd die in paragraaf B.8.2 zijn vastgelegd. In onderstaande figuur wordt nogmaals aangegeven over welke verbindingen het gaat. De belastingen waar de verbindingen aan worden getoetst zijn in paragraaf B.8.2 vastgesteld.

Er wordt nagegaan welke h.o.h.-afstand er nodig is bij elk aantal toegepaste bouwlagen.



Figuur 8 - Kritieke verbindingen

In onderstaande figuur zijn de locaties van de maatgevende belastingen opgenomen. De verbindingen zullen op deze punten worden getoetst.



Figuur 9 - Locatie van de verbindingen

Verbinding 1 – Verbinding wand/verdiepingsvloer

Verbinding 1 bestaat uit het koppelen van de wanden aan de verdiepingsvloer en het koppelen van de verdiepingsvloer aan de onderliggende wand. Deze verbinding zal getoetst moeten worden op verschillende punten, namelijk:

- Druksterkte hout
- Stuiksterkte van de schroeven naar aanleiding van horizontale schuifkracht uit wind.
- Treksterkte van de schroeven naar aanleiding van de trekkracht
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand naar aanleiding van de trekkracht

Verbinding 2 – Verbinding wand/fundering

Ter plaatse van verbinding 2 zullen de wanden gekoppeld worden aan de fundering. Deze verbinding zal getoetst moeten worden op verschillende punten, namelijk:

- Druksterkte hout
- Stuiksterkte van de schroeven naar aanleiding van horizontale schuifkracht uit wind.
- Treksterkte van de betonbouten naar aanleiding van de trekkracht
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand naar aanleiding van de trekkracht

Verbinding 3 – Wandkoppeling horizontaal

Verbinding 3 bestaat uit het koppelen van de stabiliteitswand aan een stabiliteitswand die dwars op de wand staat. Ter plaatse van verbinding 3 zal de verbinding belast worden met horizontale schuifkrachten. Deze krachten worden veroorzaakt door de windbelasting die kracht uitoefent op de stabiliteitswand.

Verbinding 4 – Wandkoppeling verticaal

Ter plaatse van verbinding 4 zal er een koppeling uitgevoerd worden tussen twee CLT-wanden. Door de panelen met elkaar te koppelen zal dat wandgedeelte als één geheel werken. De wand zal daardoor meer belasting naar zich toe trekken, maar doordat de lengte van de wand groter wordt zal de belasting beter worden verdeeld. De verbinding zal horizontale en verticale schuifkrachten op moeten nemen om als koppeling te voldoen.

Verbinding 5 – Wandkoppeling horizontaal bij deling

Verbinding 5 bestaat uit het koppelen van de wanden aan de wand die dwars staat ter plaatse van de deling. Ter plaatse van deze verbinding zal er enkel horizontale schuifkracht opgenomen moeten worden.

Verbinding 6 – Verbinding wand t.p.v. sparing

Verbinding 6 bestaat uit het koppelen van de wanden ter plaatse van de sparing. Er is daar geen vloer aanwezig waar de wanden aan gekoppeld kunnen worden. Er zal daar een gelamineerde balk toegepast worden tussen de twee wanden.

B.8.3.1 Verbinding 1 – Wand op verdiepingsvloer stramien B9 en C6-8

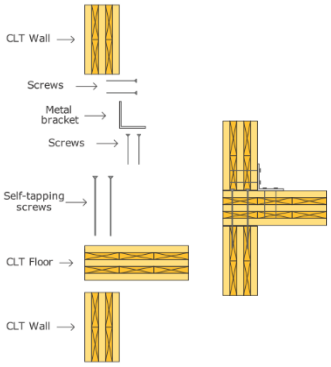
De verbinding dient getoetst te worden op:

- Druksterkte van de verbinding
- Treksterkte van de verbinding
- Afschuifsterkte van de verbinding

Sterkte verbinding

Druksterkte loodrecht op de houtvezel

In onderstaande tabel is de maximaal toelaatbare belasting loodrecht op de houtvezel opgenomen. Deze belasting wordt verdeeld over de effectieve oppervlakte van het hout.



Figuur 10 - Wand - vloer verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	
Max. Belasting	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	kN/m

Tabel 24 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting loodrecht op de houtvezel

De maximaal optredende belastingen vinden plaats bij punt 1 stramien 9. In onderstaande tabel is te zien dat de optredende drukbelastingen op de 1e verdiepingsvloer onder de maximale waarde blijven.

Wanddikte (mm)	Aantal bouwlagen								
	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	-200,2	-247,7	-301,9						kN/m
160				-364,6					kN/m
180				-367,7					kN/m
200					-436,6				kN/m
220					-440,1				kN/m
240						-516,5			kN/m
260						-520,4			kN/m
280							-606,8		kN/m
300							-611,1		kN/m
320							-615,3		kN/m
340								-706,4	kN/m

Tabel 25 - Rekenwaarde optredende drukbelasting 1e verdiepingsvloer

Sterkte verbinding op treksterkte en afschuiving

De toegepaste verbinding heeft de volgende sterkte-eigenschappen.

Sterkte wand op vloer verbinding

De wand op vloer verbinding wordt uitgevoerd met een staalplaat met schroeven. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de schroeven in de vloer.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand.
- Stuiksterkte van de schroeven in de vloer.



Figuur 11 - Stalen plaat. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

TREKSTERKTE

De staalplaat heeft een lengte van 240mm. Om die reden is ervoor gekozen om te rekenen vanaf een h.o.h.-afstand van 400 mm omdat er anders erg veel staalplaten gebruikt moeten worden. De maximaal op te nemen trekbelasting door de schroeven in de staalplaat in de vloer bedraagt:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{ax,rd,totaal}$	213	170	142	122	107	95	85	kN/m

Tabel 26 – Maximaal op te nemen trekbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De maximaal op te nemen trekbelasting op basis van de stuiksterkte bedraagt:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{v,rd,totaal}$	68	54	45	39	34	30	27	kN/m

Tabel 27 – Maximaal op te nemen verticale schuifbelasting schroeven wand per meter

HORIZONTALE STUIKSTERKTE

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat. De verbinding wordt getoetst voor schroeven die loodrecht op de houtvezelrichting zijn geplaatst. De maximaal op te nemen afschuifkrachten op basis van de stuiksterkte bedraagt:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{h,rd,totaal}$	104	83	70	60	52	46	42	kN/m

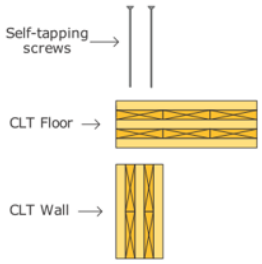
Tabel 28 – Maximaal op te nemen horizontale schuifbelasting schroeven wand/vloer per meter

Sterkte vloer op wand verbinding

ALTERNATIEF 1: SCHROEVEN

De wand op vloer verbinding wordt uitgevoerd met schroeven. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de schroeven
- Stuiksterkte van de schroeven



Figuur 12 – Vloer/wandverbinding. Aangepast overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

TREKBELASTING

De maximaal op te nemen trekbelasting door de schroeven bedraagt bij de volgende h.o.h.-afstanden:

H.o.h.	110	150	200	250	300	350	400	450	500	
1x	101,7	74,6	55,9	44,7	37,3	32,0	28,0	24,9	22,4	kN/m
2x	203,3	149,1	111,8	89,5	74,6	63,9	55,9	49,7	44,7	kN/m

Tabel 29 - Maximaal op te nemen trekbelasting schroeven per h.o.h.-afstand per meter

HORIZONTALE STUIKSTERKTE

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat. In onderstaande tabel is deze windbelasting aangegeven.

In onderstaande tabellen is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt in de tabel om duidelijk te krijgen hoeveel afschuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. In de tabel is er opgenomen hoeveel belasting er opgenomen kan worden bij een enkele en een dubbele rij schroeven per wandpaneel.

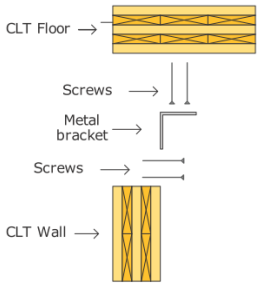
Op te nemen horizontale schuifbelasting per meter bedraagt:

H.o.h.	110	150	200	250	300	350	400	450	500	
1x	38,0	27,8	20,9	16,7	13,9	11,9	10,4	9,3	8,3	kN/m
2x	75,9	55,7	41,7	33,4	27,8	23,9	20,9	18,6	16,7	kN/m

Tabel 30 – Maximaal op te nemen horizontale schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

ALTERNATIEF 2: STALEN PLATEN

Dit alternatief wordt uitgevoerd als de wand-vloer verbinding die eerder in deze paragraaf is behandeld.



Figuur 13 - Wand/vloer verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Toetsing verbinding op treksterkte en afschuiving

In elke windrichting zal de verbinding getoetst worden op de volgende onderdelen:

Windrichting 1

Onderstaande belastingen worden gebruikt om te bepalen welke verbinding toegepast kan worden in elke situatie.

Optredende trekbelastingen

Bij punt 3 stramien 2 treedt de maximale trekspanning op ter plaatse van de wand op de verdiepingsvloervloer in windrichting 1. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	1,25	15,68	34,7						kN/m
160				60,8					kN/m
180				58,5					kN/m
200					86,8				kN/m
220					84,2				kN/m
240						118,0			kN/m
260						115,1			kN/m
280							156,7		kN/m
300							153,5		kN/m
320							150,3		kN/m
340								193,9	kN/m

Tabel 31 - Optredende trekbelasting 1e verdiepingsvloer

Optredende horizontale belastingen

In onderstaande tabel is de totale windbelasting nogmaals aangegeven die op de wand staat.

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	104,27	125,86	151,35	177,31	203,25	230,52	261,15	289,08	kN

Tabel 32 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien 2 heeft een lengte van 9,84 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	10,6	12,8	15,38	18,02	20,66	23,43	26,54	29,38	kN/m

Tabel 33 - Rekenwaarde van de horizontale schuifbelasting per meter

Sterkte wand op vloer verbinding

De wand op vloer verbinding wordt uitgevoerd met een staalplaat met schroeven. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de schroeven in de vloer.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand.
- Stuiksterkte van de schroeven in de vloer.

TREKSTERKTE

De benodigde minimale h.o.h. afstand van de staalplaten die nodig is om de trekbelasting op te nemen is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	1000mm					
160				1000mm				
180				1000mm				
200					900mm			
220					900mm			
240						700mm		
260						700mm		
280							500mm	
300							500mm	
320							500mm	
340								400mm

Tabel 34 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding op basis van treksterkte schroeven

Waarbij VN = voldoet niet.

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h. afstanden zijn als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	700mm					
160				400mm				
180				400mm				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 35 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding op basis van verticale stuiksterkte schroeven wand

Waarbij VN = voldoet niet.

Horizontale afschuifsterkte

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat.

Op basis van deze gegevens kan er per situatie bepaald worden welke h.o.h.-afstand nodig is om aan de eis van horizontale afschuiving te voldoen. De benodigde h.o.h.-afstand luidt als volgt:

Aantal bouw-lagen	6	7	8	9	10	11	12	13
H.O.H.	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm

Tabel 36 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding op basis van horizontale stuiksterkte schroeven wand/vloer

Conclusie

Uit bovenstaande toetsingen blijkt dat de stuiksterkte ter plaatse van de schroeven in de wand die belast worden op trekbelasting, maatgevend is voor deze verbinding. Op dit moment is ervanuit gegaan dat er aan één zijde van de wand een staalplaat is toegepast. Wanneer er aan twee zijden van de wand een staalplaat wordt toegepast wordt de belasting over deze twee staalplaten verdeeld. De opneembare belasting wordt dan:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{v,rd,totaal}$	136	109	91	78	68	61	54	kN/m

Tabel 37 – Maximaal op te nemen trekbelasting bij twee staalplaten per h.o.h.-afstand per meter

De toe te passen h.o.h.-afstanden zijn in dat geval als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	1000mm					
160				800mm				
180				800mm				
200					500mm			
220					500mm			
240						400mm		
260						400mm		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 38 - Benodigde h.o.h.-afstand verbindingen per x aantal bouwlagen

Waarbij VN = voldoet niet.

Sterkte vloer op wand verbinding

De wand op vloer verbinding wordt uitgevoerd met schroeven. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de schroeven
- Stuiksterkte van de schroeven

TREKBELASTING

De maximaal op te nemen trekbelasting door de schroeven bedraagt bij de volgende h.o.h.-afstanden:

H.o.h.	110	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
1x	101,7	74,6	55,9	44,7	37,3	32,0	28,0	24,9	22,4	kN/m
2x	203,3	149,1	111,8	89,5	74,6	63,9	55,9	49,7	44,7	kN/m

Tabel 39 – Maximaal op te nemen trekbelasting per h.o.h.-afstand per meter

In onderstaande tabel is opgenomen wat de h.o.h. afstand dient te zijn om de trekbelasting op te nemen. Er wordt aangegeven wat de afstanden dienen te zijn wanneer een enkele en een dubbele rij schroeven wordt gebruikt.

Wand dikte	Aantal rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	500mm	500mm	300mm					
	2x	N.v.t	N.v.t	N.v.t.					
160	1x				150mm				
	2x				350mm				
180	1x				150mm				
	2x				350mm				
200	1x					110mm			
	2x					250mm			
220	1x					110mm			
	2x					250mm			
240	1x						VN		
	2x						150mm		
260	1x						VN		
	2x						150mm		
280	1x							VN	
	2x							110mm	
300	1x							VN	
	2x							110mm	
320	1x							VN	
	2x							110mm	
340	1x								VN
	2x								110mm

Tabel 40 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding

Waarbij

VN = voldoet niet.
N.V.T = Kan niet uitgevoerd worden omdat er niet wordt voldaan aan de minimaal schroefafstand.

Horizontale afschuifsterkte

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat. In onderstaande tabel is deze windbelasting aangegeven.

In tabel 41 is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt om duidelijk te krijgen hoeveel schuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. In de tabel is er opgenomen hoeveel belasting er opgenomen kan worden bij een enkele en een dubbele rij schroeven per wandpaneel.

Op te nemen horizontale schuifbelasting per meter bedraagt:

H.o.h.	110	150	200	250	300	350	400	450	500	
1x	38,0	27,8	20,9	16,7	13,9	11,9	10,4	9,3	8,3	kN/m
2x	75,9	55,7	41,7	33,4	27,8	23,9	20,9	18,6	16,7	kN/m

Tabel 41 - Maximaal op te nemen horizontale schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

In onderstaande tabel is opgenomen wat de h.o.h. afstand dient te zijn om de horizontale afschuifbelasting op te nemen. Er wordt aangegeven wat de afstanden dienen te zijn wanneer een enkele en een dubbele rij schroeven wordt gebruikt.

Wand dikte	Aantal rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
h.o.h.	1x	500mm	450mm	450mm	400mm	350mm	300mm	250mm	250mm
	2x	500mm	500mm	500mm	500mm	500mm	500mm	500mm	500mm

Tabel 42 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding

Conclusie

De treksterkte van de schroeven is in dit geval maatgevend.

Windrichting 2

Optredende trekbelastingen

Bij punt 4 stramien B/C treedt de maximale trekspanning op ter plaatse van de wand op de verdiepingsvloervloer in windrichting 2. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	46,3	75,8	110,1						kN/m
160				152,6					kN/m
180				150,7					kN/m
200					201				kN/m
220					198,7				kN/m
240						257,7			kN/m
260						255,1			kN/m
280							325,5		kN/m
300							322,6		kN/m
320							319,7		kN/m
340								394,9	kN/m

Tabel 43 - Rekenwaarde optredende trekbelasting op 1e verdiepingsvloer per meter

Optredende horizontale belastingen

In onderstaande tabel is de totale windbelasting aangegeven die op de wand staat.

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	114,9	137,9	153,67	179,5	202,4	226,5	252,5	277,8	kN

Tabel 44 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien B/C heeft een lengte van 8,02 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	14,3	17,2	19,16	22,4	25,2	28,2	31,5	34,6	kN/m

Tabel 45 - Rekenwaarde horizontale schuifbelasting per meter

Sterkte wand op vloer verbinding

De wand op vloer verbinding wordt uitgevoerd met een staalplaat met schroeven. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de schroeven in de vloer.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand.
- Stuiksterkte van de schroeven in de vloer.

TREKSTERKTE

De benodigde minimale h.o.h. afstand van de staalplaten die nodig is om de trekbelasting op te nemen is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	700mm					
160				500mm				
180				500mm				
200					400mm			
220					400mm			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 46 - Benodigde h.o.h.-afstand t.b.v. trekbelasting betonbouten

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h.-afstanden zijn als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	400mm	VN	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 47 - Benodigde h.o.h.-afstand t.b.v. verticale stuiksterkte schroeven

Waarin VN = voldoet niet.

HORIZONTALE AFSCHUIFSTERKTE

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat.

Op basis van deze gegevens kan er per situatie bepaald worden welke h.o.h.-afstand nodig is om aan de eis van horizontale afschuiving te voldoen. De benodigde h.o.h.-afstand luidt als volgt:

Aantal bouw-lagen	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
H.O.H.	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm

Tabel 48 - Benodigde h.o.h.-afstand t.b.v. horizontale schuifbelasting

CONCLUSIE

Uit bovenstaande toetsingen blijkt dat de stuiksterkte ter plaatse van de schroeven in de wand ten gevolge van de trekbelasting maatgevend is voor deze verbinding. Op dit moment is ervanuit gegaan dat er aan één zijde van de wand een staalplaat is toegepast. Wanneer er aan twee zijden van de wand een staalplaat wordt toegepast wordt de belasting over deze twee staalplaten verdeeld. De opneembare belasting wordt dan:

H.O.H.	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**	**900**	**1000**	
$f_{v,rd,totaal}$	136	109	91	78	68	61	54	kN/m

Tabel 49 - Maximaal opneembare trekbelasting aan de hand van verticale stuiksterkte schroeven bij twee staalplaten per meter

De toe te passen h.o.h. afstanden zijn in dat geval als volgt:

Wanddikte	**Aantal bouwlagen**							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	700mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 50 - Benodigde h.o.h.-afstand t.b.v. verticale stuiksterkte schroeven

Waarbij VN= voldoet niet.

Sterkte vloer op wand verbinding

De wand op vloer verbinding wordt uitgevoerd met schroeven. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de schroeven
- Stuiksterkte van de schroeven

TREKBELASTING

De maximaal op te nemen trekbelasting door de schroeven bedraagt bij de volgende h.o.h.-afstanden:

	110	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
1x	101,7	74,6	55,9	44,7	37,3	32,0	28,0	24,9	22,4	kN/m
2x	203,3	149,1	111,8	89,5	74,6	63,9	55,9	49,7	44,7	kN/m

Tabel 51 - Maximaal op te nemen trekbelasting schroeven per h.o.h.-afstand per meter

In onderstaande tabel is opgenomen wat de h.o.h.-afstand dient te zijn om de trekbelasting op te nemen. Er wordt aangegeven wat de afstanden dienen te zijn wanneer een enkele en een dubbele rij schroeven wordt gebruikt.

Wand-dikte	Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	200mm	110mm	VN					
	2x	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.					
160	1x	200mm	110mm	VN	VN				
	2x	450mm	250mm	200mm	110mm				
180	1x				VN				
	2x				110mm				
200	1x					VN			
	2x					110mm			
220	1x					VN			
	2x					110mm			
240	1x						VN		
	2x						VN		
260	1x						VN		
	2x						VN		
280	1x							VN	
	2x							VN	
300	1x							VN	
	2x							VN	
320	1x							VN	
	2x							VN	
340	1x								VN
	2x								VN

Tabel 52 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding

Waarin:

VN = voldoet niet.
N.V.T = Kan niet uitgevoerd worden omdat er niet wordt voldaan aan de minimaal schroefafstand.

Horizontale afschuifsterkte

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat. In onderstaande tabel is deze windbelasting aangegeven.

In onderstaande tabellen is de rekenwaarde van de schroeven verwerkt in de tabel om duidelijk te krijgen hoeveel afschuifbelasting per meter er opgenomen kan worden bij een bepaalde H.O.H.-afstand. In de tabel is er opgenomen hoeveel belasting er opgenomen kan worden bij een enkele en een dubbele rij schroeven per wandpaneel.

De horizontale afschuifsterkte per meter bedraagt:

	110	150	200	250	300	350	400	450	500	
1x	38,0	27,8	20,9	16,7	13,9	11,9	10,4	9,3	8,3	kN/m
2x	75,9	55,7	41,7	33,4	27,8	23,9	20,9	18,6	16,7	kN/m

Tabel 53 - Maximaal toelaatbare horizontale schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

In onderstaande tabel is opgenomen wat de h.o.h.-afstand dient te zijn om de horizontale afschuifbelasting op te nemen. Er wordt aangegeven wat de afstanden dienen te zijn wanneer een enkele en een dubbele rij schroeven wordt gebruikt.

Wand-dikte	**Aantal rijen schroeven**	**Aantal bouwlagen**							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
h.o.h.	1x	250mm	200mm	200mm	150mm	150mm	110mm	110mm	110mm
	2x	500mm	500mm	400mm	350mm	300mm	250mm	250mm	200mm

Tabel 54 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbinding

Conclusie

De treksterkte van de schroeven is in dit geval maatgevend.

Eindconclusie

De verbindingen in windrichting 2 zijn maatgevend. Deze belastingen en minimale verbindingsafstanden zijn aangenomen als maatgevend en zullen verder gebruikt worden om de constructie te ontwerpen voor verbinding 1. Er zal in deze paragraaf een samenvatting gegeven worden van de maatgevende h.o.h.-afstanden van de toegepaste verbindingen.

Wand op vloer verbinding

De maatgevende sterkteberekening is die van de stuiksterkte van de schroeven ten gevolge van de trekbelasting. De staalplaten zijn aan beide zijde van de wand toegepast.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	700mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 55 - Benodigde h.o.h.-afstand t.b.v. verticale stuiksterkte schroeven

Vloer op wand verbinding

De treksterkte van de schroeven zijn maatgevend voor de plaatsing van de schroeven. In onderstaande tabel zijn de benodigde h.o.h. afstanden nogmaals opgenomen.

Wand-dikte	Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	200mm	110mm	VN					
	2x	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.					
160	1x	200mm	110mm	VN	VN				
	2x	450mm	250mm	200mm	110mm				
180	1x				VN				
	2x				110mm				
200	1x					VN			
	2x					110mm			
220	1x					VN			
	2x					110mm			
240	1x						VN		
	2x						VN		
260	1x						VN		
	2x						VN		
280	1x							VN	
	2x							VN	

300	1x							VN	
	2x							VN	
320	1x							VN	
	2x							VN	
340	1x								VN
	2x								VN

Tabel 56 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding t.b.v. trekbelasting

Er dient een wand toegepast te worden van 160mm dik zodat er twee rijen schroeven toegepast kunnen worden. Bij een wanddikte van 140mm voldoet deze namelijk niet aan de minimale schroefafstanden.

Conclusie

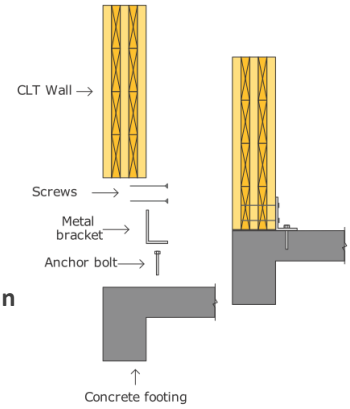
Op basis van de berekeningen van verbinding 1 kunnen er maximaal 8 bouwlagen toegepast worden. De stuiksterkte van de schroeven in de wand ter plaatse van de staalplaat is hierin maatgevend. Verder is er een minimale wanddikte nodig van 160mm om twee rijen schroeven toe te passen in de wand. De stalen platen dienen aan beide zijde van de wand geplaatst te worden.

B.8.3.2 Verbinding 2 – Wand op fundering

De verbinding dient getoetst te worden op:

- Druksterkte van de verbinding
- Treksterkte van de verbinding
- Afschuifsterkte van de verbinding

De belastingen die berekend zijn in paragraaf B.9.2 worden gebruikt voor de toetsing.



Figuur 14 - Wand - fundering verbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Sterkte verbinding

Druksterkte evenwijdig aan de houtvezel

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	mm
Net. Wanddikte	100	120	120	120	180	200	200	200	240	240	240	mm

Tabel 57 - Netto wanddikte per wanddikte

In onderstaande tabel is de maximaal toelaatbare belasting evenwijdig aan de houtvezel opgenomen. Deze belasting wordt verdeeld over de effectieve oppervlakte van het hout.

Wanddikte	140	160	180	200	220	240	mm
Krit. Last	1058	1415	1542	1615	2477	2782	kN/m

Tabel 58 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting per netto wanddoorsnede per meter

Wanddikte	260	280	300	320	340	mm
Krit. Last	2812	2843	3447	3484	4064	kN/m

Tabel 59 - Rekenwaarde maximaal toelaatbare belasting per netto wanddoorsnede per meter

De maximaal optredende belastingen vinden plaats bij punt 1 stramien 9. In onderstaande tabel is te zien dat de optredende drukbelastingen onder de maximale waarde blijven. De onderstaande waarde zijn omgerekend naar de bijbehorende netto wandoppervlakte die in tabel 57 zijn weergeven.

Wanddikte (mm)	Aantal bouwlagen								
	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	-223,5	-275,3	-334,4						kN/m
160				-402,5					kN/m
180				-406,2					kN/m
200					-480,4				kN/m
220					-484,3				kN/m
240						-566,5			kN/m
260						-570,8			kN/m
280							-663,5		kN/m
300							-668,2		kN/m
320							-672,8		kN/m
340								-769,7	kN/m

Tabel 60 - Rekenwaarde optredende drukbelasting op wand begane grondvloer

Sterkte verbinding op treksterkte en afschuiving

Variant staalplaatverbinding

De wand op begane grondvloer verbinding wordt uitgevoerd met een staalplaat met schroeven in de CLT-wand en betonbouten in de vloer. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de bouten in de betonvloer.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand.
- Stuiksterkte van de bouten in de vloer.



Figuur 15 - Stalenplaatverbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

TREKSTERKTE BETONBOUTEN

De treksterkte van de betonbouten is vastgesteld op basis van de gegevens die Rothoblaas heeft verstrekt. Deze waardes zijn:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{ax,rd,totaal}$	52	41	34	29	26	23	21	kN/m

Tabel 61 - Rekenwaarde op te nemen trekbelasting betonbouten per h.o.h.-afstand per meter

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{v,rd,totaal}$	68,1	54,5	45,4	38,9	34,1	30,3	27,2	kN/m

Tabel 62 – Maximaal op te nemen verticale schuifsterkte per h.o.h.-afstand per meter

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN LOODRECHT OP DE HOUTVEZELRICHTING

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{h,rd,totaal}$	104	83	70	60	52	46	42	kN/m

Tabel 63 – Maximaal op te nemen horizontale schuifsterkte per h.o.h.-afstand per meter

Variant stalen ankerplaat verbinding

Bij deze variant wordt de wand op begane grondvloer verbinding uitgevoerd met een stalen anker met schroeven in de CLT-wand en betonbouten in de vloer. De verbinding dient getoetst te worden op de volgende punten:

- Treksterkte van de bouten in de betonvloer.
- Stuiksterkte van de schroeven in de wand.

De verbinding zal geen horizontale schuifspanningen opnemen. De staalplaten van de vorige paragraaf zullen voor deze schuifbelasting gebruikt worden.



Figuur 16 - Stalenplaatankerverbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

TREKSTERKTE BETONBOUTEN

De treksterkte van de betonbouten is vastgesteld op basis van de gegevens die Rothoblaas heeft verstrekt. Deze waardes zijn:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	mm
$f_{ax,rd,totaal}$	126	101	84	72	63	56	50	kN/m

Tabel 64 - Rekenwaarde op te nemen trekbelasting betonbouten per h.o.h.-afstand per meter

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{v,rd,totaal}$	85,2	68,1	56,8	48,7	42,6	37,8	34,1	kN/m

Tabel 65 – Maximaal op te nemen verticale schuifsterkte per h.o.h.-afstand per meter

Toetsing verbinding op treksterkte en afschuiving

Staalplaatverbinding

Windrichting 1

OPTREDENDE BELASTINGEN



Figuur 17 - Stalenplaatverbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

TREKBELASTINGEN

Bij punt 3 stramien 2 treedt de maximale trekspanning op ter plaatse van de wand op de begane grondvloer in windrichting 1. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	16,92	35,58	61,6						kN/m
160				90,5					kN/m
180				87,8					kN/m
200					121,0				kN/m
220					118,1				kN/m
240						156,9			kN/m
260						153,7			kN/m
280							201,0		kN/m
300							197,5		kN/m
320							194,0		kN/m
340								242,8	kN/m

Tabel 66 - Rekenwaarde optredende trekbelastingen op de begane grondvloer per x aantal bouwlagen

HORIZONTALE BELASTINGEN

In onderstaande tabel is de totale windbelasting aangegeven die op de wand staat.

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	104,27	125,86	151,35	177,31	203,25	230,52	261,15	289,08	kN

Tabel 67 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien 2 heeft een lengte van 9,84 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	10,6	12,79	15,38	18,02	20,66	23,43	26,54	29,38	kN/m

Tabel 68 - Rekenwaarde van de horizontale schuifbelasting per meter

TREKSTERKTE BETONBOUTEN

De benodigde minimale h.o.h. afstand van de staalplaten die nodig is om de trekbelasting op te nemen is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	600mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 69 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbindingen op basis van de treksterkte van de betonbouten

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h. afstanden zijn als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	700mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 70 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbindingen op basis van de verticale stuiksterkte van de schroeven in de wand de belast worden door de trekbelasting

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN LOODRECHT OP DE HOUTVEZELRICHTING

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat.

Op basis van deze gegevens kan er per situatie bepaald worden welke h.o.h.-afstand nodig is om aan de eis van horizontale afschuiving te voldoen. De benodigde h.o.h.-afstand luidt als volgt:

	6	7	8	9	10	11	12	13
H.O.H.	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm

Tabel 71 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbindingen op basis van de horizontale schuifbelasting

CONCLUSIE

Uit bovenstaande toetsingen blijkt dat de treksterkte ter plaatse van de betonbouten in de begane grondvloer maatgevend is voor deze verbinding. Op dit moment is ervanuit gegaan dat er aan één zijde van de wand een staalplaat is toegepast. Wanneer er aan twee zijden van de wand een staalplaat wordt toegepast wordt de belasting over deze twee staalplaten verdeeld. De opneembare belasting wordt dan:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{ax,rd,totaal}$	124	99	82	71	62	55	49	kN/m

Tabel 72 - Maximaal op te nemen trekbelasting per h.o.h.-afstand per meter met twee verbindingsmiddelen

De toe te passen h.o.h. afstanden zijn in dat geval als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	800mm					
160				500mm				
180				500mm				
200					400mm			
220					400mm			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 73 - Toe te passen h.o.h.-afstand verbindingen

Windrichting 2

OPTREDENDE BELASTINGEN

TREKBELASTINGEN

Bij punt 4 stramien B/C treedt de maximale trekspanning op ter plaatse van de wand op de verdiepingsvloervloer in windrichting 2. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	74,3	110,5	153,7						kN/m
160				199,6					kN/m
180				197,5					kN/m
200					254,4				kN/m
220					251,9				kN/m
240						317,9			kN/m
260						315,1			kN/m
280							393,1		kN/m
300							390		kN/m
320							386,8		kN/m
340								469,4	kN/m

Tabel 74 - Rekenwaarde optredende trekbelasting op de begane grondvloer

HORIZONTALE BELASTINGEN

In onderstaande tabel is de totale windbelasting aangegeven die op de wand staat.

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	114,9	137,9	157,3	179,5	202,4	226,5	252,5	277,8	kN

Tabel 75 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien 2 heeft een lengte van 8,02 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	14,33	17,19	19,61	22,38	25,24	28,24	31,48	34,64	kN/m

Tabel 76 - Rekenwaarde van de horizontale schuifbelasting per meter

TREKSTERKTE BETONBOUTEN

De benodigde minimale h.o.h. afstand van de staalplaten die nodig is om de trekbelasting op te nemen is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	VN	VN	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 77 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbindingen op basis van treksterkte betonbouten

Waarbij VN = Voldoet niet.

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h. afstanden zijn als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	VN	VN	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 78 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbinding op basis van verticale stuiksterkte schroeven

Waarbij VN = Voldoet niet.

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN LOODRECHT OP DE HOUTVEZELRICHTING

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat.

Op basis van deze gegevens kan er per situatie bepaald worden welke h.o.h.-afstand nodig is om aan de eis van horizontale afschuiving te voldoen. De benodigde h.o.h.-afstand luidt als volgt:

	6	7	8	9	10	11	12	13
H.O.H.	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm

Tabel 79 - Benodigde h.o.h.-afstand verinding op basis van horizontale schuifbelasting

CONCLUSIE

Uit bovenstaande toetsingen blijkt dat de treksterkte ter plaatse van de betonbouten in de begane grondvloer maatgevend is voor deze verbinding. Op dit moment is ervanuit gegaan dat er aan één zijde van de wand een staalplaat is toegepast. Wanneer er aan twee zijden van de wand een staalplaat wordt toegepast wordt de belasting over deze twee staalplaten verdeeld. De opneembare belasting wordt dan:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{ax,rd,totaal}$	103	82	69	59	52	46	41	kN/m

Tabel 80 - Maximaal op te nemen trekbelasting per h.o.h.-afstand per meter met twee verbindingsmiddelen

De toe te passen h.o.h.-afstanden zijn in dat geval als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	500mm	VN	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 81 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding

Waarbij VN = voldoet niet.

Stalen plaatanker

Windrichting 1

OPTREDENDE BELASTINGEN

TREKBELASTINGEN



Figuur 18 - Stalenplaatverbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

Bij punt 3 stramien 2 treedt de maximale trekspanning op ter plaatse van de wand op de verdiepingsvloervloer in windrichting 1. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	16,92	35,58	61,6						kN/m
160				90,5					kN/m
180				87,8					kN/m
200					121,0				kN/m
220					118,1				kN/m
240						156,9			kN/m
260						153,7			kN/m
280							201,0		kN/m
300							197,5		kN/m
320							194,0		kN/m
340								242,8	kN/m

Tabel 82 - Rekenwaarde optredende trekbelasting begange grond

TREKSTERKTE BETONBOUTEN

De benodigde minimale h.o.h. afstand van de staalplaten die nodig is om de trekbelasting op te nemen is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	500mm					
160				VN				
180				400mm				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 83 - Benodigde h.o.h.-afstand op basis van treksterkte betonbouten

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h. afstanden zijn als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	900mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 84 - Benodigde h.o.h.-afstand op basis van verticale stuiksterkte schroeven

Conclusie

Uit bovenstaande toetsingen blijkt dat de stuiksterkte ter plaatse van de schroeven in de wand maatgevend is voor deze verbinding. Op dit moment is ervanuit gegaan dat er aan één zijde van de wand een staalplaat is toegepast. Wanneer er aan twee zijden van de wand een staalplaat wordt toegepast wordt de belasting over deze twee staalplaten verdeeld. De opneembare belasting wordt dan:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{ax,rd,totaal}$	170,4	136,2	113,6	97,4	85,2	75,6	68,2	kN/m

Tabel 85 - Maximaal op te nemen trekbelasting per h.o.h.-afstand per meter met twee verbindingsmiddelen

De toe te passen h.o.h. afstanden zijn in dat geval als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	1000mm					
160				700mm				
180				700mm				
200					500mm			
220					500mm			
240						400mm		
260						400mm		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 86 - Benodigde h.o.h.-afstand verbindingen

Windrichting 2

OPTREDENDE BELASTINGEN

TREKBELASTINGEN

Bij punt 4 stramien B/C treedt de maximale trekspanning op ter plaatse van de wand op de verdiepingsvloervloer in windrichting 2. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	74,3	110,5	153,7						kN/m
160				199,6					kN/m
180				197,5					kN/m
200					254,4				kN/m
220					251,9				kN/m
240						317,9			kN/m
260						315,1			kN/m
280							393,1		kN/m
300							390		kN/m
320							386,8		kN/m
340								469,4	kN/m

Tabel 87 - Rekenwaarde optredende trekbelasting begane grond

TREKSTERKTE BETONBOUTEN

De benodigde minimale h.o.h. afstand van de staalplaten die nodig is om de trekbelasting op te nemen is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	400mm	VN	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 88 - Benodigde h.o.h.-afstand op basis van treksterkte betonbouten

Waarbij VN = Voldoet niet.

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

Verder zullen de schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h. afstanden zijn als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	400mm	VN	VN					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 89 - Benodigde h.o.h.-afstand op basis van verticale stuiksterkte schroeven

Waarbij VN = Voldoet niet.

Conclusie

Uit bovenstaande toetsingen blijkt dat de afschuifsterkte ter plaatse van de schroeven in de wand maatgevend is voor deze verbinding. Op dit moment is ervanuit gegaan dat er aan één zijde van de wand een staalplaat is toegepast. Wanneer er aan twee zijden van de wand een staalplaat wordt toegepast wordt de belasting over deze twee staalplaten verdeeld. De opneembare belasting wordt dan:

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{ax,rd,totaal}$	170,4	136,2	113,6	97,4	85,2	75,6	68,2	kN/m

Tabel 90 - Maximaal op te nemen trekbelasting per h.o.h.-afstand per meter met twee verbindingsmiddelen

De toe te passen h.o.h.-afstanden zijn in dat geval als volgt:

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	900mm	600mm	400mm					
160				VN				
180				VN				
200					VN			
220					VN			
240						VN		
260						VN		
280							VN	
300							VN	
320							VN	
340								VN

Tabel 91 - Benodigde h.o.h.-afstand verbinding

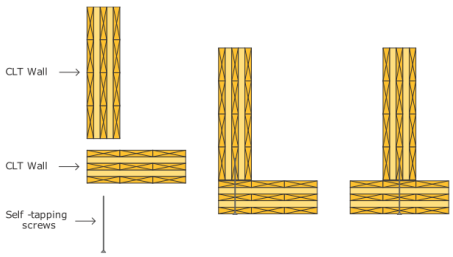
Eindconclusie

De verbinding in windrichting 2 is maatgevend. In deze windrichting zijn de optredende trekbelastingen het grootst. De verbinding met de stalen plaatankers kan de meeste trekkrachten opnemen en daardoor kan er hoger mee gebouwd worden.

Er zal een combinatie gebruikt worden van de stalen plaatankers en de staalplaten. Aan de randen van de wand, waar de grootste trekkrachten plaatsvinden, zullen de stalen ankers toegepast worden. Daar tussenin zullen de staalplaten toegepast worden. De stalen plaatankers zullen daardoor de grootste trekkrachten opnemen en de stalen plaatjes zullen kleinere trekkrachten opnemen en de horizontale afschuiving.

B.8.3.3 Verbinding 3 – Wandkoppeling horizontaal Stramien C7

In de verbinding zullen horizontale schuifspanningen opgenomen moeten worden ten gevolge van de windbelasting. De verbinding ter plaatse van stramien C7 zal berekend worden omdat hier de grootste krachten zullen plaatsvinden in dit type verbinding.



Figuur 19 - Horizontale wandkoppeling. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Optredende horizontale belastingen

In onderstaande tabel is de totale windbelasting aangegeven die op de wand van 8,02 meter staat.

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	113	136	154,80	176,55	199,17	222,84	248,47	273,35	kN

Tabel 92 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien B/C heeft een hoogte van 2,95 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	38,31	46,10	52,47	59,85	67,52	75,54	84,23	92,66	kN/m

Tabel 93 - Horizontale schuifbelasting per meter

Sterkte verbinding

De schroeven in de verbinding zullen getoetst worden op stuiksterkte van het hout en de sterkte van de schroef. De schuifsterkte van de verbinding met de verschillende wanddiktes en h.o.h.-afstanden is als volgt:

	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
140	144,22	72,11	48,07	36,06	28,84	24,04	20,60	18,03	16,02	14,42	kN/m
160	152,27	76,14	50,76	38,07	30,45	25,38	21,75	19,03	16,92	15,23	kN/m
180	149,85	74,92	49,95	37,46	29,97	24,97	21,41	18,73	16,65	14,98	kN/m
200	145,25	72,63	48,42	36,31	29,05	24,21	20,75	18,16	16,14	14,53	kN/m
220	140,62	70,31	46,87	35,16	28,12	23,44	20,09	17,58	15,62	14,06	kN/m
240	135,95	67,98	45,32	33,99	27,19	22,66	19,42	16,99	15,11	13,60	kN/m
260	131,23	65,62	43,74	32,81	26,25	21,87	18,75	16,40	14,58	13,12	kN/m
280	126,47	63,23	42,16	31,62	25,29	21,08	18,07	15,81	14,05	12,65	kN/m
300	119,03	59,51	39,68	29,76	23,81	19,84	17,00	14,88	13,23	11,90	kN/m
320	107,16	53,58	35,72	26,79	21,43	17,86	15,31	13,39	11,91	10,72	kN/m
340	95,75	47,87	31,92	23,94	19,15	15,96	13,68	11,97	10,64	9,57	kN/m

Tabel 94 – Maximaal toelaatbare schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Toetsing verbinding op afschuiving

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	150mm	150mm	100mm					
160				100mm				
180				100mm				
200					100mm			
220					100mm			
240						50mm		
260						50mm		
280							50mm	
300							50mm	
320							50mm	
340								50mm

Tabel 95 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbinding per wanddikte per x aantal bouwlagen

B.8.3.4 Verbinding 4 – Wandkoppeling verticaal stramien 1 tussen B/C

Deze verbinding wordt gebruikt om de wanden aan elkaar te koppelen. Door de wanden aan elkaar te koppelen zal de koppeling die in de wand plaatsvindt een grotere arm krijgen. Dit heeft een positief effect op verdeling van de spanningen. Om dat voor elkaar te krijgen dienen de wanden als één geheel te werken. In de verbinding zullen horizontale schuifspanningen opgenomen moeten worden en de dwarskracht die zal ontstaan door de windbelasting. De verbinding dient getoetst te worden op:

- Horizontale schuifsterkte van de verbinding
- Verticale schuifsterkte van de verbinding

Er zullen een drietal verbindingen nader onderzocht worden. Deze verbindingen worden veel toegepast in deze situatie.

De volgende verbindingen worden nader bekeken:

- Toepassen van multiplex platen aan twee zijden
- Toepassen van multiplex plaat aan de binnenzijde
- Tandverbinding

De verbinding zal op stramien 1 tussen punt B/C worden getoetst.

Optredende belastingen

De belastingen zijn afkomstig van paragraaf B.8.2.5.

De horizontale schuifkracht die uit de wind voorkomt is als volgt:

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	52,74	63,66	76,55	89,68	102,80	116,59	132,08	146,21	kN

Tabel 96 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand heeft een hoogte van 2,95 meter en de horizontale schuifkracht per meter wordt dan:

Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	17,88	21,58	25,95	30,40	34,85	39,52	44,77	49,56	kN/m

Tabel 97 - Rekenwaarde horizontale schuifbelasting per meter

De verticale schuifkracht die in verbinding 4 plaatsvindt is als volgt:

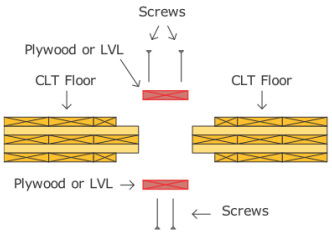
Aantal bouwlagen	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Verticale schuifkracht	21,9	30,8	42	56	71	89	110	131	kN/m

Tabel 98 - Rekenwaarde verticale schuifbelasting per meter

Tweezijdig multiplex

Sterkte verbinding

De capaciteit van de verbinding op afschuiving is als volgt:



Figuur 20 – Tweezijdige multiplexplaat. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

H.O.H.	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	Eenheid
1x2	66,32	33,16	22,11	16,58	13,26	11,05	9,47	8,29	7,37	6,63	kN/m
2x2	132,63	66,32	44,21	33,16	26,53	22,11	18,95	16,58	14,74	13,26	kN/m

Tabel 99 – Maximaal toelaatbare schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Toetsing verbinding

HORIZONTALE AFSCHUIVING

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven op basis van de horizontale afschuiving is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
1x2	150mm	150mm	100mm	100mm	50mm	50mm	50mm	50mm
2x2	350mm	300mm	250mm	200mm	150mm	150mm	100mm	100mm

Tabel 100 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbinding

VERTICALE AFSCHUIVING

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven op basis van de verticale afschuiving is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
1x2	150mm	100mm	50mm	50mm	VN	VN	VN	VN
2x2	300mm	200mm	150mm	100mm	50mm	50mm	50mm	50mm

Tabel 101 - Benodigde h.o.h.-afstand van de verbinding per x aantal bouwlagen

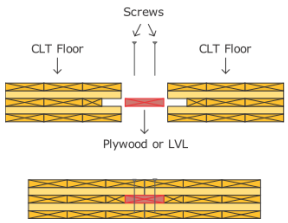
Waarbij VN = voldoet niet.

Interne multiplexplaat

Sterkte verbinding

De capaciteit van de verbinding is als volgt:

Op te nemen afschuifbelasting per meter bij $F_{rd} = 1{,}91$ kN. (Wanddikte 140/240/340).



Figuur 21 – Interne multiplexplaat. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
2x1	76,47	38,23	25,49	19,12	15,29	12,74	10,92	9,56	8,50	7,65	kN/m
2x2	152,94	76,47	50,98	38,23	30,59	25,49	21,85	19,12	16,99	15,29	kN/m

Tabel 102 – Maximaal toelaatbare schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Op te nemen afschuifbelasting per meter bij $F_{rd} = 2{,}69$ kN. (Overige wanddiktes).

	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
1x	107,71	53,86	35,90	26,93	21,54	17,95	15,39	13,46	11,97	10,77	kN/m
2x	215,43	107,71	71,81	53,86	43,09	35,90	30,78	26,93	23,94	21,54	kN/m

Tabel 103 – Maximaal toelaatbare schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Toetsing verbinding

Horizontale afschuiving

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven op basis van de horizontale afschuiving is in onderstaande tabel opgenomen.

Bij $F_{rd} = 1{,}91$ kN. (Wanddikte 140/240/340):

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
1x2	200mm	150mm	100mm	100mm	100mm	50mm	50mm	50mm
2x2	400mm	350mm	250mm	250mm	200mm	150mm	150mm	150mm

Tabel 104 - Benodigde h.o.h.-afstand per x aantal bouwlagen t.b.v. horizontale schuifbelasting

Bij $F_{rd} = 2{,}69$ kN. (Wanddikte overig):

Wanddikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
1x2	300mm	200mm	150mm	150mm	150mm	100mm	100mm	100mm
2x2	500mm	450mm	400mm	350mm	300mm	250mm	200mm	200mm

Tabel 105 - Benodigde h.o.h.-afstand per x aantal bouwlagen t.b.v. horizontale schuifbelasting

Verticale afschuiving

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven op basis van de verticale afschuiving is in onderstaande tabel opgenomen.

Bij $F_{rd} = 1{,}91$ kN. (Wanddikte 140/240/340):

Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
	6	7	8	9	10	11	12	13
1x	150mm	100mm	50mm	50mm	50mm	VN	VN	VN
2x	300mm	200mm	150mm	100mm	100mm	50mm	50mm	50mm

Tabel 106 - Benodigde h.o.h.-afstand per x aantal bouwlagen t.b.v. verticale schuifbelasting

Bij $F_{rd} = 2{,}69$ kN. (Wanddikte overig):

Rijen schroeven	Aantal bouwlagen							
	6	7	8	9	10	11	12	13
1x	200mm	150mm	100mm	50mm	50mm	50mm	VN	VN
2x	450mm	300mm	250mm	150mm	150mm	100mm	50mm	50mm

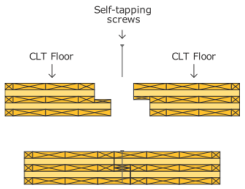
Tabel 107 - Benodigde h.o.h.-afstand per x aantal bouwlagen t.b.v. verticale schuifbelasting

Waarbij VN = voldoet niet.

Tandverbinding

Sterkte verbinding

De stuiksterkte van de verbinding met de verschillende h.o.h.-afstanden en verschillende wanddiktes is als volgt:



Figuur 22 - Tandverbinding. Overgenomen van *CLT Handbook* (Gagnon, & Pirvu, 2011).

Wand-dikte	H.O.H-afstand											
	Rijen	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	mm
140	1x	60,37	30,19	20,12	15,09	12,07	10,06	8,62	7,55	6,71	6,04	kN/m
	2x	120,74	60,37	40,25	30,19	24,15	20,12	17,25	15,09	13,42	12,07	kN/m
160	1x	101,73	50,86	33,91	25,43	20,35	16,95	14,53	12,72	11,30	10,17	kN/m
	2x	203,46	101,73	67,82	50,86	40,69	33,91	29,07	25,43	22,61	20,35	kN/m
180	1x	93,80	46,90	31,27	23,45	18,76	15,63	13,40	11,72	10,42	9,38	kN/m
	2x	187,59	93,80	62,53	46,90	37,52	31,27	26,80	23,45	20,84	18,76	kN/m
200	1x	86,55	43,27	28,85	21,64	17,31	14,42	12,36	10,82	9,62	8,65	kN/m
	2x	173,10	86,55	57,70	43,27	34,62	28,85	24,73	21,64	19,23	17,31	kN/m
220	1x	80,23	40,11	26,74	20,06	16,05	13,37	11,46	10,03	8,91	8,02	kN/m
	2x	160,46	80,23	53,49	40,11	32,09	26,74	22,92	20,06	17,83	16,05	kN/m
240	1x	60,37	30,19	20,12	15,09	12,07	10,06	8,62	7,55	6,71	6,04	kN/m
	2x	120,74	60,37	40,25	30,19	24,15	20,12	17,25	15,09	13,42	12,07	kN/m
260	1x	101,73	50,86	33,91	25,43	20,35	16,95	14,53	12,72	11,30	10,17	kN/m
	2x	203,46	101,73	67,82	50,86	40,69	33,91	29,07	25,43	22,61	20,35	kN/m
280	1x	93,80	46,90	31,27	23,45	18,76	15,63	13,40	11,72	10,42	9,38	kN/m
	2x	187,59	93,80	62,53	46,90	37,52	31,27	26,80	23,45	20,84	18,76	kN/m
300	1x	86,55	43,27	28,85	21,64	17,31	14,42	12,36	10,82	9,62	8,65	kN/m
	2x	173,10	86,55	57,70	43,27	34,62	28,85	24,73	21,64	19,23	17,31	kN/m
320	1x	80,23	40,11	26,74	20,06	16,05	13,37	11,46	10,03	8,91	8,02	kN/m
	2x	160,46	80,23	53,49	40,11	32,09	26,74	22,92	20,06	17,83	16,05	kN/m
340	1x	60,37	30,19	20,12	15,09	12,07	10,06	8,62	7,55	6,71	6,04	kN/m
	2x	120,74	60,37	40,25	30,19	24,15	20,12	17,25	15,09	13,42	12,07	kN/m

Tabel 108 – Maximaal toelaatbare schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Toetsing verbinding

HORIZONTALE AFSCHUIVING

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven op basis van de horizontale schuifkracht van de windbelasting is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte		Aantal bouwlagen							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	150mm	100mm	100mm					
	2x	300mm	250mm	200mm					
160	1x				150mm				
	2x				300mm				
180	1x				150mm				
	2x				300mm				
200	1x					100mm			
	2x					250mm			
220	1x					100mm			
	2x					200mm			
240	1x						50mm		
	2x						150mm		
260	1x						100mm		
	2x						250mm		
280	1x							100mm	
	2x							200mm	
300	1x							50mm	
	2x							150mm	
320	1x							50mm	
	2x							150mm	
340	1x								50mm
	2x								100mm

Tabel 109 – Benodigde h.o.h.-afstand verbinding per x aantal bouwlagen t.b.v. horizontale schuifbelasting

VERTICALE AFSCHUIVING

De benodigde h.o.h.-afstand van de schroeven op basis van de verticale schuifkracht van de windbelasting is in onderstaande tabel opgenomen.

Wanddikte		**Aantal bouwlagen**							
(mm)		6	7	8	9	10	11	12	13
140	1x	100mm	50mm	50mm					
	2x	250mm	150mm	100mm					
160	1x				50mm				
	2x				150mm				
180	1x				50mm				
	2x				150mm				
200	1x					50mm			
	2x					10mm			
220	1x					50mm			
	2x					100mm			
240	1x						VN		
	2x						50mm		
260	1x						50mm		
	2x						100mm		
280	1x							VN	
	2x							50mm	
300	1x							VN	
	2x							50mm	
320	1x							VN	
	2x							50mm	
340	1x								VN
	2x								VN

Tabel 110 – Benodigde h.o.h.-afstand verbinding per x aantal bouwlagen t.b.v. verticale schuifbelasting

Waarbij VN = voldoet niet.

CONCLUSIE

Daar waar de wand niet voldoet kan er gecontroleerd worden of er langere schroeven gebruikt kunnen worden. Op die manier is de kans groter dat de verbinding wel voldoet.

De verticale afschuiving is bij deze verbinding maatgevend.

B.8.3.5 Verbinding 5 –wandkoppeling t.p.v. wanddeling stramien C6

Sterkte verbinding

De schroeven in de verbinding zullen getoetst worden op stuiksterkte van het hout en de sterkte van de schroef. De sterkte van de verbinding met de verschillende wanddiktes en h.o.h.-afstanden is als volgt:

Wanddikte	H.O.H.		
	250	500	mm
140-200	6,16	3,08	kN/m
220-300+340	8,99	4,50	kN/m
320	9,76	4,88	kN/m

Tabel 111 – Maximaal toelaatbare schuifbelasting per h.o.h.-afstand per meter

Optredende horizontale belastingen

In onderstaande tabel is de totale windbelasting aangegeven die op de wand van 1 meter staat.

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	0,23	0,27	0,3	0,34	0,38	0,42	0,46	0,5	kN

Tabel 112 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien B/C heeft een hoogte van 2,95 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	0,08	0,09	0,1	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	kN/m

Tabel 113 - Rekenwaarde horizontale schuifbelasting per meter

Toetsing

In elk geval kan er een h.o.h.-afstand van 500mm toegepast worden. Zoals eerder gezegd zijn de krachten in deze verbinding erg klein.

B.8.3.6 Verbinding 6 – Wand op blokje hout

Verbinding 6 zal getoetst worden op de optredende trekbelasting. Ter plaatse van deze verbinding dient een andere staalplaat toegepast te worden omdat daar geen vloer aanwezig is.

De verbinding zal worden getoetst worden op de volgende punten:

- Stuiksterkte van de schroeven in de wanden.



Figuur 23 - Wand - wand verbinding. Overgenomen van *Wood connectors and timber plates* (Rothoblaas, 2015).

Sterkte verbindingen

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN EVENWIJDIG AAN DE HOUTVEZELRICHTING

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{v,rd,totaal}$	170,3	136,2	113,5	97,3	85,2	75,7	68,1	kN/m

Tabel 114 - Maximaal op te nemen verticale schuifbelasting per meter

AFSCHUIFSTERKTE SCHROEVEN LOODRECHT OP DE HOUTVEZELRICHTING

H.O.H.	400	500	600	700	800	900	1000	
$f_{v,rd,totaal}$	260,7	208,6	173,8	149,0	130,4	115,9	104,3	kN/m

Tabel 115 - Maximaal op te nemen horizontale schuifbelasting per meter

Optredende belastingen

TREKBELASTINGEN

Bij punt 2 stramien 1 treedt de maximale trekspanning op bij de wand zonder vloer. In onderstaande tabel is nogmaals opgenomen wat de trekbelasting per meter bedraagt op de 1e verdiepingsvloer.

Wanddikte	Aantal bouwlagen								
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	
140	2,53	9,97	20,8						kN/m
160				32,0					kN/m
180				29,7					kN/m
200					42,6				kN/m
220					40,0				kN/m
240						55,2			kN/m
260						52,3			kN/m
280							71,14		kN/m
300							67,93		kN/m
320							64,71		kN/m
340								83,96	kN/m

Tabel 116 - Rekenwaarde optredende trekbelasting

HORIZONTALE BELASTINGEN

In onderstaande tabel is de totale windbelasting aangegeven die op de wand staat.

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Tot. Windlast	13,68	16,51	19,86	23,26	26,67	30,24	34,26	37,93	kN

Tabel 117 - Rekenwaarde van de totale horizontale schuifbelasting op de wand

De wand van stramien 1 heeft een lengte van 5 meter. Dit betekent dat de afschuiving per meter als volgt luidt:

	6	7	8	9	10	11	12	13	Eenheid
Afschuiving p/m	2,74	3,3	4,0	4,7	5,3	6,0	6,9	7,6	kN/m

Tabel 118 - Rekenwaarde horizontale schuifbelasting per meter

Afschuifsterkte schroeven evenwijdig aan de houtvezelrichting

De schroeven in de wand getoetst te worden op stuiksterkte naar aanleiding van de trekbelasting. Deze zullen getoetst worden voor schroeven die evenwijdig aan de houtvezelrichting zijn aangebracht. De toe te passen h.o.h. afstanden zijn als volgt:

Wand-dikte	Aantal bouwlagen							
(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13
140	1000mm	1000mm	1000mm					
160				1000mm				
180				1000mm				
200					1000mm			
220					1000mm			
240						1000mm		
260						1000mm		
280							900mm	
300							1000mm	
320							1000mm	
340								800mm

Tabel 119 - Benodigde h.o.h.-afstand op basis van verticale stuiksterkte

Afschuifsterkte schroeven loodrecht op de houtvezelrichting

De afschuiving die de verbinding op dient te nemen komt voort uit de windbelasting die op de wand staat.

Op basis van deze gegevens kan er per situatie bepaald worden welke h.o.h.-afstand nodig is om aan de eis van horizontale afschuiving te voldoen. De benodigde h.o.h.-afstand luidt als volgt:

	6	7	8	9	10	11	12	13
H.O.H.	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm	1000mm

Tabel 120 - Benodigde h.o.h.-afstand op basis van verticale stuiksterkte

Conclusie

De verbinding voldoet ruimschoots.

Bijlage B.9 – Ontwerpvarianten verbinding 2[15]

De stalenplaatankers zijn erop ontworpen om alleen trekkrachten op te nemen. Om de horizontale schuifkrachten op te nemen zullen er in ieder geval ook staalplaten toegepast moeten worden. Er is voor gekozen om een combinatie te gebruiken van de staalplaten en de stalenplaatankers. De stalenplaatankers worden aan de rand van de stabiliteitswand geplaatst zodat deze de grootste trekkrachten op kunnen nemen. Daartussen zullen de staalplaten geplaatst worden. Er zullen vier varianten ontworpen worden waarbij bij variant 1 er een enkele stalen plaatanker aan de randen van de wand wordt geplaatst met daartussen staalplaten en bij variant 2 worden er 2 stalenplaatankers geplaatst aan de randen van de wand met daartussen staalplaten. Variant 3 bestaat uit 3 stalenplaatankers aan de randen met daartussen staalplaten en variant 4 zal uit 4 stalenplaatankers bestaan met stalen platen. Er wordt gerekend met de belastingen van 8 bouwlagen.

Het benodigde aantal staalplaten in deze wand wordt bepaald met behulp van de sterkte van de verbinding en de optredende horizontale schuifspanning. In bijlage B.7.3 is de maximaal opneembare horizontale schuifkracht per staalplaat bepaald, namelijk:

$f_{h,rd} = 41{,}7\ kN$

De rekenwaarde van de horizontale schuifbelasting door de wind op de wand bedraagt 157 kN bij 8 bouwlagen (zoals in bijlage B.5 is bepaald).

De maximaal toelaatbare trekbelasting van de verbindingen bedragen:

$f_{t,rd,staalplaat} = 20{,}6\ kN$

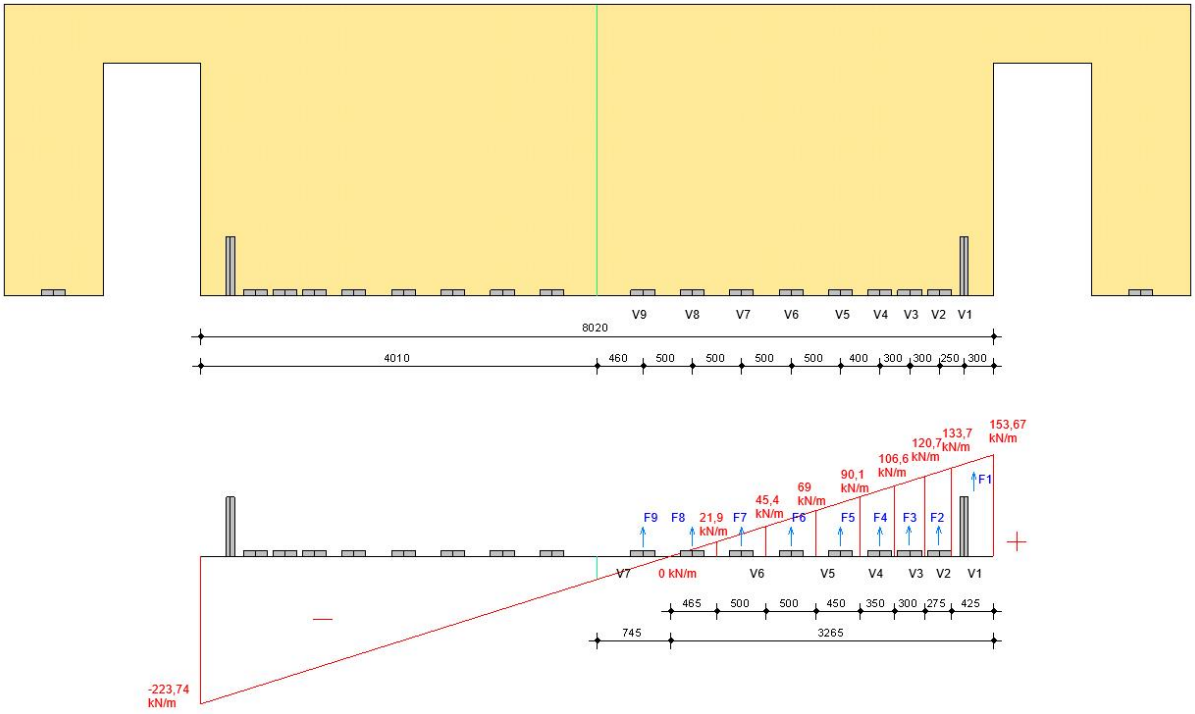
$f_{v,rd,stalenplaatanker} = 34{,}06\ kN$

Bij de variant wordt één helft van de wand aanschouwd. De verbindingen dienen gespiegeld te worden omdat de belasting van twee kanten kan komen.

[15] Competentie onderzoekend

B.9.1 Variant 1

Bij variant 1 wordt er per wandzijde één stalenplaatanker gebruikt in de hoek van de wand (V1) en 8 staalplaten (V2-V9) tot het midden van de wand.



Figuur 1 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling wand-begane grond variant 1

In het ontwerp zijn er op de gehele wand 32 (2x16) staalplaten aanwezig die de horizontale schuifkrachten op kunnen nemen. De horizontale belasting per staalplaat wordt:

$$F_{h,st.} = \frac{157}{32} = 4{,}90\ kN$$

De trekbelasting die op het anker werkt wordt als volgt berekend:

$$F1, totaal = 0{,}425 * 133{,}7 + 0{,}425 * \frac{153{,}67 - 133{,}7}{2} = 61{,}06\ kN$$

De verbindingen worden aan twee zijdes van de wand geplaatst. Per verbinding is de belasting:

$$F1, st. = \frac{61{,}06}{2} = 30{,}53\ kN$$

De verbinding dient te voldoen aan de volgende eis:

$$U.C. = \frac{30{,}53}{34{,}06} = 0{,}90 < 1$$

De belasting die op de staalplaat werkt wordt als volgt berekend:

$$F2, totaal = 0{,}275 * 120{,}7 + 0{,}275 * \frac{133{,}7 - 120{,}7}{2} = 34{,}98\ kN$$

De verbindingen worden aan twee zijdes van de wand geplaatst. Per verbinding is de belasting:

$$F2, st. = \frac{34{,}98}{2} = 17{,}49\ kN$$

De verbinding dient te voldoen aan de volgende eis:

$$U.C. = \frac{F_{v,st.}}{f_{v,rd}} + \frac{F_{h,st.}}{f_{h,rd}} < 1$$

$$U.C. = \frac{17{,}49}{20{,}6} + \frac{4{,}90}{41{,}7} = 0{,}967 < 1$$

Alle uitkomsten zijn in onderstaande tabel weergeven:

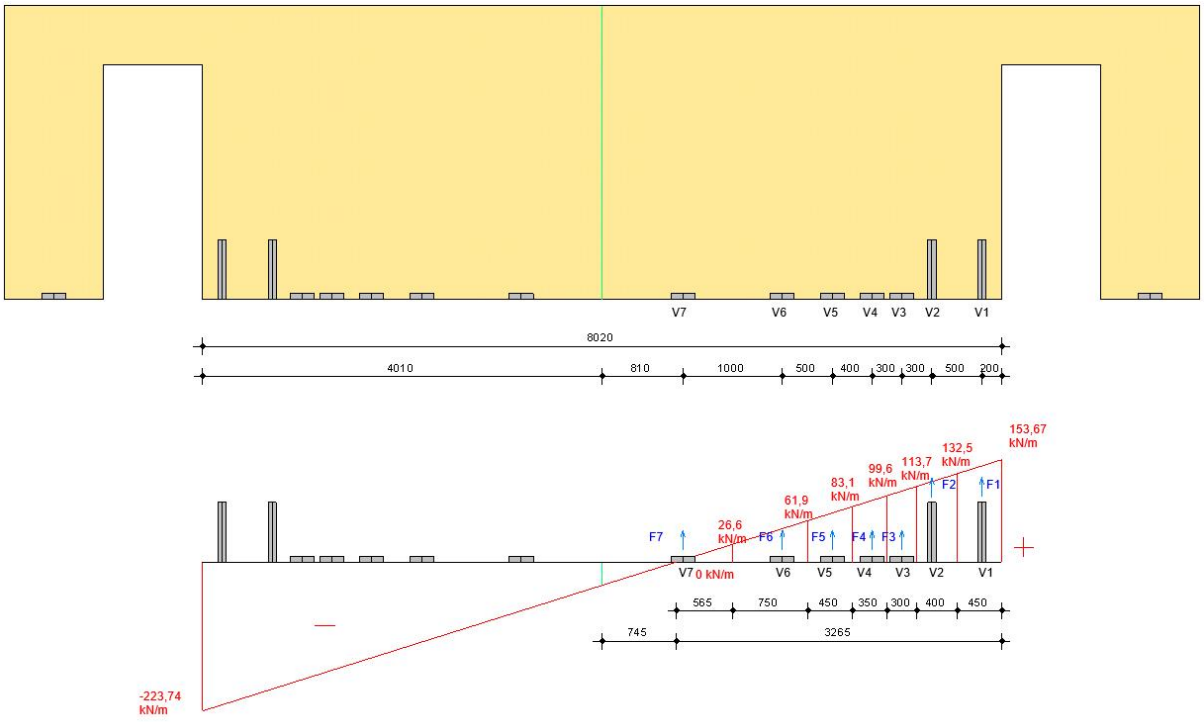
V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ftot	61,06	34,98	34,10	34,43	35,80	28,60	16,83	5,06	0,03	kN
F/st	30,53	17,49	17,05	17,22	17,90	14,30	8,42	2,53	0,01	kN
U.C.	0,896	0,967	0,945	0,953	0,986	0,812	0,526	0,241	0,118	< 1

Tabel 1 - Optredende trekbelasting per verbinding en Unity Check

Doordat de h.o.h.-afstanden van de verbindingen verschillend zijn, zijn de uitkomsten van de U.C erg verschillend van elkaar.

B.9.2 Variant 2

Bij variant 2 worden er per wandzijde 2 stalen plaatankers toegepast in de hoeken van de wand (V1+V2) en 5 staalplaten tot het midden van de wand (V3-V7).



Figuur 2 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling wand-begane grond variant 2

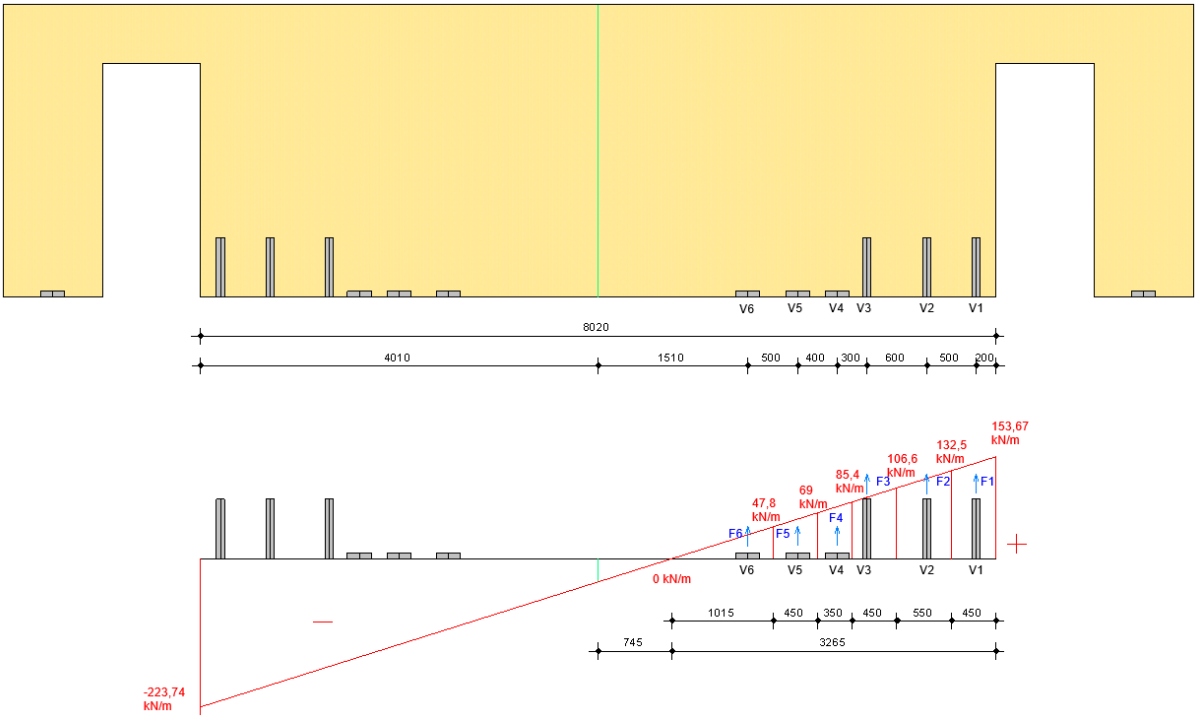
In het ontwerp zijn er 20 (2x10) staalplaten aanwezig die de horizontale schuifkrachten op kunnen nemen. Er zijn voldoende staalplaten aanwezig in de wand om de horizontale schuifkracht op te nemen. De trekbelasting op de verbindingen is in onderstaande tabel weergeven.

V	1	2	3	4	5	6	7	
Ftot	64,39	49,23	31,98	31,96	32,62	33,20	7,53	kN
F/st	32,19	24,62	15,99	15,98	16,31	16,60	3,76	kN
U.C.	0,95	0,72	0,96	0,96	0,98	0,99	0,37	< 1

Tabel 2 - Optredende trekbelasting per verbinding en Unity Check

B.9.3 Variant 3

Bij variant 3 worden er per wandzijde 3 stalen plaatankers toegepast in de hoeken van de wand (V1-V3) en 3 staalplaten tot het midden van de wand (V4-V6).



Figuur 3 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling wand-begane grond variant 3

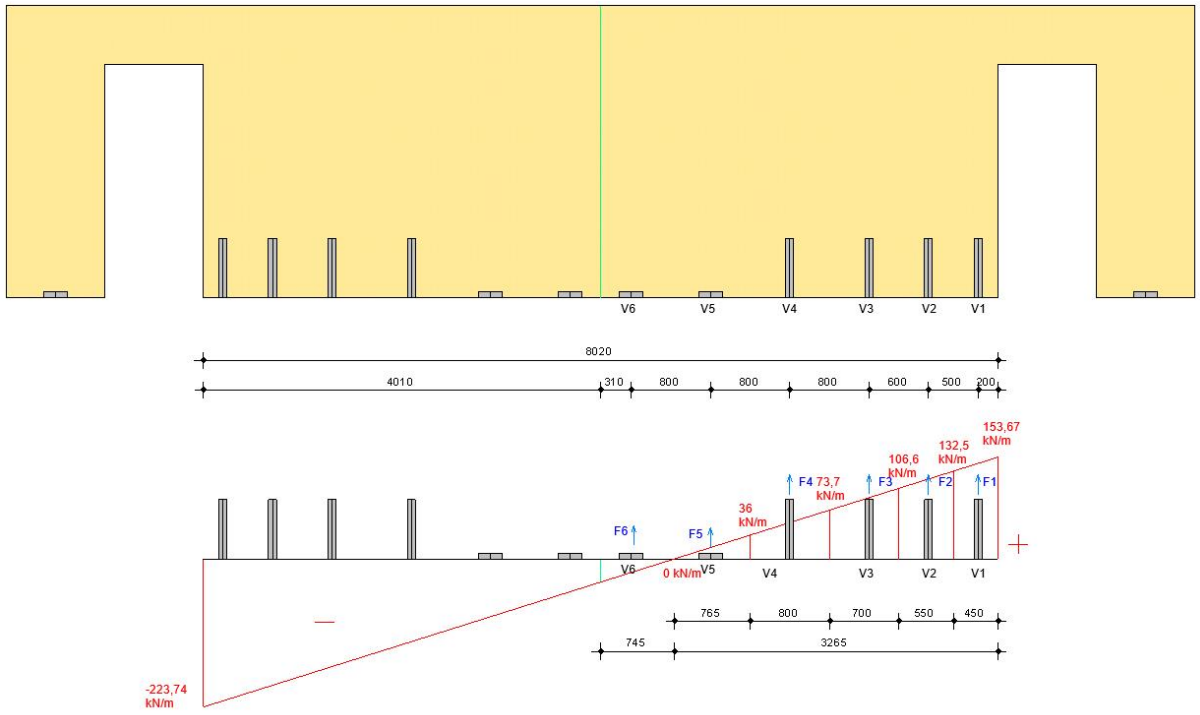
In het ontwerp zijn er 12 (2x6) staalplaten aanwezig die de horizontale schuifkrachten op kunnen nemen. Er zijn voldoende staalplaten aanwezig in de wand om de horizontale schuifkracht op te nemen. De trekbelasting op de verbindingen is in onderstaande tabel weergeven.

V	1	2	3	4	5	6	
Ftot	64,39	65,75	43,21	27,02	26,27	24,27	kN
F/st	32,19	32,88	21,61	13,51	13,14	12,13	kN
U.C.	0,95	0,97	0,63	0,97	0,95	0,90	< 1

Tabel 3 - Optredende trekbelasting per verbinding en Unity Check

B.9.4 Variant 4

Bij variant 4 worden er per wandzijde 4 stalen plaatankers toegepast in de hoeken van de wand (V1-V4) en 2 staalplaten tot het midden van de wand (V5+V6).



Figuur 4 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling wand-begane grond variant 4

In het ontwerp zijn er 8 (4x2) staalplaten aanwezig die de horizontale schuifkrachten op kunnen nemen. Er zijn voldoende staalplaten aanwezig in de wand om de horizontale schuifkracht op te nemen.

De trekbelasting op de verbindingen is in onderstaande tabel weergeven.

V	1	2	3	4	5	6	
Ftot	64,39	65,75	63,10	43,87	13,78	0,00	kN
F/st	32,19	32,88	31,55	21,94	6,89	0,00	kN
U.C.	0,95	0,97	0,93	0,64	0,81	0,47	< 1

Tabel 4 - Optredende trekbelasting per verbinding en Unity Check

B.9.5 Conclusie

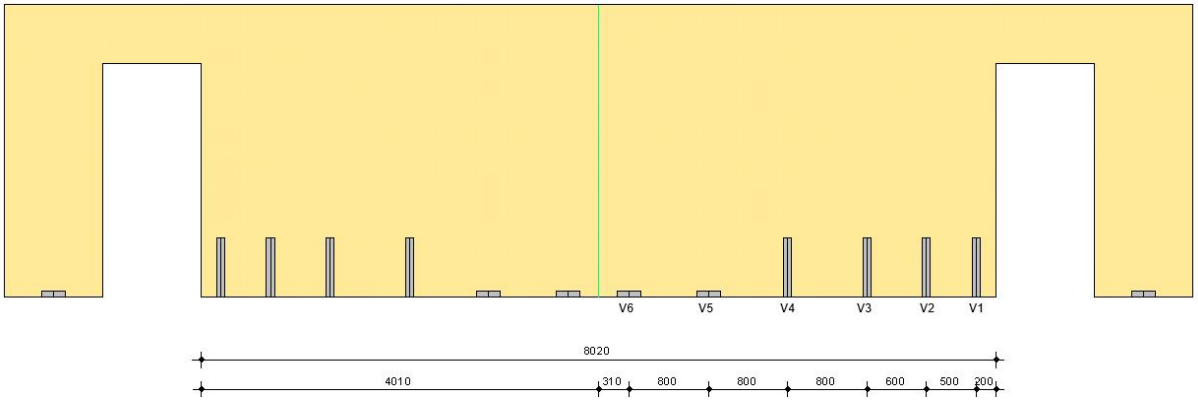
In tabel 5 wordt weergeven hoeveel verbindingen er per variant nodig zijn om de stabiliteit van de wand te waarborgen:

Variant	Verbinding type 1 (stalenplaatanker)	Verbinding type 2 (stalen plaat)	Totaal
1	4	32	36
2	8	20	28
3	12	12	24
4	16	8	24

Tabel 5 - Aantal benodigde verbindingsmiddelen

Er wordt voor variant 4 gekozen omdat er bij deze variant minder verbindingsmiddelen nodig zijn dan bij variant 1 en 2. Op die manier zijn er minder handelingen nodig op de bouw om de CLT-elementen aan elkaar te koppelen. In vergelijking met variant 3 zijn de verbindingsmiddelen beter verspreidt over de wand en worden de verbindingen beter belast op waar ze sterk in zijn.

In onderstaande figuur is te zien op welke locatie de staalplaten en stalenplaatankers geplaatst kunnen worden op de begane grondvloer zodat de horizontale schuifspanningen en trekbelasting opgenomen kan worden.



Figuur 5 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling wand-begane grond variant 4

Bijlage B.10 – Controle berekening en ontwerp verbindingen[16]

In dit hoofdstuk wordt er per verbinding laten zien hoe deze uitgevoerd kan worden bij 8 bouwlagen en een wanddikte van 160mm. De netto wanddikte bedraagt in dat geval 120mm. Uit de berekening van bijlage B.6.3 blijkt dat het 2e orde effect niet meegenomen hoeft te worden.

B.10.1 Horizontale doorbuiging

De hoogte van het gebouw bedraagt 25,6 meter. De maximale doorbuiging is in dat geval:

$$\delta_{max} = \frac{1}{500} * 25600 = 51{,}2mm$$

Windrichting 1

De wand van 9,84 meter wordt beschouwd in windrichting 1. De windbelastingen op de wand zijn:

$q_{ek,wind} = 3{,}94\ kN/m$

$M_{ek,wind} = 1291{,}5\ kNm$

De rotatieveerconstante van de fundering (bepaald in bijlage 4) wordt aangenomen op:

$C = 5{,}73 * 10^{12}\ Nmm/rad$

$$\delta = \frac{1291{,}5 * 10^6}{5{,}73 * 10^{12}} * 25600 + \frac{3{,}94 * 25600^4}{8 * 11000 * \frac{1}{12} * 120 * 9840^3} = 7{,}8mm < 51{,}2mm$$

Windrichting 2

De wand van 8,02 meter wordt beschouwd in windrichting 2. De windbelastingen op de wand zijn:

$q_{ek,wind} = 4{,}28\ kN/m$

$M_{ek,wind} = 1348{,}6\ kNm$

De rotatieveerconstante van de fundering wordt aangenomen op:

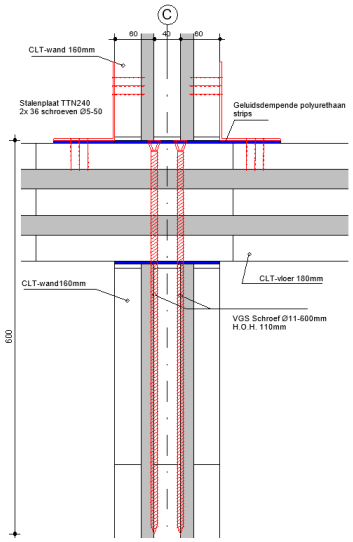
$C = 8{,}064 * 10^{12}\ Nmm/rad$

$$\delta = \frac{1348{,}6 * 10^6}{8{,}064 * 10^{12}} * 25600 + \frac{4{,}28 * 25600^4}{8 * 11000 * \frac{1}{12} * 120 * 8020^3} = 8{,}33mm < 51{,}2mm$$

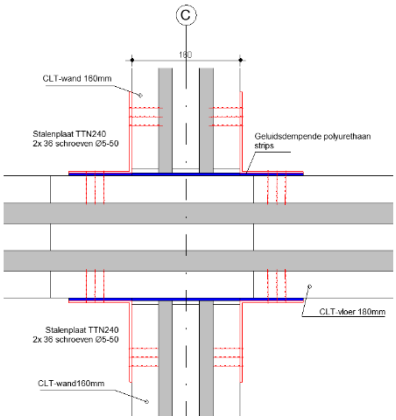
[16] Competentie onderzoekend

B.10.2 Verbinding 1

Verbinding 1 bestaat uit twee onderdelen namelijk: de wand-vloerverbinding en de vloer-wand verbinding. De wand-vloerverbinding bestaat uit de verbinding tussen de wand met de onderliggende verdiepingsvloer en de vloer-wand verbinding bestaat uit de koppeling van de verdiepingsvloer met de onderliggende wand. Voor de vloer-wandverbinding worden twee varianten nader onderzocht. Bij variant 1 wordt de verdiepingsvloer doormiddel van grote schroeven aan de wand gekoppeld en bij variant 2 wordt de vloer met stalen platen aan de wand gekoppeld.
De grootste trekbelastingen vinden plaats bij de wanden van 8,02 meter in windrichting 2.



Figuur 1 - Variant 1



Figuur 2 - Variant 2

In bijlage B.5.3 is vastgesteld dat de horizontale belasting vanuit de wind bij 8 bouwlagen die wordt afgedragen op de wand van 8,02m de volgende rekenwaardes heeft:

Horizontale windbelasting	
H,ed 1e verdiepingsvloer	147,2 kN
H,ed Begane grond	157 kN

Tabel 1 - Horizontale belasting op verdiepingsvloer

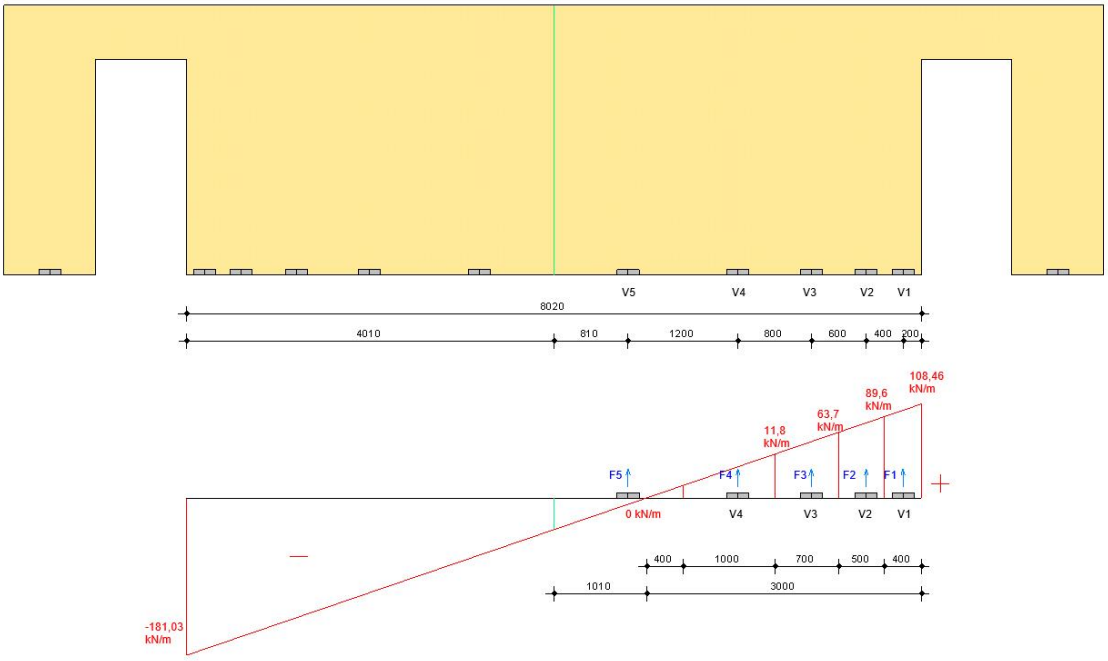
Wand-op-vloerverbinding

Het benodigde aantal staalplaten in deze wand wordt bepaald met behulp van de sterkte van de verbinding en de optredende horizontale schuifspanning. De maximaal opneembare horizontale schuifkracht per staalplaat bedraagt:

$$f_{h,rd} = 41{,}7\ kN$$

De maximaal toelaatbare trekbelasting van de verbindingen bedraagt:

$$f_{v,rd} = 27{,}25\ kN$$



Figuur 3 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling wand-1e verdiepingsvloer

In het ontwerp zijn er 20 (2x10) staalplaten aanwezig die de horizontale schuifkrachten op kunnen nemen. De horizontale belasting per staalplaat wordt:

$$F_{h,st.} = \frac{148}{20} = 7{,}4\ kN$$

Controle

De trekbelasting die op een staalplaat werkt, wordt als volgt berekend:

$$F_{v,1,totaal} = 0{,}4 * 108{,}46 + 0{,}4 * \frac{108{,}46 - 89{,}6}{2} = 39{,}62\ kN$$

De verbindingen worden aan twee zijdes van de wand geplaatst. Per verbinding is de belasting:

$$F_{v,1,st.} = \frac{39{,}62}{2} = 19{,}81\ kN$$

De verbinding dient te voldoen aan de volgende eis:

$$U.C. = \frac{F_{v,st.}}{f_{v,rd}} + \frac{F_{h,st.}}{f_{h,rd}} < 1$$

$$U.C. = \frac{20{,}25}{27{,}25} + \frac{7{,}4}{41{,}7} = 0{,}92 < 1$$

Alle uitkomsten zijn in onderstaande tabel weergeven:

V	1	2	3	4	5	
Fv,tot	40,50	42,49	44,30	32,54	2,89	kN
Fv,st	20,25	21,24	22,15	16,27	1,45	kN
U.C.	0,921	0,957	0,990	0,775	0,231	< 1

Tabel 2 - Belasting per verbinding

De verschillen in de unity checks komt doordat de h.o.h.-afstand van de verbindingen van elkaar afwijkt. In Excel is de meest ideale afstand tussen de staalplaten bepaald.

Vloer-op-wandverbinding

Alternatief 1: schroeven

De schroeven die aan de rand van de wand worden geplaatst zal de meeste belasting opnemen. In deze controle zal getoetst worden of de schroeven voldoen op sterkte. In onderstaande figuur is te zien hoe de schroeven geplaatst dienen te worden om te voldoen op treksterkte.

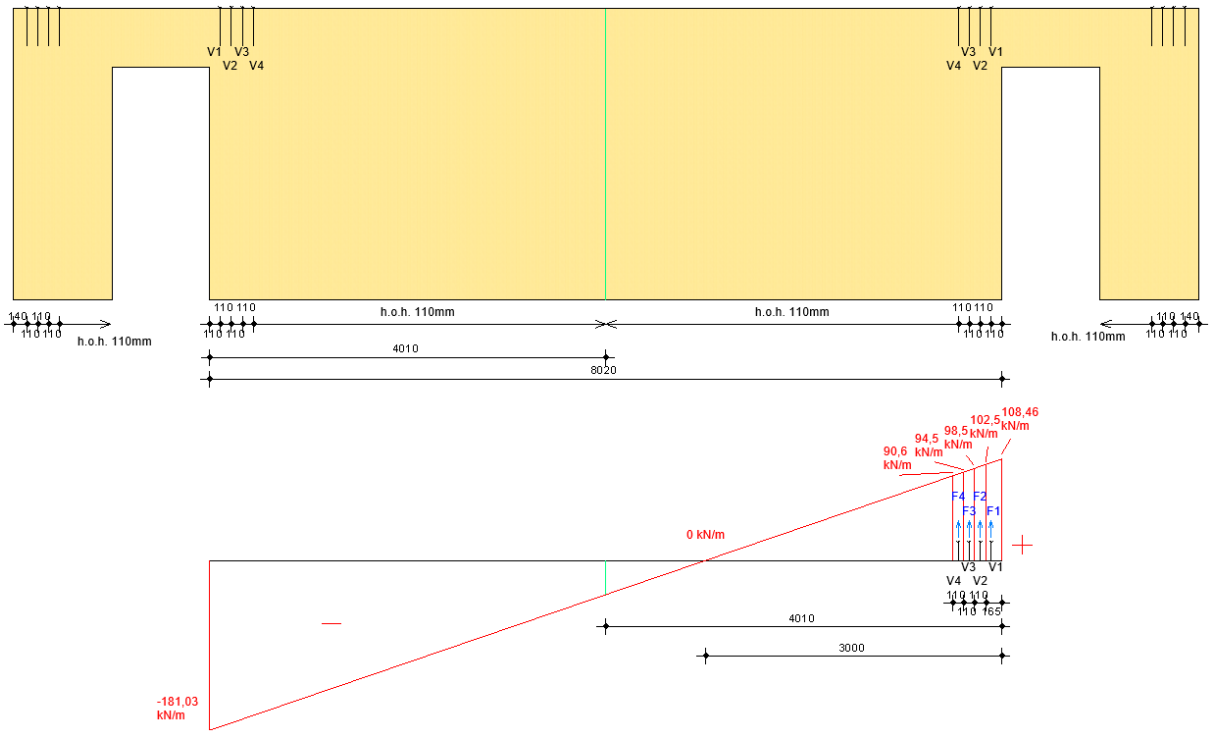
Controle

De treksterkte van een schroef bedraagt:

$$f_{ax,rd} = 11{,}18\ kN\ per\ schroef$$

De stuiksterkte van een schroef bedraagt:

$$f_{h,rd} = 6{,}03\ kN\ per\ schroef$$



Figuur 4 - Verdeling schroefverbindingen en belastingverdeling 1e verdiepingsvloer-wand

Bij een h.o.h.-afstand van 110mm kunnen er 70 rijen schroeven over 8,02 meter verdeeld worden. Elke rij bestaat uit 2 schroeven. Dat betekent dat er in totaal 140 schroeven toegepast worden over 8,02 meter. De horizontale belasting per schroef bedraagt:

$$f_{h,d,st.} = \frac{148}{140} = 1{,}057\ kN\ per\ schroef$$

De verbinding dient te voldoen aan de volgende eis:

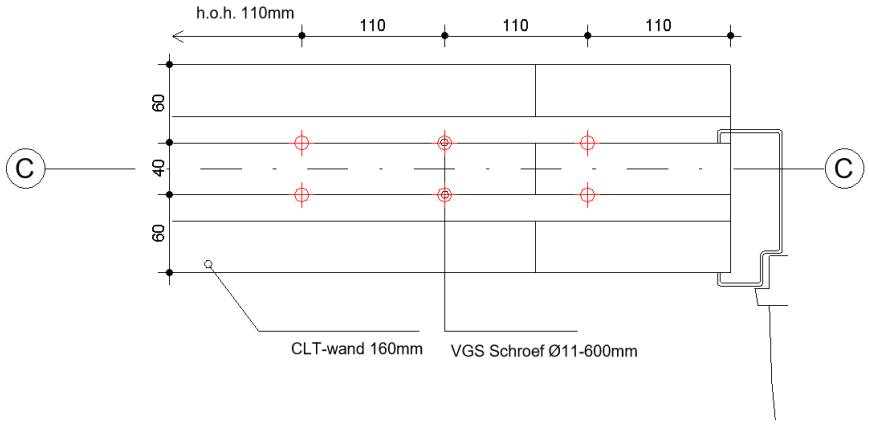
$$U.C. = \frac{F_{v,st.}}{f_{v,rd}} + \frac{F_{h,st.}}{f_{h,rd}} < 1$$

Alle uitkomsten zijn in onderstaande tabel weergeven:

V	1	2	3	4	
Ftot	17,40	11,06	10,62	10,18	kN
F/st	8,70	5,53	5,31	5,09	kN
U.C.	0,95	0,49	0,47	0,46	< 1

Tabel 3 - Belasting per verbinding

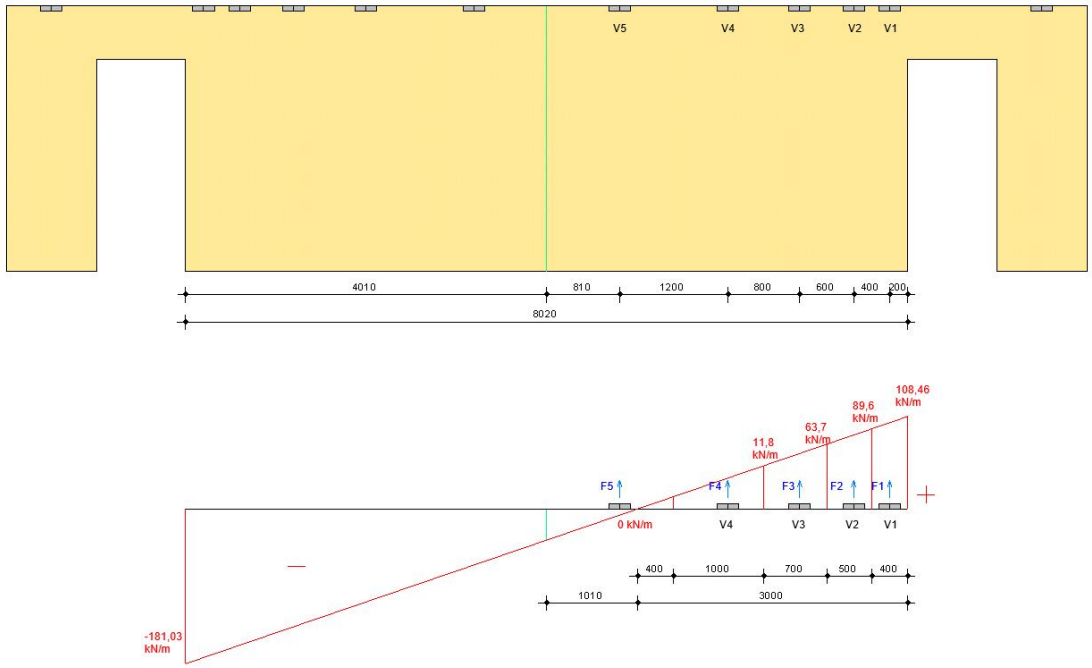
In figuur 5 is het bovenaanzicht van de plaatsing van de schroeven weergeven.



Figuur 5 - Bovenaanzicht schroeven

Alternatief 2: stalen platen

Alternatief 2 wordt op dezelfde manier uitgevoerd als de wand-op-vloerverbinding.



Figuur 6 - Verdeling staalplaatverbindingen en belastingverdeling 1e verdiepingsvloer-wand

B.10.3 Verbinding 2

De stalenplaatankers zijn erop ontworpen om alleen trekkrachten op te nemen. Om de horizontale schuifkrachten op te nemen zullen er in ieder geval ook staalplaten toegepast moeten worden. Er is voor gekozen om een combinatie te gebruiken van de staalplaten en de stalenplaatankers. De stalenplaatankers worden aan de rand van de stabiliteitswand geplaatst zodat deze de grootste trekkrachten op kunnen nemen. Daartussen zullen de staalplaten geplaatst worden. Er zullen twee varianten ontworpen worden waarbij bij variant 1 er een enkele stalen plaatanker aan de randen van de wand wordt geplaatst met daartussen staalplaten en bij variant 2 worden er 2 stalenplaatankers geplaatst aan de randen van de wand met daartussen staalplaten. Variant 3 bestaat uit het plaatsen van 3 stalenplaatankers aan de randen met daartussen staalplaten en variant 4 zal uit 4 stalenplaatankers bestaan met stalen platen.

De rekenwaarde van de horizontale schuifbelasting door de wind op de wand bedraagt 157 kN bij 8 bouwlagen (zoals in bijlage B.5 is bepaald).

Het benodigde aantal staalplaten in deze wand wordt bepaald met behulp van de sterkte van de verbinding en de optredende horizontale schuifspanning. De maximaal opneembare horizontale schuifkracht per staalplaat bedraagt:

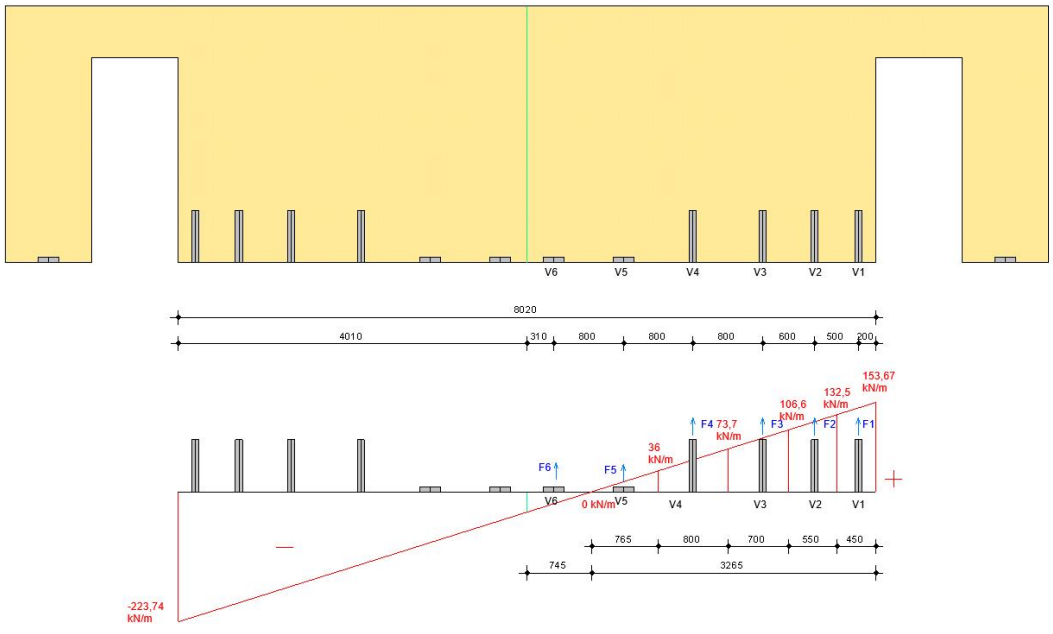
$f_{v,rd} = 41{,}7\ kN$

De maximaal toelaatbare trekbelasting van de verbindingen bedragen:

$f_{t,rd,staalplaat} = 20{,}6\ kN$

$f_{v,rd,stalenplaatanker} = 34{,}06\ kN$

In Bijlage B.9 zijn er diverse varianten gemaakt met verschillende opstellingen van de stalen verbindingsmiddelen. Uit de vergelijking is vastgesteld dat variant 4 toegepast zal worden bij de casus. Op die manier zijn de minste verbindingsmiddelen nodig en zijn er minder handelingen nodig op de bouwplaats.



Figuur 7 - Verdeling verbindingen en belastingverloop wand-begane grond

De trekbelasting op de verbindingen is in onderstaande tabel weergeven.

V	1	2	3	4	5	6	
Ftot	64,39	65,75	63,10	43,87	13,78	0,00	kN
F/st	32,19	32,88	31,55	21,94	6,89	0,00	kN
U.C.	0,95	0,97	0,93	0,64	0,81	0,47	< 1

Tabel 4 - Belasting per verbinding

B.10.4 Verbinding 3

De wanden worden aan elkaar gekoppeld zoals in figuur 8 te zien is. Er wordt een schroef gebruik van Ø11mm en een lengte van 450mm. De schroef bestaat volledig uit schroefdraad. Volgens bijlage B.8.3.1 bedraagt de horizontale afschuiving bij de wand van 8,02 meter:

$$F_{rh} = 52{,}47\ kN/m$$

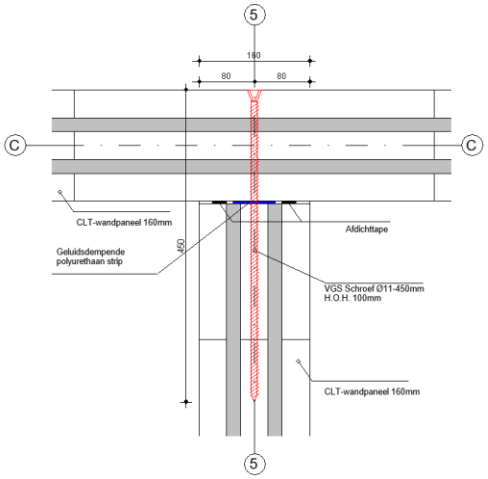
Controle

De maximaal op te nemen belasting door de verbinding bedraagt:

$$f_{rd/h.o.h.100mm} = 76{,}14\ kN/m$$

$$U.C. = \frac{52{,}47}{76{,}14} = 0{,}69 < 1$$

Uit de vergelijking blijkt dat de verbinding voldoet.



Figuur 8 - Koppeling van de wanden.

B.10.5 Verbinding 4

In figuur 9 is het bovenaanzicht te zien van de verbinding van de wanden. Aan de binnenzijde van de wanden wordt een sleuf gefreesd zodat de wanden over de multiplexplaat geplaatst kan worden. Er worden per wanddeel twee rijen schroeven toegepast van Ø11mm en een lengte van 150mm om de wanden aan de multiplexplaat te bevestigen. Op deze manier zijn de twee wanden aan elkaar gekoppeld en werken ze als één geheel. Volgens bijlage B.8.3.2 bedragen de schuifbelastingen bij de wand van 7,84 meter:

$$F_{rh} = 25{,}95\ kN/m$$

$$F_{rv} = 42\ kN/m$$

Controle

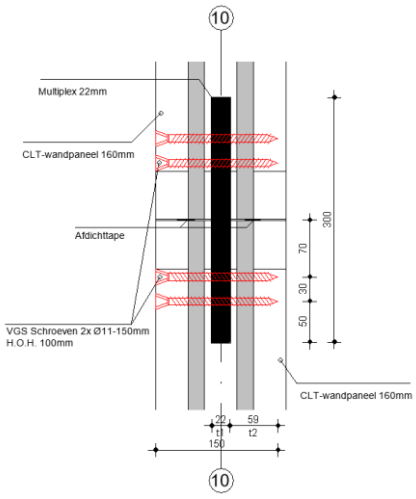
De maximaal op te nemen belasting door de verbinding bedraagt:

$$f_{rd/h.o.h.150mm} = 71{,}81\ kN/m$$

De verbinding dient te voldoen aan de volgende eis:

$$U.C. = \frac{F_{v,st.}}{f_{v,rd}} + \frac{F_{h,st.}}{f_{h,rd}} < 1$$

$$U.C. = \frac{42}{71{,}81} + \frac{25{,}95}{71{,}81} = 0{,}95 < 1$$



Figuur 9 - Koppeling van de wanden t.p.v. wanddeling windrichting 1.

B.10.6 Verbinding 5

De wanden worden aan elkaar gekoppeld als in figuur 10 te zien is. Er wordt een schroef gebruik van Ø6mm en een lengte van 260mm. De schroef bestaat volledig uit schroefdraad.
Volgens bijlage B.8.3.3 bedraagt de horizontale afschuiving bij de wand van 1 meter:

$$F_{rh} = 0{,}1\ kN/m$$

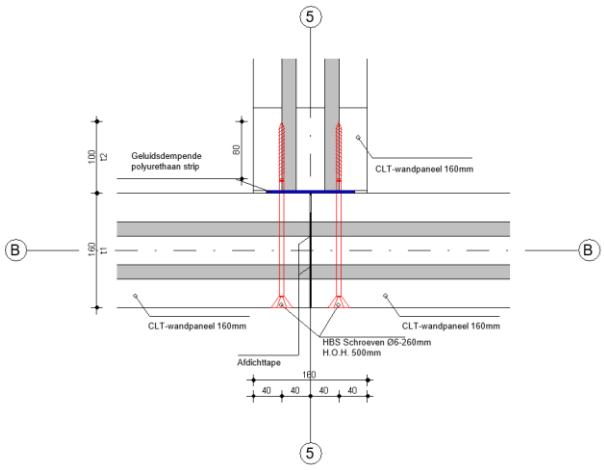
Controle

De maximaal op te nemen belasting door de verbinding bedraagt:

$$f_{rd/h.o.h.100mm} = 3{,}08\ kN/m$$

$$U.C. = \frac{0{,}1}{3{,}08} = 0{,}04 < 1$$

Uit de vergelijking blijkt dat de verbinding voldoet.



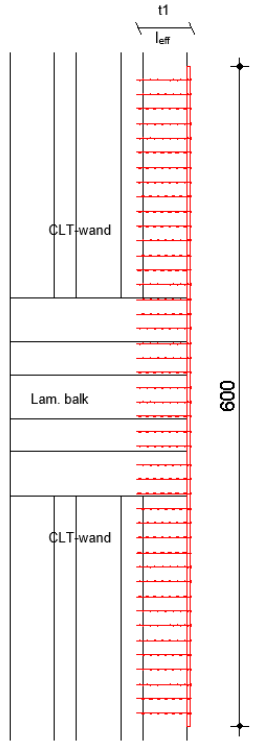
Figuur 10 - Koppeling wanden t.p.v. wanddeling windrichting 2.

B.10.7 Verbinding 6

Figuur 11 laat zien hoe de wand-verdiepingsvloerverbinding uitgevoerd wordt. De grootste trekbelastingen vinden plaats bij de wanden van 8,02 meter in windrichting 2.
In bijlage B.5.2 is vastgesteld dat de horizontale belasting vanuit de wind bij 8 bouwlagen die wordt afgedragen op de wand van 5m de volgende rekenwaardes heeft:

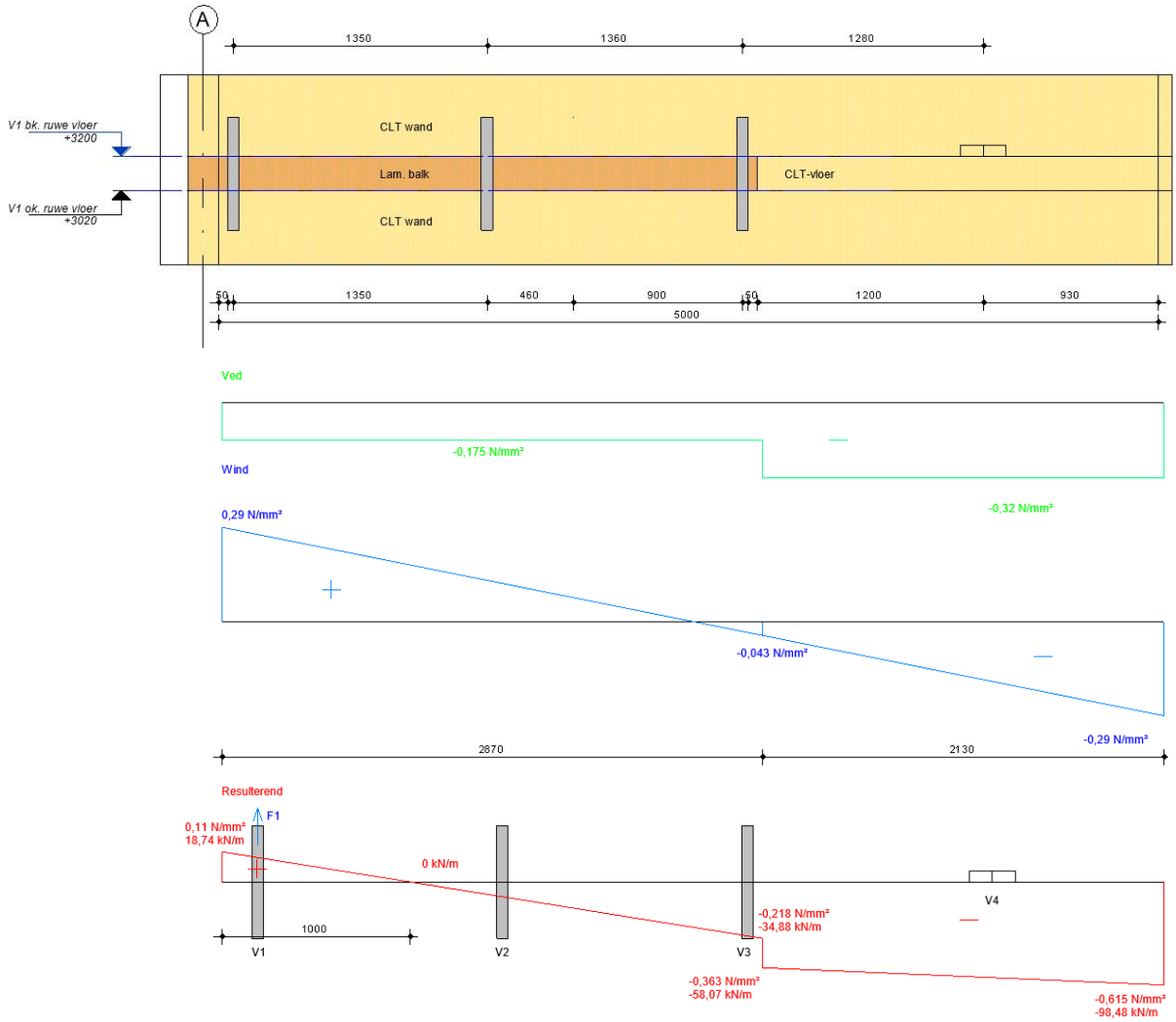
Horizontale windbelasting	
H,ed 1e verdiepingsvloer	18,62 kN

Tabel 5 - Horizontale belasting op verdiepingsvloer



Figuur 11 - Koppeling wand-wand t.p.v. sparing

Figuur 12 laat zien waar de verbindingen geplaatst worden en hoe de krachtsverdeling verloopt.



Figuur 12 - Verdeling verbindingen en belastingverloop wand-wand

Controle

De maximaal opneembare horizontale schuifkracht per staalplaat bedraagt:

$$f_{h,rd} = 104{,}3\ kN$$

De maximaal toelaatbare trekbelasting van de verbinding bedraagt:

$$f_{v,rd} = 68{,}12\ kN$$

De horizontale belasting per verbinding bedraagt:

$$f_{h,d,st.} = \frac{16{,}62}{4} = 4{,}16\ kN$$

De verbinding dient te voldoen aan de volgende eis:

$$U.C. = \frac{F_{v,st.}}{f_{v,rd}} + \frac{F_{h,st.}}{f_{h,rd}} < 1$$

Alle uitkomsten zijn in onderstaande tabel weergeven:

V	1	2	3	4	
Ftot	9,15	0,00	0,00	0,00	kN
U.C.	0,174	0,040	0,040	0,100	< 1

Tabel 6 - Belasting per verbinding

Bijlagen C – Overig

- Bijlage C.1 – Interview Bas Boellaard en Ard-Jan Luuten, SolidTimber
- Bijlage C.2 – Interview Hugo Immink, Ekoflin
- Bijlage C.3 – Bespreking Bertjan Kraaijeveld, IBT
- Bijlage C.4 – Logboek

Bijlage C.1 – Interview Bas Boellaard & Ard-jan Luuten, SolidTimber

Vragenlijst[17] [18]

Dit interview is gehouden met Ard-jan Luuten en Bas Boellaard van SolidTimber. Ard-Jan is architect en Bas is constructeur en hebben beiden SolidTimber opgericht.

Afstudeeronderzoek: Onderzoek naar hoe hoog er gebouwd kan worden met CLT.
Afstudeerbedrijf: Ingenieursbureau van Dijke BV

1. Heeft uw bedrijf projecten waarbij CLT in hoogbouw wordt gebruikt?
   Een aantal projecten van 8 verdiepingen dus niet echt hoogbouw.
2. Heeft CLT wat u betreft veel potentie om gebruikt te worden bij hoogbouw projecten?
   Ja, maar dan is het wel belangrijk dat je van begin af aan de grenzen en tools aangeeft bij de architect over CLT. Bijvoorbeeld hoe er met geluid, brand moet worden omgegaan zodat ze daar al rekening mee houden. Als dat nog te schetsmatig is en er wordt met te dunne vloeren en wanden gerekend kan dat in de DO-fase haast niet meer recht gerekend worden. Als gevolg daarvan wordt de constructie vaak toch wel weer traditioneel uitgevoerd omdat dat dan toch wel gezien wordt als een makkelijker bouwsysteem. Met hoogbouw wordt CLT ook vaak gecombineerd met een kolommenstructuur.
3. Waarom kruislings verlijmen? Waarom is dit sterker?
   Het is vormvaster, niet per se sterker. Met name in het vlak wordt het stijver.
4. Gebruikte houtkwaliteit?
   C24
5. Klopt het dat het kruislings verlijmen van de lamellen een positief effect heeft op de vormvastheid van het materiaal? Hoe komt dat?
   Doordat het materiaal in twee richtingen georiënteerd is zet het zichzelf op slot.
6. Heeft kruislings verlijmen nog effect op kruip gedrag van hout?
   Niet per se, het blijft gewoon hout. Het staat verder nog niet vastgesteld in de norm en de meeste rekenen gewoon met gelamineerd hout op het gebied van kruip.
7. Wat is het grote verschil en voordeel ten opzichte van normaal gelamineerd hout? Is normaal gelamineerd hout niet sterker?
   Gelamineerd hout is inderdaad sterker. Maar dit is veel gevoeliger voor vervormingen en is minder stijf in het vlak. En CLT kan in vier richtingen belasting afdragen.
8. Kunnen CLT vloeren ook als BG vloer gebruikt worden? Of gaat dit niet i.v.m. vocht.
   Ja dat kan, maar het is moeilijker om een goede aansluiting te realiseren met de fundering. En er dient rekening mee gehouden te worden dat de vloer niet in contact komt met vocht. Voor de uitvoering is dit wel echt een uitdaging.
9. Welke bouwmethode wordt over het algemeen toegepast? De balloon- of de platform bouwmethode?
   De platform methode, dit is in de uitvoering veel eenvoudiger. Met dit systeem is het sneller wind- en waterdicht en is het beter af te dekken wanneer het gaat regenen. Bij de balloonmethode zal er meer geschoord moeten worden en is het moeilijker om het hout te beschermen tegen regen. Tot ongeveer 10 bouwlagen kan dit systeem gebruikt worden, hoger dan dat zal al snel de balloon methode gebruikt worden. Ook voor het geluid is de platformmethode veel gunstiger. Bij de ballonmethode is voornamelijk de koppeling tussen de vloer en de wand een probleem. Er zal altijd een kier blijven tussen de wand en vloer voor de

[17] Competentie vakmanschap
[18] Competentie communicatie

toleranties. En dit is gevoelig voor geluid en brand. Je kan deze twee systemen ook goed combineren door bijvoorbeeld de schachten in de balloonmethode uit te voeren en de plaatsen waar geluid een grote rol speelt de platformmethode toe te passen.

10. Wat is het grootste probleem met het waarborgen van de stabiliteit?
    De deur en raam sparingen in de wanden en het aantal wanden. Met hout is dit iets gevoeliger.

11. Welke verbindingen worden over het algemeen gebruikt om de vloeren aan de wanden te koppelen?
    Hoekstaaltjes met schroeven.
12. En de wanden aan elkaar?
    Tandverbinding met schroeven.
13. Op welke manier worden de verbindingen berekend? (Literatuur, software?)
    Voor verbindingen is er literatuur aanwezig waar deze berekeningen in beschreven staan. Proholz is een veel gebruikt handboek en een artikel van Blaß en Uibel.
14. Welke software wordt er gebruikt?
    RF laminate. Dit wordt vooral gebruikt om mee te ontwerpen. Hier worden niet echt detailberekeningen mee gemaakt.

15. Wat zijn veel voorkomende problemen met het uitvoeren van hoogbouw in CLT?
    Communicatie op de werkvloer. Er dient helder te zijn wat iedere partij dient te doen en dat er secuur gewerkt dient te worden.

16. Hoe wordt er met brandveiligheid omgegaan?
    Overdimensioneren, voorzetwanden.

17. Hoe wordt er over het algemeen met geluid omgegaan?
    Voorzetwanden en een gescheiden constructie toepassen.
18. Bij hoogbouw is de eis volgens het bouwbesluit dat er voldaan moet worden aan 120 minuten brandwerendheid, tenzij er aangetoond wordt dat er geen brandbaar materiaal aanwezig is, dan mag er 30 minuten van afgetrokken worden. Geldt dit ook voor CLT?
    Nee, Bij CLT wordt er niet aan reductie gedaan. Die 120 minuten is wel echt een issue. Een sprinkler systeem zorgt er ook niet altijd voor dat je een reductie krijgt.

19. Hoe lang gaat een CLT-constructie mee?
    Hout is hout, dus in principe honderden jaren. Kijk maar naar de tempels in Japan, die staan er honderden jaren. Het is verder nog een beetje uitzoeken, want het eerste project is in de jaren 80 uitgevoerd.

20. Hoe worden de wanden op de betonvloer gezet?
    Door middel van opzetblokjes en ondersabelen worden de wanden op de betonvloer geplaatst. Belangrijk: waterdichte folie op de kopsekant van de wand aanbrengen zodat er geen vocht in het hout trekt.

Overige informatie

Allereerst een introductie over het afstudeeronderwerp. Hierin geef ik weer waar mijn afstudeeronderzoek over gaat en wat ik precies wil onderzoeken.

Bij echt hoogbouw gaat windtrilling wel echt een rol spelen bij de te behalen hoogte. Als je de begrenzing van hoogbouw wilt onderzoeken kom je daar toch al snel op uit. Sterkte is vaak wel op te lossen, maar stabiliteit is meestal toch wel echt een ding.

Bij grote hoogtes is het vaak toch al nodig dat er extra massa aan het gebouw moet worden toegevoegd. Voornamelijk bovenin het gebouw wordt er dan meer massa toegevoegd omdat dat gedeelte toch maatgevend is over hoe het gebouw zich gedraagt. Die massa wordt vaak gecreëerd door betonvloeren op de houten vloeren te storten of een cementdekvloer toe te passen.

De vraag in de markt ligt vooral bij gebouwen van 6-8 bouwlagen. Daar richten zij zich voornamelijk op. Bij echte hoogbouw in hout wordt het al snel heel specialistisch en moeilijk in de uitvoering.

Je wilt graag een gebouw neerzetten die de komende honderd jaar gebruikt kan worden. Maar je kent de toekomst van het gebouw niet en daarom wil je ook graag een gebouw neerzetten die demontabel is. Op die manier kan je de toekomstwaarde van het gebouw vergroten en zijn er meer mogelijkheden.

In de ontwerpfase is het belangrijk dat alle disciplines van de bouw meegenomen worden in je ontwerp. Je dient van begin af aan na te denken over waar de installaties komen, waar de leidingen komen, of dat de constructie zichtwerk wordt of niet. Als de constructie zichtwerk wordt weegt de factor brand zwaar mee en heeft veel invloed op je constructie. Het kan zijn dat er nu voor gekozen wordt om de constructie te voorzien van bijvoorbeeld een voorzetwand zodat dit een positief effect heeft op de brandwerendheid van de constructie. Maar je kan er ook over nadenken, “wat willen ze over 40 jaar”? Als ze dan die voorzetwanden weg willen hebben, voldoet die constructie dan nog steeds op brand? Daar denken ze bij SolidTimber al over na vanaf het begin van de ontwerpfase. Ze denken graag vooruit met de gedachte hoe ze dit zo lang mogelijk bruikbaar laten zijn. De ontwikkelaar denkt al snel: “we willen een gebouw neerzetten die zich over 15 jaar heeft terugverdient en dan mag het van mij gesloopt worden.” Bij SolidTimber willen ze het terugbrengen dat er voor de lange termijn ontworpen wordt zodat het materiaal duurzaam gebruikt wordt. Als er ontworpen wordt, wordt er echter niet gekeken, op het gebied van belastingen, of de functie van het gebouw veranderd. Ze gaan er bij wijze van spreken niet vanuit dat de functie van een appartementengebouw veranderd in een kantoorgebouw. De vloeren worden over het algemeen ontworpen op de eigen frequentie en daardoor is de belasting over het algemeen geen probleem. Datzelfde geldt voor de wanden. Deze worden meer op geluid en brand gedimensioneerd dan op sterkte, dus dat gaat over het algemeen wel goed. Het verschilt heel erg per ontwikkelaar in hoeverre daar rekening mee gehouden dient te worden. De ene wil inderdaad dat het gebouw de komende 100 jaar elke functie kan krijgen en een andere weet uit ervaring dat de functie van een gebouw maar zelden veranderd en wil daarom geen moeilijke ontwerpproblemen creëren. Je kan beter van tevoren bepalen welke functie het gebouw krijgt en daar een optimaal ontwerp van maken dan dat je rekening moet houden met dingen als installatieschachten voor een functie die het mogelijk nooit krijgt.

Als je bouwt met hout is het belangrijk dat je al vroeg in het ontwerpstadium al zoveel mogelijk details van het ontwerp te weten krijgt, want met hout rekent het heel nauw. Een beetje extra belasting kan er al voor zorgen dat een houten element dikker uitgevoerd moet worden. Zeker met de vrije hoogte van een verdieping rekent dit erg nauw.

Per leverancier kunnen de eigenschappen van CLT anders zijn. Zo kunnen de lamellen een andere afmeting hebben of heeft het hout andere eigenschappen. Het is belangrijk om dit van begin af aan helder te hebben. Er is nog geen norm die voor richtlijnen zorgt. Elke leverancier rekent met zijn eigen waarde.

Hout wordt geprefabriceerd en heeft een maattolerantie van 2 mm.

Op de bouwplaats horen ze vaak dat het erg prettig werkt met CLT en dat het zeer prettig is om “droog” te bouwen.

Wanneer CLT zichtbaar blijft is de kans groot dat het gaat vergrijzen door bijvoorbeeld zonlicht. Het blijft natuurlijk materiaal en dat hoort er dan ook bij.

De wanden worden over het algemeen afgewerkt met gipsplaten. In Nederland is het nog nieuw materiaal en daardoor wilt iedereen het in het zicht houden. Daardoor wordt het ook relatief duurder omdat de afwerk kwaliteit hoger dient te zijn in dat geval. Het is een ruwbouwproduct en men wil dat het in de afbouwfase nog steeds mooi eruitziet. In zweden wordt het echt gezien als een bouwproduct dat snel bouwt dat daarna nog wordt afgewerkt. Ze verwachten dat het over 15 jaar in Nederland ook zo zal zijn dat het als een bouwproduct wordt gezien.

De eerste verdieping wordt vaak in beton uitgevoerd, waarom is dat? De eerste verdieping is vaak een stuk hoger dan de overige verdiepingen. En het heeft vaak met de brandeisen te maken, want de functie is vaak ook anders bij de entree dan in de rest van het gebouw.

Wat interessant is, is natuurlijk wat zijn de constructieve mogelijkheden qua hoogbouw in hout. En nu is er ook echt zo’n race begonnen hoe hoog er gebouwd kan worden met hout. Bij SolidTimber vinden ze dat je moet geloven in de kracht van elk materiaal. Op dit moment wordt iets van 90% uitgevoerd in beton, maar eigenlijk zou een betere verdeling zijn: 40% beton, 30% hout en 30% staal. Op die manier verdeel je het gebruik van de grondstoffen veel meer. Aan de ene kant willen ze graag weten hoe hoog kan je gaan met hout. Maar zoals bij het gebouw van 85 meter zijn er aan de onderkant van het gebouw kolommen van 1,5x1,5 meter. Dus het kan wel, maar het kost ontzettend veel materiaal. In zo’n geval is het nodig om kritisch te zijn en af te vragen of dit het juiste materiaal is voor het project.

Het is interessant om te zien waar CLT zich gaat onderscheiden van bijvoorbeeld HSB. CLT en HSB kan goed gecombineerd worden. Zo kan ervoor gekozen worden dat er CLT-wanden toegepast worden voor de wanden waar de vloer op opgelegd wordt en HSB voor de wanden die haaks op de overspanningsrichting van de vloer staan. Er kan dan in eerste instantie gekeken worden hoeveel CLT-wanden er nodig zijn vanuit de stabiliteit en vervolgens de overige wanden uitvoeren in HSB. Maar om de hoeveelheid leveranciers te beperken is het misschien juist verstandig om dan maar alles in CLT uit te voeren. En je wilt zo snel mogelijk wind-water dicht zijn. Met CLT is dit eenvoudiger te realiseren dan HSB.

Doordat het materiaal zo licht is, is er veel minder transport nodig. Met name in binnenstedelijk gebied is dit noodzakelijk, omdat het gewenst is dat daar zo min mogelijk vrachtverkeer komt.

Bij hoogbouw zie je vooral bouwsystemen die uitzonderlijk zijn en per project verschillen. Bij de midrise zie je echt bouwsystemen ontstaan die vaker toegepast kunnen worden. Op dit moment zit het echt nog in de pioniersfase.

Zodra het hout als zichtwerk wordt uitgevoerd is het ook heel belangrijk dat de vochtregeling in het gebouw goed geregeld wordt. De panelen worden geproduceerd met een vochtpercentage van 12%.

Zodra dit veranderd gaat het hout werken. Het blijft een natuurproduct en dat maakt het wel lastig. Mensen willen een natuurproduct, maar het moet wel mooi blijven zoals het is.

Tijdens de bouw is het belangrijk dat de verschillende partijen goed met elkaar afstemmen en dat de afwerking van elke fase goed gebeurt. Doordat er bij CLT een maattolerantie is van 2mm is het belangrijk dat er secuur wordt gewerkt, anders merk je dat in een latere fase. Ook bij de betonbouwers, waar het toch wat minder secuur wordt uitgevoerd is het belangrijk dat ze dit wel secuur doen.

De CLT-wanden worden met behulp van stelblokjes geplaatst en vervolgens onder sabelt met mortel. Het is wel noodzakelijk dat er tussen de wand en de mortel een folie is aangebracht zodat er geen vocht in het hout trekt. Doormiddel van het ondersabelen zorg je ervoor dat de drukbelasting gelijkmatig wordt verdeeld.

Wanneer je gebouw echt hoog is het ook belangrijk dat je rekening houdt met het krimpgedrag van je vloeren. Per verdieping zal je gebouw ongeveer 5mm gaan krimpen. Daar dien je wel rekening mee te houden bij het ontwerpen en met het toepassen van je gevels.

Om aan de geluidseisen te voldoen wordt er vaak gebruik gemaakt van een spouwconstructie. Dit houdt in dat er twee CLT-panelen worden geplaatst met daartussen een spouw die gevuld wordt met isolatie. Een alternatief is om met voorzetwanden te werken. De uitvoeringskwaliteit is in dat geval erg belangrijk. Het is dan belangrijk dat de voorzetwand op de juiste manier wordt geplaatst zodat de geluidseisen worden gehaald.

Als constructeur is het belangrijk dat je al die aspecten meeneemt en de overige partijen op de hoogte stelt van de aandachtspunten. Wanneer dit niet gebeurt is de kans op fouten groter en zal dat een slechte naam geven aan CLT, terwijl dit niet persé aan het CLT ligt.

De koppeling tussen twee wanden, zodat deze samen gaan werken in de stabiliteit, is bijna nooit een issue.

Voor de berekeningen van de schroefverbindingen gebruiken ze zelfgemaakte software in Excel. Met schroefberekeningen bepaal je de sterkte van je schroeven en aan de hand daarvan kan je de h.o.h.-afstand bepalen.

Rothoblaas is een veelgebruikte leverancier van verankering die toegepast wordt in CLT.

Het is belangrijk dat de schroeven zoveel mogelijk loodrecht op de vezelrichting worden geplaatst. Evenwijdig aan de vezelrichting is de capaciteit van de schroeven een stuk minder. Tijdens de uitvoering moet er dan ook helder gecommuniceerd worden dat de schroeven in de juiste lamel geplaatst moeten worden.

Ingelijmde draadeinden worden eigenlijk niet meer toegepast. Je ziet het nog wel eens, maar het is eigenlijk niet nodig. Je kan grotendeels alles wel opvangen met schroefplaten of spijkerplaten.

Het lichte gewicht van de constructie is een voor- en nadeel. Een voordeel voor de fundering, maar een nadeel voor de stabiliteit.

Er is plek voor eventueel een baan na het afstuderen of voor een afstudeerplek.

Het toepassen van dikke wanden is eigenlijk heel positief. Je creëert meer materiaal zodat de brandwerendheid van de constructie omhooggaat, en je creëert meer massa zodat de kans op trek kleiner wordt. Daarnaast wordt het gebouw stijver en zal het minder doorbuigen.

Hoe wordt er met het hout omgegaan nadat er brand is geweest? Je kan makkelijk onderdelen vervangen. Er dient dan goed onderstempeld te worden tijdens de herstelwerkzaamheden.

Voor brand heb je grondstof nodig om te branden. De brandstof in een compartiment zijn de meubels en dergelijke maar niet het hout. Het hout brand in, maar het hout brand zelf niet. Het smeult en brand daardoor in, maar zodra de brandstof op is in een compartiment zal het hout niet verder inbranden. Het hout zou zichzelf uitdoven volgens testen. Het hout heeft niet de energie om de brand te voeden.

Je moet ook heel eerlijk zijn in het feit dat het soms ook gewoon niet de beste keus is om CLT toe te passen. Soms is het beter om te kiezen voor beton. Het bouwen met hout moet ook geleidelijk aan opgebouwd worden. Op dit moment kan er niet eens volop met hout gebouwd worden.

Bijlage C.2 – Interview Hugo Immink, EkoFlin

Vragenlijst[19] [20]

Interview met Hugo Immink van Ekoflin. Hugo is eigenaar van EkoFlin en is 5 jaar geleden begonnen met het leveren en bekendmaken van CLT.

Afstudeeronderzoek: Onderzoek naar hoe hoog er gebouwd kan worden met CLT.
Afstudeerbedrijf: Ingenieursbureau van Dijke BV

1. Heeft uw bedrijf projecten waarbij CLT in hoogbouw wordt gebruikt?
   EkoFlin levert het hout voor het gebouw "Haut". Voor de engineering gebruiken ze contacten uit Oostenrijk en Duitsland.
2. Ziet u verandering in de markt dat er al meer CLT wordt gebruikt in plaats van bijvoorbeeld beton?
   Jazeker. 5 jaar geleden ben ik begonnen met ekoflin en het aanbieden van CLT. Toentertijd kende geen enkele architect CLT en verschillende aannemers hadden er wel eens van gehoord en/of mee gewerkt. Maar de eerste twee jaar ben ik alleen maar bij partijen langs geweest om het product te promoten. Nu zien we dat het wel groeiende is. Grote aannemers houden het wel af, omdat zij vaak aandelen hebben in een bepaal materiaal. Doordat de grote aannemers er niet mee bouwen is het ook niet bekent bij de opdrachtgevers. Maar vanuit de gemeente komt de vraag wel steeds meer. Ook in het kader van circulair bouwen.
3. Waarom kruislings verlijmen? Waarom is dit sterker?
   Voornamelijk de stijfheid en de vormvastheid. De krimp is echt minimaal die is te verwaarlozen. In de praktijk houd je bij de buitenwanden 1 cm over ten opzichte van de buitenwand en dit is ruim voldoende.
4. Gebruikte houtkwaliteit?
   Houtsterkte is C24.
5. Heeft kruislings verlijmen nog effect op kruip gedrag van hout?
   Het kruipgedrag zal minder zijn. Het materiaal is homogener dan massief hout.
6. Wat is het grote verschil en voordeel ten opzichte van normaal gelamineerd hout? Is normaal gelamineerd hout niet sterker?
   Gelamineerd hout is in de overspanningsrichting sterker, maar in de andere richting is het niet sterk. Verder dient er rekening gehouden te worden bij de oplegging met het krimpgedrag van hout en bij CLT nagenoeg niet.
7. Je ziet vaak tot maximaal 7 lagen verlijmd hout. Waarom niet meer?
   Het kan wel, maar het is niet altijd nodig.
8. Kunnen CLT vloeren ook als BG-vloer gebruikt worden? Of gaat dit niet i.v.m. vocht.
   Ja het kan, maar dan moet het goed geïsoleerd worden en afgesloten worden van het vocht. Dat is een vrij dure oplossing. Maar het kan wel.
9. Welke bouwmethode wordt over het algemeen toegepast? De balloon- of de platform bouwmethode?
   Meestal de platformmethode.
10. Wat zijn de voor en nadelen van deze bouwsystemen?
    De platformmethode is goedkoper dan de balloonmethode. Bij de balloon heb je meer last van je knik in de wanden. Bij een kern wil je graag lange wanden toepassen en dan zit je al snel bij de balloonmethode. Het is dan verstandig om deze panelen in steens verband aan te

[19] Competentie vakmanschap
[20] Competentie communicatie

brengen. Dan heb je een sterker geheel. Bij de balloon heb je toch altijd wat speling tussen je vloer en de wand waar je rekening mee moet houden.

11. Wat is het grootste probleem met het waarborgen van de stabiliteit?
    Torsie is een punt. Torsie heeft slechte invloed op hout.
12. Hoe wordt schijfwerking van de vloeren en wanden geregeld en gewaarborgd?
    De vloeren en wanden worden onderling met elkaar gekoppeld.
13. En de wanden aan elkaar?
    Een multiplexplaat tussen de wanden of op de wanden.
14. Op welke manier worden de verbindingen berekend? (Literatuur, software?)
    Dat doen ze op het hoofdkantoor van Binderholz. Of er wordt een Nederlandse constructeur ingeschakeld omdat men in Nederland toch het liefst met Nederlandse constructeurs werken.
15. Welke software wordt er gebruikt?
    De leverancier Binderholz heeft rekensoftware waarmee gerekend kan worden. Het rekenwerk laten we door hun doen.
16. Wat zijn veel voorkomende problemen met het uitvoeren van hoogbouw in CLT?
    Lichte gewicht van de constructie en torsie vanuit wind.
17. Zijn er beperkingen waar je mee te maken hebt als je met CLT bouwt?
    De overspanning van het hout is over het algemeen beperkt. Bij overspanningen van meer dan 7 meter wordt je vloer al zo ontzettend dik dat het niet meer economisch voordelig is. Geld is vaak een beperking. Het is duur en dat hebben we er vaak niet voor over.
18. Wat zijn volgens u belangrijke aandachtpunten voor het ontwerpen met CLT?
    Je moet de voordelen van hout gebruiken. Grote overspanningen moet je vermijden, max. 6,5 meter. Wanden kan je gebruiken als wandliggers zodat je ruimte onder de vloer houdt. Maak zoveel mogelijk rechthoekige gebouwen.
19. Hoe wordt er met brandveiligheid omgegaan?
    Toepassen van voorzetwanden of het hout behandelen met bepaalde beits. Bij het gebouw "Haut" hadden we een brandwerendheidseis van 120 minuten. Met hout in het zicht en een betonvloer erop halen we 90 minuten. Met sprinklersysteem mochten wij 30 minuten aftrekken. Voor de wanden is een voorzetwand toegepast.
20. Hoe wordt er over het algemeen met geluid omgegaan?
    Geluidstrips tussen de wanden en de vloeren. Voorzetwanden en gescheiden constructies.
21. Bij hoogbouw is de eis volgens het bouwbesluit dat er voldaan moet worden aan 120 minuten brandwerendheid, tenzij er aangetoond wordt dat er geen brandbaar materiaal aanwezig is, dan mag er 30 minuten van afgetrokken worden. Geldt dit ook voor CLT?
    In overleg met de gemeente en brandweer was een sprinklerinstallatie voldoende om die 30 minuten aftrek te krijgen. Maar dat verschilt per gemeente. Het is een nieuw product dus iedereen is daar ook nog wel zoekende in.
22. Hoe lang gaat een CLT-constructie mee?
    Duizenden jaren. De oudste gebouwen zijn van hout.
23. Is er regelmatig onderhoud nodig?
    Niet meer dan beton.
24. Hoe worden de wanden op de betonvloer gezet?
    Een houten regel of oplegblokjes met ondersabeling met mortel.

Overige informatie

De verschillende disciplines van de bouw gaan steeds dichter bij elkaar zitten. Wanneer je met CLT bouwt heb je al snel dat je een ander verwarmingssysteem toepast in het gebouw. Zo gaat infrarood verwarming goed met CLT. Hout heeft als eigenschap dat het geen warmte opneemt. Hout heeft bijna geen accumulerend vermogen. Bij beton praten ze daar graag over omdat ze zeggen dat beton warmte uitstraalt, maar dit moet wel eerst verwarmd worden, wat energie kost en wanneer het koud is blijft er tocht van de wanden komen.

De platformmethode is de makkelijkste manier van bouwen. Bij de balloonmethode krijg je lange wanden en dat ik nadelig voor je knik.

Hout is hernieuwbaar en herbruikbaar.

De kern van het gebouw “Haut” is uitgevoerd in beton zodat de torsie vanuit de wind opgenomen kan worden. De vorm van het gebouw maakte het lastig om het gebouw volledig in hout uit te voeren.

Er is om drie redenen voor een hybride constructie gekozen:

1. Met alleen hout wordt het gebouw te licht en wil het omwaaien.
2. Het is goed voor de akoestiek. De geluidswering wordt daardoor beter.

Hout dien je altijd met een dampopen middel af te werken. Hout blijf een natuurproduct en zal blijven werken.

De leverancier Rothoblaas wordt gebruik voor de houtverbindingen.

De vloer kan niet doorlopen naar buiten. Een balkon dient een apart paneel te zijn die gekoppeld wordt met ankers aan de vloer.

Het is belangrijk dat een ervaren houtbouwer met het product bouwt, want er zijn toch bepaalde zaken waar je rekening mee moet houden. Anders is de kans op fouten groter.

Er moet rekening mee gehouden worden dat het hout niet altijd perfect eruitziet. Er mogen bijvoorbeeld noesten in zitten. Dan voldoet het wel aan de voorschriften maar het ziet er niet perfect uit. Als je perfect hout wilt hebben voor je zichtwerk, kan de constructie het beste uitgewerkt worden met de minste zichtkwaliteit en dan worden afgewerkt met de beste kwaliteit afwerking.

In Brabant wordt er subsidie gegeven voor bouwproducten waarmee circulair en modulair gebouwd kan worden. Hergebruik en het uit elkaar schroeven van een gebouw is daarbij ook erg belangrijk.

In het project Haut zit 3000m³ hout. Dit hout is in 2 uur weer aangegroeid. Voor de verwerking van hout stoot je 1/3 deel CO2 uit van wat je uitstoot met beton.

De grootste bottleneck waar Hugo tegenaan loopt is dat men niet wil afwijken van de bekende constructiematerialen. Men is bang om er mee te werken omdat het relatief nieuw en onbekend is.

Bij de opbouw van de wandpanelen is het verstandig om de lamellen die evenwijdig aan de belastingafdracht lopen, dikker uit te voeren. Deze nemen namelijk de krachten op en kunnen de meeste belasting hebben.

Met een hybride systeem is het belangrijk om in de gaten te houden dat het gedrag van de materialen verschillend is. Daar moet rekening mee gehouden worden.

Je merkt dat de vraag naar hout steeds meer toeneemt omdat steeds meer ingenieursbureaus ernaar vragen.

Is het realistisch om alleen maar in hout te bouwen? *Ja makkelijk. Alles boven de grond kan makkelijk. Hout groeit ontzettend snel bij. Maar het is wel iets waar langzaam naartoe gegroeid moet worden.*

In hout bouwen is relatief duurder dan beton. Beton is hier goedkoop en heeft een goede kwaliteit omdat we hier de goede grondstoffen hebben voor goed beton.

Er was een appartementencomplex waarbij de bouwkosten hoger waren dan wanneer het in beton uitgevoerd zou worden, maar omdat mensen graag in hout wilden wonen heeft het ook meer opgebracht bij de verkoop van de appartementen.

Hout is gewoon een bouwsysteem. Iedereen wil het nu nog zien, maar uiteindelijk moet het gewoon als een bouwsysteem gezien worden waar ook afwerking overheen kan gaan.

In de woningbouw wordt over het algemeen de spouwwand toegepast voor woningscheidende wanden. Dit heeft positieve invloed op het contactgeluid. Voorzetwanden zijn vaak toch duurder.

Worden lijmankers nog gebruikt? *Ja, maar niet zo heel veel meer. Want dan zit je vooral met het milieu dat het belastend is. En vast is vast, het is dan niet meer demontabel. Ze geven subsidie op circulair en demontabel bouwen en dat is het niet. Schroefverbindingen zijn ook gewoon veel makkelijker uit te voeren.*

Rothoblaas ontwikkeld ontzettend veel voor houtbouwen.

Vroeger werden stalen platen door het hout heen met elkaar gekoppeld. Het probleem was alleen dat deze verbindingen erg gevoelig waren voor contactgeluid.

Scholen worden vaak in CLT gebouwd. Het heeft echt een positieve invloed op het binnen klimaat en de gezondheid binnen het gebouw. Het CLT reguleert vocht. Met hout zal je minder vaak de kachel aan hoeven te zetten omdat het minder koud en kil aanvoelt binnen. Hout laat geen warmte en kou door en isoleert ideaal.

In de zomermaanden gaat de warmte in de muren zitten bij steenachtig materiaal en is het er moeilijk uit te krijgen omdat de wanden warm blijven. Bij hout wordt het ook warm binnen maar zodra je het doorlaten waaien koelt het ook zo af en blijft het koel.

CLT is aardbeving bestendig en kan daar goed mee omgaan, mits goed gemonteerd.

Bij hout zorgt de koollaag die ontstaat bij brand ervoor dat het zuurstof wordt weggenomen bij de inbranding in het hout. Zonder zuurstof dooft het vuur. De verlijming van het hout laat bij een bepaalde temperatuur los en dan vallen de lamellen eraf.

Hoe wordt een wand of vloer gerepareerd nadat er een brand is geweest? *Aangetaste laag wordt verwijderd en als het kan wordt er dan een nieuwe laag aan gelijmd. Maar het hangt ervan af hoe groot de schade is. Als het heel erg is aangetast kan je gedeeltes eruit zagen en vervangen, of je moet de hele wand slopen. Alles kan, maar het is af en toe lastig.*

Wanneer er gebouwd wordt met hout als zichtwerk, worden er T-ankers toegepast. Dit zijn stalen platen in een T-vorm waar de wand overheen wordt gezet. Deze wordt verbonden met deuvels.

Bijlage C.3 – Gesprek Bertjan Kraaijeveld, IBT[21] [22]

Op maandag 29 april heb ik een gesprek gehad met Bertjan Kraaijeveld van IBT te Veenendaal. Voordat deze bespreking plaatsvond heb ik Bertjan mijn onderzoeksverslag met bijlageboek opgestuurd zodat hij deze van tevoren kon bekijken en zich kon inlezen op mijn onderzoek. Tijdens dit gesprek zijn er een aantal hoofdlijnen besproken:

1. Introductie
2. Uitgevoerde projecten
3. Relevante literatuur
4. Feedback op onderzoeksverslag
5. Ideeën uitgewisseld over details

Vermeld over de bouwmethodes dat er meer is dan dat.

1. Introductie

Bertjan rekent zo nu en dan een constructie in CLT uit. Tot op heden zijn er nog niet heel veel projecten die dit bouwsysteem als constructiemateriaal gebruiken. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat het over het algemeen duurder is dan de klassieke bouwmaterialen en het is nog relatief onbekend.

2. Uitgevoerde projecten

Bertjan liet een aantal projecten zien waar hij mee bezig is geweest die uitgevoerd worden/werden in CLT. Daar liet hij zien welke berekeningen hij had gemaakt en op welke manier. Hij liet tekeningen zien van de gebouwen met de bijbehorende details. Daar liet hij zien wat eventuele oplossingen waren voor bepaalde problemen, zoals het in de andere richting overspannen van de vloer ter plaatse van een sparing.

3. Relevante literatuur

Bertjan liet een aantal boeken zien waarbij er met CLT gerekend of getekend werd. Daarnaast liet hij mij een artikel zien waar de rekenregels van CLT in te vinden zijn. Dit artikel had ik zelf al gevonden en was daardoor voor mij al bekent. Het was echter fijn om te weten dat ik de juiste literatuur had gevonden voor het berekenen van een CLT-constructie.

4. Feedback op onderzoeksverslag

Als feedback op mijn onderzoek kreeg ik terug dat ik een uitgebreid verslag had waarbij ik al veel informatie had gevonden en had vermeld over CLT. Hij kreeg het idee dat ik het principe van CLT al goed doorhad.

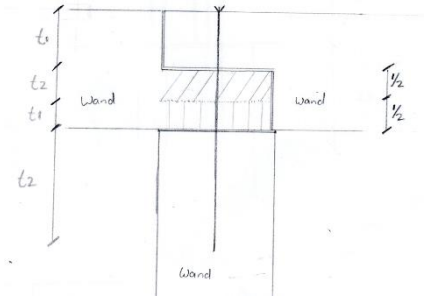
Als feedback gaf hij mij mee dat ik niet moet vastpinnen op de twee bouwmethodes (platform- en balloonbouwmethode) maar dat er veel meer is dan dat. Deze bouwmethodes worden vaak gecombineerd met elkaar en het is dan vaak ook niet het één of het ander.

Verder is het goed als ik helder aangeef welke alternatieve verbindingsmethodes er zijn op de veelgebruikte schroefverbindingen. Het is goed om helder te hebben wat er nog meer wordt gebruikt met dit systeem. Het is te veel om allemaal mee te nemen in het onderzoek, maar het is goed om duidelijk te hebben wat er allemaal is.

[21] Competentie vakmanschap
[22] Competentie communicatie

5. Ideeën uitgewisseld[23] [24]

Tijdens het gesprek wilde ik graag een detail voorleggen aan Bertjan waar ik vragen over had. Het betreft een verbinding tussen 3 verschillende wanden. Ik vroeg mij af hoe ik de sterkte van de verbinding kon berekenen zodra ik twee wanden die evenwijdig aan elkaar staan moet koppelen én een wand die dwars op deze wand staat. Bertjan zei dat hij zo'n verbinding nog niet eerder is tegengekomen en dat zon verbinding best wel ingewikkeld is.
Het kwam erop neer dat een gedeelte van het hout dubbel werd belast door de krachten die het door moet geven aan het volgende stuk hout. Een dergelijke koppeling van wanden wordt niet snel toegepast omdat deze sterk gedimensioneerd moet worden. Het is om die reden niet verstandig om een deling van de wanden ter plaatse van een koppeling met een dwarswand te realiseren.

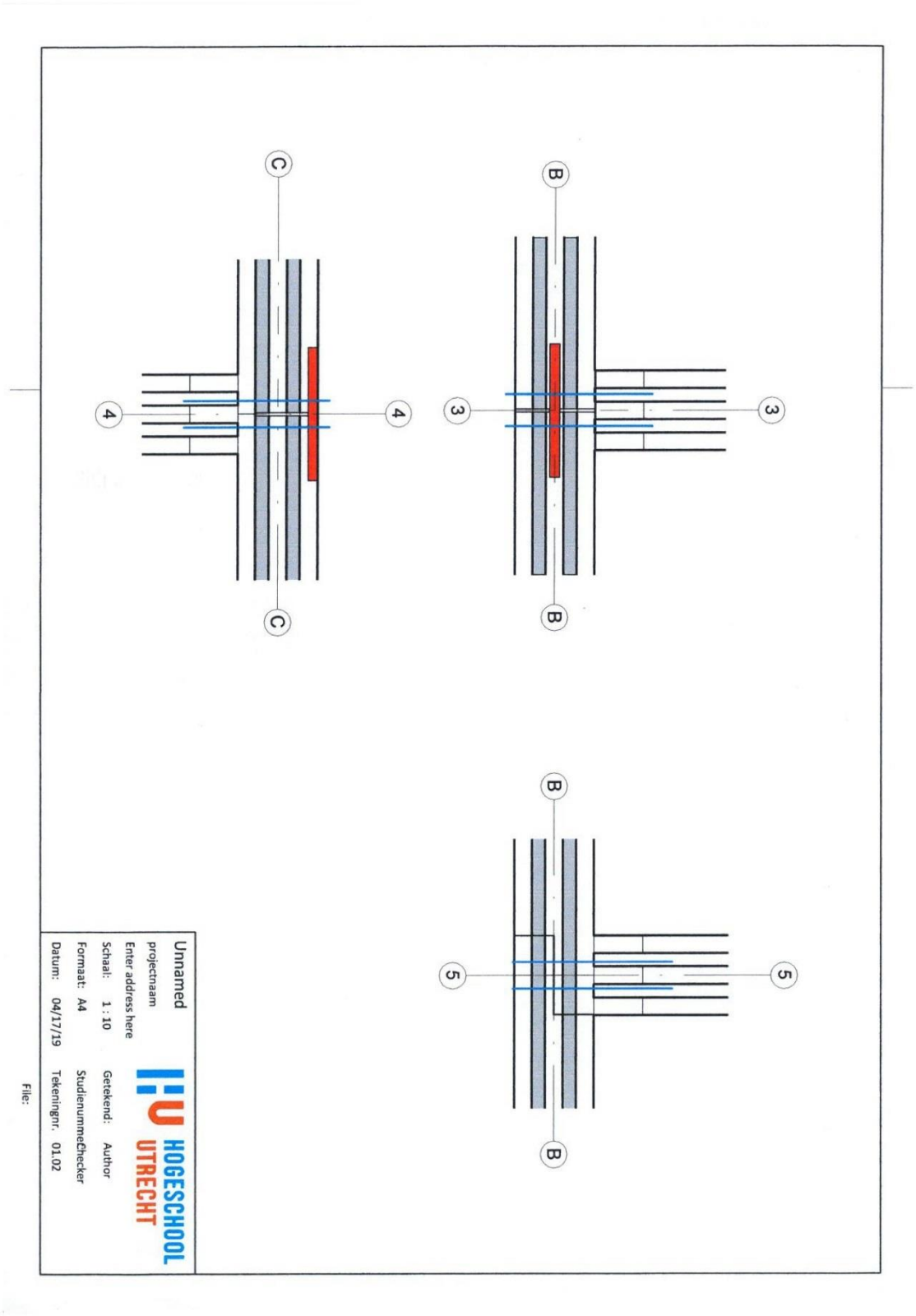


Figuur 1 - Oplossing berekening verbinding

Naar aanleiding van deze informatie heb ik besloten om de deling van de wand op een andere plaatst te realiseren. Ik heb het nog wel bij een koppeling van een dwarswand gedaan, maar bij een kleine wand waar er geen koppeling met de evenwijdige wanden nodig is. Op die manier is er geen ingewikkelde verbinding nodig en zijn er geen grote krachten die door de verbinding opgenomen dienen te worden.

De tekeningen op figuur 2 (volgende pagina) heb ik gebruikt om mijn vraag aan Bertjan voor te leggen. Met behulp van deze detailtekeningen kon ik helder met Bertjan communiceren hoe de verbinding eruit zou komen te zien en waar ik tegenaan liep.

[23] Competentie samenwerkend
[24] Competentie probleemoplossend



Figuur 2 - Tekeningen die ik liet zien en gebruikte voor mijn toelichting

Bijlage C.4 - Logboek[25]

[25] Competentie organiserend

Logboek

Naam	Arno	Hilgeman
Studentnr.	1573532	
Periode	Afstuderen	

Week 1						
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	4-2-2019	Oriëntatie	Orientatie op opzet PvA	Opzet PvA	Literatuur onderzoek PvA, onderzoeksvragen opzetten		8,5
Dinsdag	5-2-2019	Oriëntatie	Orientatie op opzet PvA	Opzet PvA, onderzoeksvragen	Onderzoeksvragen herformuleren, vooronderzoek uitvoeren		8,5
Woensdag	6-2-2019	Oriëntatie	herformuleren onderzoeksvragen, vooronderzoek	Onderzoeksvragen en vooronderzoek	Vragen presenteren aan opdrachtgever. POP opstellen.	Zoektermen: Kruislaaghout, CLT hout, massieve houtbouw	8,5
Donderdag	7-2-2019	Oriëntatie	Vragen/aanleiding/doelstelling presenteren. POP opstellen	Onderzoeksvragen gevalideerd bij opdrachtgever, PvA aangevuld, POP opgesteld.	Vragenlijst voor bouwbeurs, lijst met bedrijven opstellen		6
Vrijdag	8-2-2019	Oriëntatie	Bouwbeurs, POP literatuur zoeken	Contact met leveranciers en ontwikkelaars, POP aangevuld.	POP uitwerken		8

Week 2						
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	11-2-2019	Oriëntatie	POP aangevuld, literatuur onderzoek POP.	POP concept af	Literatuuronderzoek starten	Feedback op onderzoeksvragen nodig vanuit HU. Geen contact kunnen krijgen.	7
Dinsdag	12-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	Literatuur onderzoek	Bronnen verzameld	Literatuur onderzoek	Literatuur onderzoek begonnen, omdat ik geen contact krijg met begeleiders van de HU. Onderzoeksvragen konden nog niet gevalideerd worden.	8,5
Woensdag	13-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	Literatuur onderzoek	Bronnen verzameld en geanalyseerd. Theoretisch kader onderzoek aangevuld.	Literatuur onderzoek, PvA optimaliseren.	Vandaag bericht gehad van HU begeleiders. Komende dinsdag bespreking.	8
Donderdag	14-2-2019	Literatuur ond.	Literatuur onderzoek, theoretisch kader	Bronnen verzameld en geanalyseerd. Theoretisch kader onderzoek aangevuld.	POP optimaliseren		8,5
Vrijdag	15-2-2019		Afwezig ivm bruiloft				

Week 3							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	18-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	POP aangevuld, voorbereid op gesprek stagebegeleiders, literatuur onderzoek	POP concept af, Literatuuronderzoek verder uitgewerkt	Gesprek met stagebegeleiders school		8,5
Dinsdag	19-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	POP nagelopen, gesprek met begeleiders, literatuur onderzoek	Literatuur bestudeerd	Feedback begeleiders verwerken.		8,5
Woensdag	20-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	POP aangepast, PvA aangepast, massieve houtbouwprojecten geanalyseerd.	POP concept af, PvA concept af, Literatuuronderzoek verder uitgewerkt	Literatuur onderzoek voortzetten		8,5
Donderdag	21-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	Literatuur bestuderen en theoretisch kader verder uitwerken	Literatuur bestudeerd en informatie verwerkt	Literatuur onderzoek voortzetten		4
Vrijdag	22-2-2019	Oriëntatie/ literatuur ond.	PvA aangepast, Literatuur onderzoek verder uitgewerkt	Rekenregels vastgesteld	Literatuur onderzoek voortzetten		9

Week 4							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	25-2-2019	Literatuurond.	Diverse rekenmethodes geanalyseerd	Rekenmethode grotendeels in word en excel gezet. Gecontroleerd met CLTDesigner	Sterkteberekening afmaken		9
Dinsdag	26-2-2019	Literatuurond.	Diverse rekenmethodes geanalyseerd. Eurdcode 5 geanalyseerd voor stabiliteit,	Rekenmethode grotendeels in word en excel gezet. Gecontroleerd met CLTDesigner	Onderzoeksmethodiek uitwerken (H2)	Relatieve slankeheid tbv knik komt niet goed uit.	9
Woensdag	27-2-2019	Literatuurond.	Theoretisch kader onderzoeksverslag uitgebreid, onderzoeksmethodiek uitgewerkt.	Opzet van theoretisch kader (H3)	Maatregelen tegen geluid omschrijven		9
Donderdag	28-2-2019	Literatuurond.	Maatregelen tegen geluid	De maatregelen die genomen kunnen worden voor geluidsisolatie omschreven	Rekenvoorbeeld rekenmethodes		9
Vrijdag	1-3-2019	Literatuurond.	Rekenvoorbeeld uitgewerkt voor doorbuiging en optredende spanning.	Een vergelijk tussen de verschillende soorten rekenmethodes	De doorbuiging komt nog niet overeen met het rekenprogramma "CLTdesigner"	CLTdesigner rekent anders met de K-methode dan het CLT handboek	9

Week 5							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	4-3-2019	Oriëntatie	Feedback geven aan medestudenten.	PvA en POP van medestudenten zijn voorzien van feedback	Bijeenkomst kennisteam.		8
Dinsdag	5-3-2019	Oriëntatie	Feedback gegeven en ontvangen tijdens de bijeenkomst. Ontvangen feedback verwerken.	Onderzoeksvagen zijn te breed. Deze dienen specificer gemaakt te worden. Meer de focus leggen op verbindingen. Onderzoeksvragen opnieuw geformuleerd.	Opnieuw geformuleerde onderzoeksvragen opsturen naar Olaf voor feedback. PvA feedback verwerken.	Meer toespitsen op de constructieve details. Hoogte van een gebouw bepalen aan de hand van de verschillende soorten details.	9
Woensdag	6-3-2019	Oriëntatie	Feedback op PvA/POP verwerken.	Vragen opgestuurt naar Olaf voor feedback. PvA aangepast en aangevuld.	POP aanpassen naar aanleiding van feedback.		5
Donderdag	7-3-2019	Oriëntatie	Feedback op PvA/POP verwerken.		POP aanpassen naar aanleiding van feedback.		5
Vrijdag	8-3-2019	Literatuur ond.	Literatuur onderzoek verwerkt in onderzoeksverslag	Theoretisch kader in onderzoeksverslag is bijna af. Lijst met punten voor bespreking.	Bespreking met Gert-Jan	tot nu toe 4000 woorden in hoofdverslag. Theoretisch kader moet waarschijnlijk wat compacter	9

Week 6							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	11-3-2019	Uitwerking	Bespreking met opdrachtgever. Uitgangspunten casus opstellen.	Hoofdvraag is opnieuw geformuleed. De uitgangspunten van de casus zijn opgesteld.	Ontwerpvarianten opstellen. PvA opsturen naar stagebegeleider. Contact opnemen met architect.	Stagebegeleider vanuit school is eindelijk toegewezen.	9
Dinsdag	12-3-2019	Uitwerking	Uitgangspunten verder uitwerken.	Uitgangspunten verder uitgewerkt.	Brandwerendheid afwerking berekenen.		9
Woensdag	13-3-2019		Vrij ivm bruiloft				
Donderdag	14-3-2019		Vrij ivm bruiloft				
Vrijdag	15-3-2019		Vrij ivm bruiloft				

Week 7							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	18-3-2019		Vrij ivm bruiloft				
Dinsdag	19-3-2019		Vrij ivm bruiloft				
Woensdag	20-3-2019		Vrij ivm bruiloft				
Donderdag	21-3-2019		Vrij ivm bruiloft				
Vrijdag	22-3-2019		Vrij ivm bruiloft				

Week 8							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	25-3-2019	Uitwerking	Bepalen brandwerendheid van de voorzetwanden, vloeren en plafonds.	Brandwreendheid van de materialen is berekend	Windbelasting berekenen	Nog geen bericht van stagebegeleider ontvangen.	9
Dinsdag	26-3-2019	Uitwerking	Windbelasting bepalen, gewichtsberekening opgezet	Opzet gewichtsberekening	Verder uitwerken		8,5
Woensdag	27-3-2019	Uitwerking	Windbelasting bepalen, gewichtsberekening opgezet	Opzet gewichtsberekening en overzicht optredende spanningen	Verder uitwerken		9
Donderdag	28-3-2019	Uitwerking	Gewichtsberekening aangepast	Gewichtsberekening is zo goed als klaar	Gewichtsberekening aanvullen		9
Vrijdag	29-3-2019	Uitwerking	Gewichtsberekening aangepast	Gewichtsberekening is zo goed als klaar	Verbindingen uitwerken		9

Week 9							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	1-4-2019	Uitwerking	Onderzoek naar verbindingen. Bespreking met begeleider.	Opzet berekening verbindingen.	Verbindingen verder uitwerken.		9
Dinsdag	2-4-2019	Uitwerking	Bespreking op school. Feedback ontvangen en gegeven op school. Stijfheid van gebouw bepaald.	Feedback op onderzoeksverslag	Vragenlijst interview verder uitwerken.	Afspraak met Solidtimber gemaakt	9
Woensdag	3-4-2019	Uitwerking	Masterclass Enginear. Bijlagen bijgewerkt, interview vragen bijgewerkt en aangevuld.				9
Donderdag	4-4-2019	Uitwerking	Interview vragen aangevuld en opgestuurd.	Interview vragen zijn afgerond en naar de desbetreffende persoon gemaild.	Interview voorbereiden.		9
Vrijdag	5-4-2019	Uitwerking	Interview solidtimber. Optredende panningen bijgwerkt.	Intreview afgenomen. Interview uitwerken. Excel bestand met optredende spanningen is bijgewerkt. Gedrag van brand aangepast is de berekeningen.	Actielijst maken. Verbindingen berekenen.	Interview met Bas en Ard-Jan was erg interessant en leerzaam.	9

Week 10							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	8-4-2019	Uitwerking	Actielijst gemaakt. Verbindingen verder uitgezocht.	Verbindingen onderzocht en uitgewerkt.	Bijlagen bijwerken.		9
Dinsdag	9-4-2019	Uitwerking	Bijlagen bijwerken.	1e deel gewichtsberekening uitgetypt.	Gewichtsberekening verder uitwerken, bespreking met stagebegeleider.	Architect heeft geantwoord en contactpersoon ekoflin doorgegeven.	9
Woensdag	10-4-2019	Uitwerking	Gewichtsberekening verder uitgewerkt. Bespreking met stagebegeleider.				8
Donderdag	11-4-2019	Uitwerking	Interview voorbereiden, onderzoeksverslag verder uitgewerkt				9
Vrijdag	12-4-2019	Uitwerking	Gesprek met EkoFlin	Interview gehouden met Hugo Immink van Ekoflin	Verbindingen uitwerken		8

Week 11							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	15-4-2019	Uitwerking	Verbindingen uitwerken	Wand-wand verbinding uitgewerkt.	Bespreking school	Ragdah heeft stukken bijna letterlijkk overgenomen van mijn inleiding,dit vermelden bij de bijeenkomst.	8,5
Dinsdag	16-4-2019	Uitwerking	Bespreking school. Onderzoeksverslag bijgewerkt.	Feedback vergkregen op het gebied van brand. Dit verder uitzoeken.		Mail sturen naar Annemarijn Arends betreft bronvermelding van de bijlagen.	9
Woensdag	17-4-2019	Uitwerking	Gesprek met begeleiders	Aansturing gehad voor het onderzoek. Verbindingen verder uitwerken.		Naar aanleiding van het gesprek met stagebegeleiders het onderzoek iets aangepast.	9
Donderdag	18-4-2019	Uitwerking	Casus ontwerp verder uitgewerkt. Verslag overzichtelijker gemaakt.	Het verslag is nu overzichtelijkeren bepaalde keuzes zijn sterker onderbouwd en toegelicht	Casus verder uitwerken.	Contactpersoon Bertjan heeft nog niet opgenomen	9
Vrijdag	19-4-2019	Uitwerking	Verslag aangevuld		Contact opnemen met Bertjan	Nog geen contact gekregen met contactpersoon	8,5

Week 12							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	22-4-2019	Uitwerking	Sterkte verbindingen uitwerken				9
Dinsdag	23-4-2019	Uitwerking	Sterkte verbindingen uitwerken				9
Woensdag	24-4-2019	Uitwerking	platformbouwmethode uitwerken, sterkte verbindingen uitwerken		Rapport opmaken en zoveel mogelijk aanvullen voor 80% peiling		9
Donderdag	25-4-2019	Uitwerking	platformbouwmethode uitwerken, sterkte verbindingen uitwerken		80% peiling ingeleverd	Bestand met berekeningen is zoekgeraakt, moet opnieuw uitgewerkt worden.	9
Vrijdag	26-4-2019	Uitwerking	Platformouwmethode uitwerken, sterkte verbindingen uitwerken				9

Week 13							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	29-4-2019	Uitwerking	Interview met Bert-Jan	Meer informatie en inzicht verkregen vanuit de praktijk. Ik heb mijn vragen voorgelegd en heb duidelijk antwoord gekregen op de vragen die ik had.	Ontwerp van verbinding 3 aanpassen. Feedback verwerken in het onderzoeksverslag		11
Dinsdag	30-4-2019	Uitwerking	Ontwerp aangepast aan de hand van feedback van Bertjan	Feedback die ik heb ontvangen heb ik verwerkt in het verslag.	Verbindingen verder uitwerken		10
Woensdag	1-5-2019	Uitwerking	Uitwerking van de verbindingen		Verbindingen verder uitwerken		10
Donderdag	2-5-2019	Uitwerking	Uitwerking van de verbindingen				10
Vrijdag	3-5-2019	Uitwerking	Bruiloft				0

Week 14							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	6-5-2019	Uitwerking	Feedback ontvangen van externe deskundige	Terugkomdag voorbereiden. Toegezonden stukken controleren en voorzien van feedback	Terugkomdag bijwonen		9
Dinsdag	7-5-2019	Uitwerking	Terugkomdag school	Feedback ontvangen van Olaf Verschuren op het onderzoeksrapport.	Feedback verwerken in het onderzoeksverslag	Feedback gekregen op mijn onderzoek. De verbindingen dienen getoetst te worden op gecombineerde spanningen wanneer deze optreden.	11
Woensdag	8-5-2019	Uitwerking	Feedback van de terugkomdag verwerkt. Verbindingen toetsen op gecombineerde spanningen	De verbindingen zijn, indien nodig, opnieuw getoetst.			10
Donderdag	9-5-2019	Uitwerking	Onderzoek gedaan naar spanningen in latei boven sparing	Overleg gehad met verschillende deskundigen en tot de conlusie gekomen dat er geen spanningen optreden in de latei waar rekening mee gehouden dient te worden.	Onderzoeksverslag aanvullen		10
Vrijdag	10-5-2019	Uitwerking	Hoofdstuk 5 onderzoeksrapport opgezet	Conclusie, discussie en aanbevelingen zijn opgezet			9

Week 15							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	13-5-2019	Uitwerking	Feedback ontvangen van bedrijfbegeleider, onderzoeksverslag aangevuld, reflectieverslagen geschreven	Conclusie en discussie aangevuld. Verschillende reflectieverslagen geschreven.	Reflectieverslag schrijven.		9
Dinsdag	14-5-2019	Uitwerking	Reflectieverslagen geschreven, feedback bedrijfsbegeleider verwerkt, onderzoeksverslag verder uitgewerkt	De feedback die ik heb ontvangen heb ik verwerkt in het verslag. De conlusie is verder aangevuld.	Reflectieverslag schrijven. Conclusie aanvullen. Bijlagen opmaak bijwerken		9
Woensdag	15-5-2019	Uitwerking	Opmaak bijlagenboek bijgewerkt, relfectieverslagen geschreven.	De figuren en tabellen in de bijlagen zijn genummerd. Verschillende opzetten gemaakt voor reflectieverslagen.	Reflectieverslagen verder uitschrijven. Conclusie bijwerken.		9
Donderdag	16-5-2019	Uitwerking	Reflectieverslagen geschreven, conclusie verder uitgewerkt, spelling controle hoofdverslag t/m methodiek	Verschillende reflectieverslagen gemaakt. Conclusie aangevuld	Reflectieverslagen verder uitschrijven. Woorden hoofdrapport schrappen.		9
Vrijdag	17-5-2019	Uitwerking	Reflectie verslagen geschreven	Reflectieverslagen concept af.	Woorden schrappen, overal reflectie schrijven		9

Week 16							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag	20-5-2019	Afronding	Woorden schrappen, overal reflectie aangevuld	Onderzoeksverslag opmaak verbeterd. Concept portfolio af.	Terugkomdag (Vragenlijst uitprintinten), interviews uittypen	Er moeten nog 1200 woorden geschrapt worden. Vragenlijst voor terugkomdag opgesteld met zaken die ik moet weten.	9
Dinsdag	21-5-2019	Afronding	Terugkomdag school	Interview uitgewerkt	Woorden schrappen hoofdverslag, spelling controleren		9
Woensdag	22-5-2019	Afronding	Woorden schrappen hoofdverslag, spelling controle bijlage A.1-B.4, Interview uitwerken.	Woorden geschrapt hoofdverslag, spellin gecontroleerd.	Interiew verder uitwerken, spelling controle, woorden schrappen, portfolio aanpassen, conclusie bijwerken	Nog 400 woordens chrappen hoofdverslag	11
Donderdag	23-5-2019	Afronding	Laatste interview uitgewerkt, woorden geschrapt en conclusie bijgewerkt.	De conclusie is aangescherpt en het hoofdverslag bestaat nu uit 6000 woorden. De samenvatting van het interview met Hugo Immink is geschreven	Extra spellingcontrole bijlagen, portfolio aanvullen, voetnoten in hoofdverslag/bijlagen bijwerken.		11
Vrijdag	24-5-2019	Afronding	Spelling controle, aanvulling waar nodig.	Bijlagen zijn gecontroleerd op spelling	Hoofdverslag nogmaals controleren op spelling en zinsopbouw, portfolio aanvullen, voetnoten in hoofdverslag/bijlagen bijwerken.		9

Week 17							
Dag	**Datum**	**Fase**	**Procesactiviteit**	**Resultaat**	**Actielijst volgende dag**	**Aantekeningen**	**Aantal uur**
Maandag *Dinsdag* *Woensdag* *Donderdag* *Vrijdag*	27-5-2019	Afronding/ inleveren	Producten nagelopen, samengevoegd en ingeleverd.	Afstudeer producten zijn klaar en ingeleverd.	Presentatie voorbereiden		11