Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Bijlagen

Verzamelbestand



In dit document zijn alle bijlagen weergegeven.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

Bijlage 1: Voorstudie 3
Bijlage 2: Plan van Aanpak 100
Bijlage 3: Veldonderzoek Toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodiek 140
Bijlage 4: Eisen functie-flexibel ontwerpen 184
Bijlage 5: Stramienplan 200
Bijlage 6: Installatieconcept 217
Bijlage 7: Variantenstudie 235

Bijlage 1: Voorstudie

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Voorstudie

Bijlage 1



In dit document wordt middels literatuur opgedane kennis op het gebied van houtbouw gerapporteerd.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Voorwoord

In dit document is de literatuur over houtbouw beschreven. Deze literatuur heeft antwoord gegeven op vooraf opgestelde deelvragen. De voorstudie is in het begin van het afstudeerproces gemaakt en zal de basis voor de benodigde informatie vormen. Aan de hand van deze voorstudie kan een meer gerichte en afgebakende onderzoeksvraag geformuleerd worden.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Bob van Alst

Stijn van den Broek

Bemmel, 22 februari 2021

Leeswijzer

Dit rapport is een verslaglegging van de vooraf opgestelde deelvragen ten behoeve van de beschikbare informatie met betrekking tot houtbouw.

Hieronder volgt de leeswijzer met de inhoud per hoofdstuk.

Beschrijving hoofdstukken
Hoofdstuk 0: Inleiding
Hoofdstuk 1: Houtbouw en milieu In dit hoofdstuk wordt de noodzaak van houtbouw aangetoont door middel van klimaatgerelateerde, sociale, politiek-juridische en technische ontwikkelingen.
Hoofdstuk 2: Houtbouwmaterialen In dit hoofdstuk worden alle soorten houtbouwmaterialen inclusief eigenschappen en toepassingen weergegeven.
Hoofdstuk 3: Referentieprojecten In hoofdstuk 3 staan de referentieprojecten, welke zijn uitgevoerd of nog ontwikkeld worden, centraal. Hierbij zijn de toepassingsmogelijkheden van houtbouw benadrukt.
Hoofdstuk 4: Constructieve opbouw houtconstructies In dit hoofdstuk staat het ontwerpen van houtconstructies centraal. Ook is de vergelijking gemaakt tussen gemodificeerde houtbouw en houtskeletbouw.
Hoofdstuk 5: Rekenen aan houtconstructies In hoofdstuk 5 is onderzocht wat en hoe aan houtconstructies gerekend kan worden. Dit heeft betrekking op constructieve, bouwfysische en brandtechnische berekeningen.
Hoofdstuk 6: Conclusie Hierin wordt geavalueerd op de resultaten van het vooronderzoek en de toepassing hiervan op het afstudeeronderzoek.
Hoofdstuk 7: Literatuurlijst In de literatuurlijst staan alle, tijdens de voorstudie, geraadpleegde bronnen/literatuur.

<u>Bronvermelding</u>

In verband met de grote diversiteit van bronnen en literatuur kan het toevoegen van broncitaten leiden tot een onleesbare verslaglegging. Met deze reden is gekozen om tekstueel toe te lichten welke literatuur is geraadpleegd om de benodigde informatie te vergaren. Dit zal aan het begin van elke deelonderwerp vermeld worden. Uiteraard zullen letterlijke citaten, grafieken en afbeeldingen los voorzien worden van broncitaten. Dit zal verlopen volgens de APA-richtlijnen.

Inhoudsopgave

Voorwoord 2
Leeswijzer 3
Inleiding 5
1.0 Houtbouw en milieu 6
1.1 Invloed CO_2 bouwmaterialen 7
1.2 Uitputting en reserves gewonnen bouwmaterialen 11
1.3 Circulariteit in de bouwsector 14
1.4 Woningnood 16
1.5 Transformatie bouwsector 17
1.6 Houten revolutie 18
2.0 Houtbouwmaterialen 20
2.1 Glue Laminated Timber (Glulam) 21
2.2 Cross Laminated Timber (CLT) 22
2.3 Nail Laminated Timber (NLT) 23
2.4 Dowel Laminated Timber (DLT) 24
2.5 Laminated Veneer Lumber (LVL) 25
2.6 Parallel Strand Lumber (PSL) 26
2.7 Laminated Strand Lumber (LSL) 27
2.8 Houtskeletbouw (HSB) 28
3.0 Referentieprojecten 29
3.1 Project 1: HAUT 30
3.2 Project 2: Patch 22 31
3.3 Project 3: Mjøstårnet 32
3.4 Project 4: WOODIE Hamburg 34
3.5 Project 5: *Kea Boumanstraat* 35
3.6 Project 6: *Triodos Bank* 36
3.7 Project 7: Wood Innovation and Design Centre 37
3.8 Project 8: Klein Amsterdam 39
4.0 Constructieve opbouw houtconstructies 41
4.1 Constructieve opbouw gemodificeerde houtbouw 42
4.2 Constructieve opbouw houtskeletbouw (HSB) 50
5.0 Rekenen aan houtconstructies 53
5.1 Constructief rekenen 54
5.2 Bouwfysisch rekenen 74
5.3 Brand-technisch rekenen 78
6.0 Conclusie/ samenvatting 86
7.0 Literatuurlijst 91

Inleiding

Gedurende de opleiding is onze interesse naar houtbouw gegroeid. Echter, dit steeds meer opkomende onderdeel binnen de bouwsector werd volgens ons onvoldoende belicht tijdens de bouwkundige studie. Onze interesse naar bouwen met hout uit zich voornamelijk in het constructief ontwerpen en toetsen. De vrijheid op het gebied van afstudeeronderwerpen welke is geboden tijdens de laatste fase van de studie, werd met beide handen aangegrepen en heeft geleid tot een onderzoek binnen de houtbouw.

Hierbij is ons oog gevallen op gemodificeerde houtbouw in relatie met functie-flexibele elementen- of modulaire bouw. Later is houtskeletbouw toegevoegd aan dit onderzoek. Het bepalen van een concreet en afgebakend afstudeeronderwerp bleek in de beginfase lastig door de gebrekkige kennis over dit onderdeel. Om dit proces in goede banen te leiden, is gekozen voor een relatief uitgebreid vooronderzoek. Deze voorstudie is geschreven om inzicht te krijgen over de informatie die beschikbaar is over houtbouw. Hieruit is de beschikbare informatie gevonden en samengevat welke het opstellen van een concrete hoofdvraag stimuleert.

Het vooronderzoek is opgezet aan de hand van vooraf opgestelde deelvragen. Deze kopjes staan hieronder vermeld en worden per hoofdstuk beantwoord.

- Wat is de relatie tussen houtbouw en het milieu?
- Welke houtbouw materialen/producten zijn beschikbaar op de markt en welke eigenschappen zijn hieraan verbonden?
- Welke referentieprojecten op gebied van houtbouw zijn beschikbaar en welke ontwikkeling/ kennis is relevant voor het onderzoek?
- Hoe wordt geconstrueerd met houtconstructies?
- Hoe wordt gerekend aan houtconstructies?

Gedurende de voorstudie is veel nieuwe informatie gewonnen welke een positieve bijdrage zullen leveren aan de hoofdvraag van het onderzoek en de uitwerking van het onderzoek.

1.0 Houtbouw en milieu

Om inzicht en een antwoord te krijgen op de vraag waarom houtbouw noodzakelijk is met betrekking tot de toekomst, dienen deelvragen opgesteld te worden. Een onderdeel hiervan staat hieronder vermeld als vraag:

'Wat is de relatie tussen houtbouw en het milieu?'

Om inzicht te krijgen in wat de relatie is tussen houtbouw en het milieu zijn de volgende onderwerpen geformuleerd:

- Invloed CO_2 bouwmaterialen
- Uitputting en reserves gewonnen bouwmaterialen
- Circulariteit in de bouwsector
- Woningnood
- Transformatie bouwsector
- Houten revolutie

1.1 Invloed CO_2 bouwmaterialen

1.1.1 Invloed CO_2 op klimaat

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website van de Rijksoverheid (Ministerie van Infrastructuur en Waterschap, 2020-a), waarop Klimaatverandering en gevolgen worden beschreven.*
- *Website van KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, z.d.), waarop uitleg over Broeikaseffect wordt beschreven.*
- *Website van WUR (Wageningen University & Research, z.d.), waarop de oorzaken van de klimaatverandering uitgelegd worden.*

Klimaatverandering

Het klimaat in de wereld is dynamisch en verandert door invloeden van de mens en natuur. Klimaatverandering heeft consequenties voor mens, natuur en milieu.

Oorzaken klimaatverandering

De aarde wordt verwarmd door de zon, de warmte straalt de aarde weer uit. Door broeikasgassen wordt de warmtestraling van de aarde vastgehouden (broeikaseffect). Zonder het broeikaseffect zou de wereld relatief kouder zijn dat de huidige temperatuur. Door een toenamen van broeikasgassen ontstaat een opwarmende atmosfeer. Belangrijke boeikasgassen die door menselijke handelingen toenemen, zijn CO_2 (kooldioxide), CH_4 (methaan), N_2O (lachgas) en O_3 (ozon). De opwarmende atmosfeer zorgt voor een toename aan waterdamp, hierdoor zullen veranderingen plaatsvinden in hoeveelheid wind, bewolking en neerslag.

Gevolgen klimaatverandering

De gevolgen van klimaatverandering wordt hieronder puntsgewijs beschreven:

- In afgelopen 130 jaar is de temperatuur 1 graad gestegen op aarde en is de zeespiegel met 20 centimeter gestegen. In Nederland is de temperatuur gestegen met 1,7 graden.
- De gebieden waar dieren en planten leven verandert. Hierdoor sterven meer dieren en planten uit of veranderen van leefgebied. Voor sommige dieren en planten vergroot het leefgebied door klimaatveranderingen.
- Door klimaatverandering komt extreem weer vaker voor, bijvoorbeeld: stortregen, zware stormen en ontstaan drogen en heten periodes.
- Door klimaatverandering is Nederland gevoelig voor overstromingen door het stijgen van de zeespiegel.
- Tekort aan drinkwater of voedsel kan ontstaan door klimaatveranderingen.
- Door klimaatveranderingen kunnen mensen veranderen van leefgebied wat kan leiden tot economische schade voor Nederland.
- Door veranderingen in luchtvochtigheid, neerslag en temperatuurverschil kunnen gezondheidsproblemen ontstaan, bijvoorbeeld: luchtwegproblemen, luchtvervuiling, allergieën en infectieziektes.

1.1.2 Uitstoot CO_2 bouwmaterialen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Rapport van de Circl Economy (Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020), waarin CO_2 uitstoot per materiaal beschreven wordt.*

Per bouwmateriaal is de uitstoot van CO_2 anders. Om inzicht te krijgen per bouwmateriaal is gebruik gemaakt van de CoP Houtbouw Whitepaper: Bouwen aan een houten toekomst van Erik Bronsvoort. Hierin is een berekening gemaakt per bouwmateriaal hoeveel CO_2 het materiaal uitstoot. Dit is omgerekend naar ton CO_2/m^3 product. In de tabel 1 hieronder is de informatie weergeven uit de berekening van de whitepaper:

CO_2 uitstoot per materiaal									
Producten		**NL-sfb code**	**Milieu classificatietabel**	**Gewicht (kg)**	**dichtheid (kg/m^3)**	**Global Warming Potential (per functionele eenheid) (kg CO_2-eq)**	**Global Warming Potential (kg CO_2 per ton)**	**Global Warming Potential (kg CO_2 per m^3)**	**ton CO2 emissie/ m^3 product**
Cement	CEM I NL 52,5 R (NMD)	Informatie afkosting uit Milieu database		1000,00	2000	1188	1188	2376	**2,376**
Gewapend beton	Breedplaatvloer (dikte 200 mm)	23.02	verdiepingsvloer (overspanning van 5,4 m)	507,40	2400	141,9	280	671	**0,671**
Constructie staal	Plaatmateriaal interieurbouw	22.23	plaatmateriaal interieurbouw	5,50	7800	14,8	2719	21211	**21,211**
Baksteen	Baksteen-metselwerk	21.01	binnenspouwblad	185,80	1800	46,9	253	455	**0,455**
Keramische dakpan	Dakpan keramisch 75 mm overlap	47.05	dakbedekking hellend dak	44,70	3000	22,8	510	1529	**1,529**
Glas (HR++)	HR ++ isolatieglas in aluminium frame	31.04	deur (buitengevel)	33,50	2500	61,5	1838	4596	**4,596**
Hout Gelammineerd Europees zachthout	Europees zachthout: gevinglast/gelaminneerd; db	32.01	deurkozijn (binnen)	2,80	500	1,6	556	278	**0,278**
Hout		TNO voorstrel LCA methode							**0**

Tabel 1 – CO2 uitstoot per bouwmateriaal, informatie is afkomstig uit Bouwen aan een Houten toekomst door (p. 45) Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020.

In de tabel 1 worden absolute waardes benoemd. Echter, zal per bouwmateriaal gekeken moet worden hoeveel kubieke meter (m^3) toegepast wordt per project/ in de bouwsector. Wanneer de juiste hoeveelheden materiaal bekend zijn kan een correcte uitstootvergelijking opgesteld worden. Dit is verder te lezen in hoofdstuk: *1.2.1 Toepassing bouwmaterialen huidig.*

1.1.3 CO_2 opname hout

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel van Centrum Hout (Centrum Hout, 2013), waarin het groeiproces van bomen wordt beschreven.*
- *Internetartikel van Forest Learning (Leys, z.d.), waarin beschreven staat hoe bomen CO_2 opslaan.*
- *Website van de J.P. van Eesteren (J.P. van Eesteren, 2018), waarop de opslag van CO_2 in houtmateriaal wordt beschreven.*
- *Website van de MetsäWood (MetsäWood, z.d.-a), waarop de opslag van CO_2 in houtmateriaal wordt beschreven.*

Groeiproces bomen

Voor de groei van bomen zijn de belangrijke levensprocessen: ademhaling, aanmaken van voedingstoffen, waterhouding en de stamontwikkeling. Voor de opname van CO_2 is het levensproces, het aanmaken van voedingstoffen, van belang.

Aanmaken van voedingstoffen: Bomen (groene planten) maken zelf zetmeel aan die nodig is voor de groei. Voor dit levensproces zijn CO_2, water en zonnewarmte nodig. Dit levensproces is het omgekeerde proces van ademhaling en vindt overdag plaats.

Formule: CO_2+H_2O+zonnewarmte (energie) → zetmeel + O_2

CO_2 opslag bomen

Bomen houden CO_2 vast in het hout. Tijdens het productieproces van het ontwikkelen van houtproducten komt relatief weinig CO_2 uitstoot vrij. Door verbranding van hout en biologische afbraak komt de opgeslagen CO_2 weer vrij. Doordat bomen geoogst, getransporteerd en verwerkt worden tot bruikbaar hout zal een kleine hoeveelheid CO_2 extra uitgestoten worden. Hierdoor kan hout worden beschouwd als bijna CO_2 neutraal.

De gemiddelde CO_2 opslag van een boom is 1 ton CO_2/ m^3 boom. Dit is zeer afhankelijk van de groeicondities, soort boom, leeftijd van de boom en de dichtheid van het bos. Door de kleine extra uitstoot van CO_2 zoals hierboven beschreven wordt door leveranciers/ informatie uit referentieprojecten voor hout tussen de 1000 en 650 kg CO_2/ per m^3 hout aangehouden.

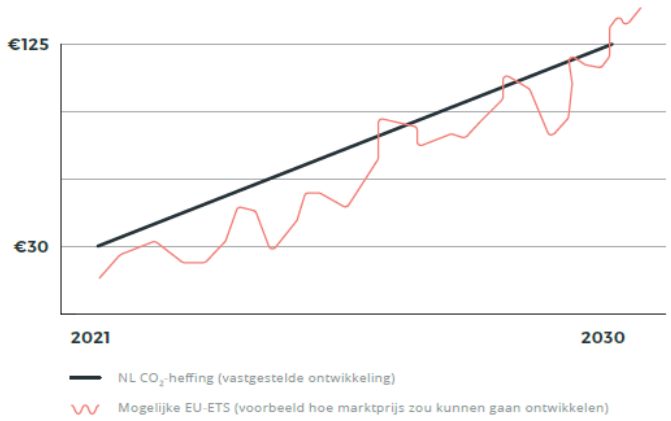
1.1.4 CO_2-belasting

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Rapport van de Circl Economy (Bronsvoort, Veldboer, te Slaa, & Kaptein, 2020), waarin uitleg wordt geven over de CO_2 belasting.*

Om de klimaatdoelen te gaan halen zal de Europese overheid naast het verscherpen van de MPG-eis (Milieu Prestatie Gebouw) een CO_2-belasting introduceren. Het doel is om de kosten van CO_2-uitstoot mee te nemen in overwegingscriteria van de toepassing van materialen. Deze CO_2-belasting is per 1 januari 2021 ingevoerd. Deze heffing wordt toegepast op de CO_2-emmisies van ETS installaties in de industrie, afvalverbrandingen en specifieke processen waarbij lachgas (N_2O) vrijkomt. In het beginstadium van deze belasting bedraagt deze €30,- per ton uitgestoten CO_2. Dit bedrag zal naar verwachting op gaan lopen tot €125,- per ton uitgestoten CO_2. Binnen de Europese Unie wordt een bodembedrag vast gesteld aan deze heffing, deze staan vastgesteld in de EU ETS (European Emission Trading System). Als de EU ETS hoger zijn dan de Nederlandse CO_2-heffing dan zal de EU ETS van kracht zijn. In de grafiek hiernaast (grafiek 1) is de ontwikkeling te zien van de Nederlandse CO_2-heffing en de EU ETS.

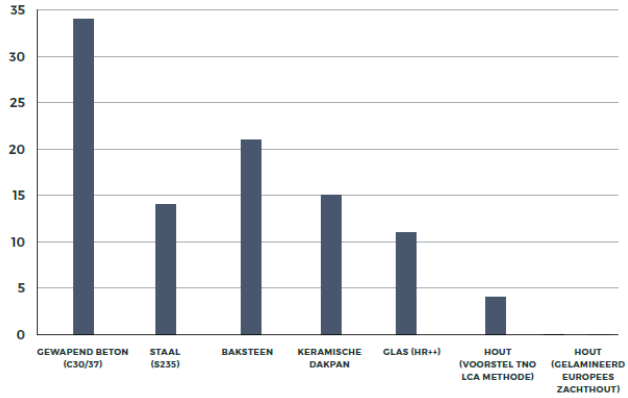
FIGUUR 3: ONTWIKKELING VAN NL CO2-HEFFING EN EU-ETS



Grafiek 1 – ontwikkeling CO_2-heffing, overgenomen uit Bouwen aan een Houten toekomst figuur 3 (p. 31) door Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020.

In de CoP Houtbouw Whitepaper: Bouwen aan een houten toekomst van Erik Bronsvoort is een berekening gemaakt voor de kostprijs van materialen in 2030 met een CO_2-heffing van €125,- per ton uitgestoten CO_2. Deze is weergeven in een grafiek (grafiek 2) hiernaast. In deze grafiek is af te lezen dat de kostenprijs van de materialen gewapend beton, staal, baksteen met een percentage van tussen de 14% en 34% zal stijgen in 2030. Daar in tegen zal hout/ gelamineerd hout met een percentage stijgen tussen de 0% en 5%. Hierdoor is te concluderen dat kostprijs van houtmaterialen door middel van de CO_2-belasting relatief weinig zal stijgen tot 2030.

FIGUUR 4: GEMIDDELDE TOENAME KOSTPRIJS MATERIALEN DOOR CO_2-HEFFING VAN €125/TON CO_2 (IN %)



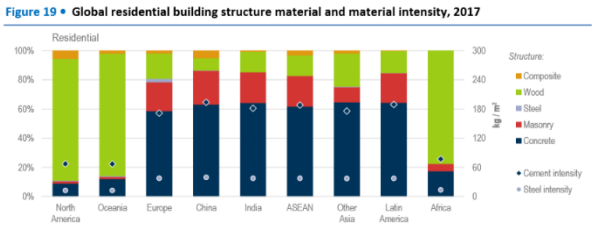
Grafiek 2 – toename kostprijs materialen, overgenomen uit Bouwen aan een Houten toekomst figuur 4 (p. 33) door Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020.

1.2 Uitputting en reserves gewonnen bouwmaterialen

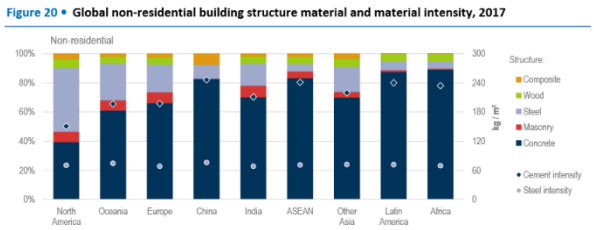
1.2.1 Toepassing bouwmaterialen huidig

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Rapport van de IEA & UN (International Energy Agency and the United Nations Environment Programme, 2018), waarin het huidig materiaalgebruik in de bouwsector beschreven staat.*
- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin het huidig materiaalgebruik in de bouwsector beschreven staat.*



Grafiek 3 – percentage materiaal gebruik woonfunctie, overgenomen uit 2018 Global Status Report figuur 19 (p. 45) door International Energy Agency and the United Nations Environment Programme, 2018.



Grafiek 4 – percentage materiaal gebruik overige functies, overgenomen uit 2018 Global Status Report figuur 20 (p. 45) door International Energy Agency and the United Nations Environment Programme, 2018.

Om inzicht te krijgen in het huidige gebruik van materialen in de bouwsector is gekeken naar de gemiddelde percentage gebruik van bouwmaterialen in een gebouw. Deze percentage staan beschreven in het Global Status Report van 2018. In deze grafieken (3 en 4) hieronder is beschreven hoeveel massapercentage materiaal er gebruikt wordt voor 1 m² vloeroppervlakte van een gemiddeld gebouw per regio. Binnen de grafieken wordt onderscheidt gemaakt tussen een woonfunctie (grafiek 3) en overige functies van een gebouw (grafiek 4). Vervolgens is per materiaal bepaald hoeveel kilogram CO_2 per de hierboven benoemde vierkante meter vloeroppervlak uitstoten wordt. Dit is berekend door middel van de percentages die in de grafieken 3 en 4 zijn af te lezen. Door het gebruiken van gegevens kg CO_2 per ton materiaal uit tabel: *1 – CO_2 uitstoot per bouwmateriaal* is tabel: *2 – Huidige CO_2 uitstoot in Europa* opgesteld.

Bevindingen/ toelichting tabel 2:

In de tabel is af te lezen dat het aandeel van hout met betrekking op de CO_2 uitstoot relatief laag is ten opzichte van beton en staal. Omdat de soortelijke gewichten van de materialen erg verschillen, kan geen absolute vergelijking gemaakt worden met betrekking op de onderlinge hoeveelheid toegepaste materialen. 1 kilogram beton zal constructief minder bijdrage leveren dan 1 kilogram hout, dit komt door de sterkte-gewicht ratio. Daarnaast kan deze tabel foutief worden afgelezen op het gebied van grootste uitstoot materiaal. Wanneer bijvoorbeeld hout een groot aandeel zou hebben in kg CO_2 per kg materiaal/m² vloeroppervlak betekend niet per direct veel CO_2 uitstoot per eenheid. Dit heeft namelijk te maken hebben met het volume dat toegepast wordt.

Huidige CO_2 uitstoot in Europa per gebouwd vierkante meter (m²) vloeroppervlakte						
Eenheden:	**materiaal:**	**Composiet**	**Hout**	**Staal**	**Metselwerk**	**Beton**
Geschatte percentage kg/m² van 300 kg/m² (%)	woonfunctie	2	18	3	19	58
	overige functies	2	4	19	8	67
Aantal kilogram per m² vloer oppervlakte gebouw (kg/m²)	woonfunctie	6	54	9	57	174
	overige functies	6	12	57	24	201
Global Warming Potential kilogram CO_2 per kilogram materiaal (kg CO_2/kg)	-	nvt	0,278	2,719	0,253	0,28
Aantal kilogram CO_2 per m² vloer oppervlakte gebouw (kg CO_2/ m²)	woonfunctie	nvt	**0,15**	**0,24**	**0,14**	**0,49**
	overige functies	nvt	**0,03**	**1,55**	**0,06**	**0,56**
Percentage kg CO_2 per m² vloer oppervlakte gebouw (%)	woonfunctie	nvt	**14,6**	**23,8**	**14,1**	**47,5**
	overige functies	nvt	**1,5**	**70,2**	**2,8**	**25,5**

Tabel 2 – Huidige CO_2 uitstoot in Europa, informatie is afkomstig uit Bouwen aan een Houten toekomst (p. 45). door Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020.

1.2.2 Beschikbaarheid materialen toekomst

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de beschikbaarheid van materialen in de toekomst is beschreven.*

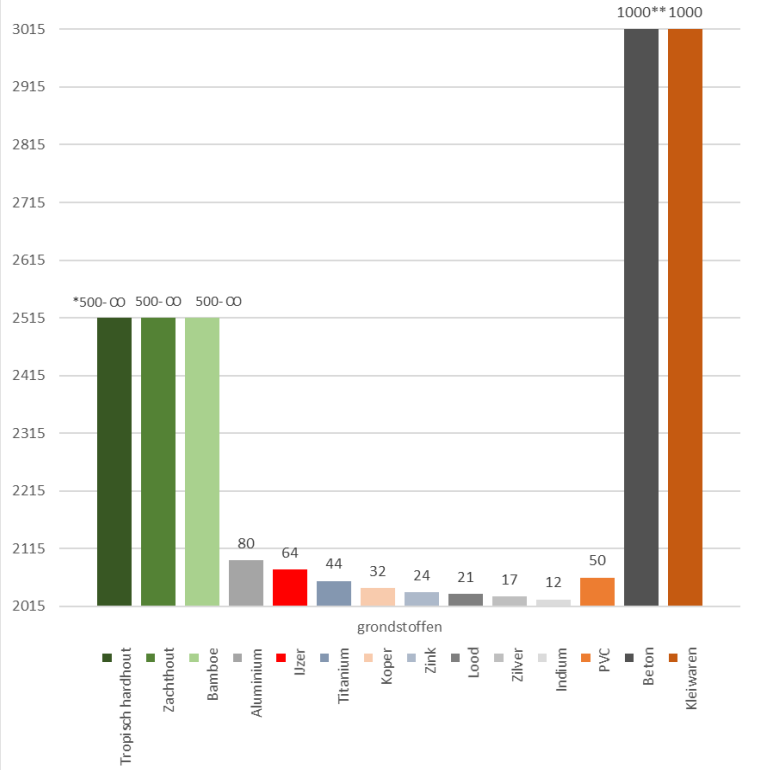
De bouw en civiele sector zijn een grote afnemer van materialen. De sector gebruikt samen circa 44% van de totale gewonnen materiaalhoeveelheid. Het totale materiaalverbruik binnen de wereldeconomie is 92,8 gigaton per jaar, waarvan 40,6 gigaton de bouw- en infrasector verbruikt in 2015. Door snelle bevolkingsgroei en stedelijke ontwikkeling zal het materiaalverbruik snel stijgen.

Verwachtingen materiaal gebruik van 2050 ten opzichte van 2015:

- Europa verwacht een groei van het materiaalverbruik van 13%. Tot 2015 is 95 gigaton gebruikt in de sector. In 2050 wordt een totaal verbruik van 107 gigaton verwacht.
- China verwacht een enorme materiaalverbruik groei van 100% (verdubbeling). Tot 2015 is 239 gigaton gebruikt in de sector. In 2050 wordt een totaal verbruik van 562 gigaton verwacht.

Beton, staal, PVC

Er zijn nog voldoende middelen om beton en andere materialen te produceren die gebruik maken van mineralen. Echter neemt de voorraad van metaalmineralen af en zullen de reserves van sommigen binnen enkele tientallen jaren op zijn. Dit geldt voor lood (21 jaar), zink (24 jaar) en koper (32 jaar). Beton wordt wereldwijd met jaarlijks 10 gigaton geproduceerd. Dit staat gelijk aan 1 ton per jaar voor elk persoon op aarde. De hoofd bestandsdelen van beton zijn nog relatief overvloedig beschikbaar. Maar volgens wetenschappers zal zand schaars kunnen worden door het huidige winningsvolume van 28,6 Gt per jaar.



** gebaseerd op cijfers van bebossing/ ontbossing in tropische gebieden (huidig bosbeheer)*

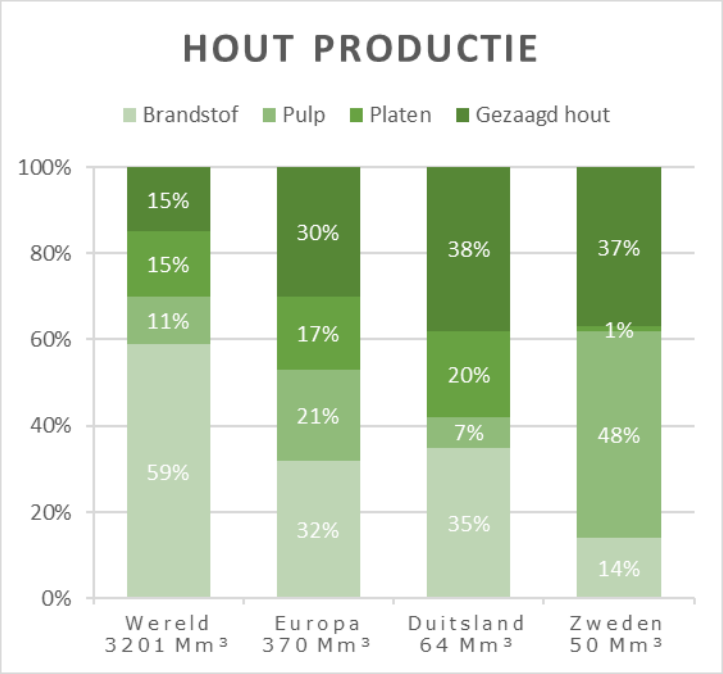
*** Dit kan lager zijn als er een schaarste voorkomt in de grondstof zand voor beton*

Grafiek 5 – Grondstoffen beschikbaarheid in jaren, uitgangsjaar 2015 informatie uit grafiek is afkomstig uit boek Tommorow's Timber figuur 1.04 (p. 17) door van der Lugt & Harsta, 2020.

Voor beton, staal en pvc producten is de uitputting niet het grootste probleem maar voornamelijk de productiemethode waarbij hoge temperaturen (vaak hoger dan 1500 graden Celsius) toegepast worden. Door de productie zijn veel fossiele brandstoffen of een hoog energieverbruik nodig. De productie van beton en staal staat gelijk aan 14% van de CO_2 uitstoot die door de mens veroorzaakt is. Het probleem bij deze materialen zal eerder bij de afneembare beschikbaarheid van fossiele brandstof liggen dan bij de uitputting van grondstoffen.

Hout

Hout is een theoretisch onbeperkt product. Maar in de praktijk moet gekeken worden naar de capaciteit van bosbeheer die beschikbaar is voor het produceren van houtproducten.



Grafiek 6 – Huidige materiaalstroom hout, informatie uit grafiek is afkomstig uit boek Tommorow's Timber figuur 2.03 (p. 39) door van der Lugt & Harsta, 2020.

Huidig gebruik:

Tot op heden wordt een groot aandeel van het volume loofhout afgezet als haardhout. Hierdoor zal de opgeslagen CO_2 van bomen naar circa 1 à 2 jaar weer terug in de atmosfeer uitgestoten worden. Naaldhout wordt gebruikt voor hoogwaardige houtproducten en voor de productie van houtvezels voor dierhouderij en energiepellets. In grafiek 6 hiernaast is het huidig gebruik van hout weergegeven.

Door bossen te certificeren kan dit hout als gecertificeerd hout verkocht worden en zal dit leiden tot duurzaam bosbeheer. Voor bepaalde bossen is dit niet rendabel *(Oldenburger et al, 2020)*.

Duurzaam bosbeheer:

Om te voorkomen dat te jongen bomen en volledige bossen gekapt worden is de certificering duurzame bosbeheer in het leven geroepen. Door duurzaam bosbeheer is het mogelijk om hout te gebruiken uit bossen zonder dat dit schade veroorzaakt aan het bos. Voor de certificering van duurzaam bosbeheer gelden de volgende eisen:

- Voor elke gekapte boom dient een jonge boom geplant te worden;
- Selectief kappen van volgroeide bomen;
- Minimale/maximale bosdichtheid;
- De biodiversiteit moet gewaarborgd blijven.

Beschikbaarheid toekomstig verbruik:

In vele onderzoeken is de beschikbaarheid van bossen beschreven voor het verbruik van hout. Echter is het lastig om in te schatten hoeveel hout er in de toekomst gebruikt gaat worden. In verschillende onderzoeken worden scenario's beschreven over het verbruik van hout in de toekomst. In vele onderzoeken wordt beschreven dat het gebruik van het beschikbare hout nuttiger gebruikt moet gaan worden (hoogwaardige houtproducten) waarbij een lange levensduur gewenst is. Hiermee zal de CO_2 langer vastgehouden worden voordat het in de atmosfeer terugkeert. Deze omslag zit voornamelijk in de biomassa energie (verbrandingsovens), om de benodigde houtcapaciteit voor het gebruik van constructiehout in de toekomst te bevoorraden.

In het onderzoek van NIBE 'Potentie van biobased materialen in de bouw' wordt de capaciteit van het bosbeheer hieronder beschreven *(van der Velden & van Leeuwen, 2019)*:

- Als de Europese houtproductie met 50% zal groeien, staat de beschikbaarheid van het hout voor in de bouw onder druk. Dit komt voornamelijk door de groei van de energieopwekking met hout.

In het onderzoek van stichting Probos 'Meer hoogwaardig gebruik van Nederlands hout' wordt de capaciteit van bosbeheer hieronder beschreven *(Oldenburger et al, 2020)*:

- Bij het scenario waarbij een sterkte groei ontstaat van het gebruik van Europees hout in de bouw zal dit gezaagde naaldhout in de bouw in Europa met 20,7 miljoen m³ toenemen. Ook zal voor plaatmateriaal het verbruik met 4 miljoen m³ toenemen. Deze vraag kan door het Europese bos worden gedekt.
- 40% van de te bouwen houtskeletbouw woningen die Nederland schat, kan gehaald worden uit Nederlands bos. Dit zijn 4.000 woningen in houtskeletbouw uit de doelstelling van 10.000 woningen in houtskeletbouw in 2030.
- Het geëxporteerde gezaagd naaldhout uit Europa van 12 miljoen m³ kunnen circa 400.000 eengezinswoningen in houtskeletbouw (25 m³ per woning) of circa 200.000 in CLT (50 m³ per woning) gebouwd worden.

1.3 Circulariteit in de bouwsector

1.3.1 Klimaatovereenkomsten

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website van European Commission (European Commission, 2016), waarop de klimaat strategie van Europa wordt beschreven.*
- *Website van de Rijksoverheid (Ministerie van Infrastructuur en Waterschap, 2020-b), waarop de klimaat strategie van Nederland wordt beschreven.*
- *Website van Klimaatakkoord (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2021), waarop doelstellingen voor 2030 worden beschreven.*

In 2016 is door Dijksma (Nederlandse staatssecretaris) het VN-Klimaatakkoord ondertekend in Parijs. Het Klimaatakkoord is ondertekend door 196 partijen. Het akkoord is in 2020 van start gegaan. Het internationale doel is om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 graden, waarbij de voorkeur tot 1,5 graden Celsius ligt.

De Europese aanpak om aan het akkoord te voldoen, is als volgt:

- Minimaal 40% minder uitstoot van broeikasgassen ten opzichte van 1990 (in 2030);
- Minstens 32% aandeel van hernieuwbare energie (in 2030);
- Minimaal 32,5 % verbetering van de energie-effiëntie (in 2030);
- Klimaatneutraal zijn (in 2050);

Nederland tekende naast het klimaatakkoord in Parijs (in 2016), waarbij een maximale temperatuurstijging is vastgelegd, meerdere overeenkomsten. Deze staan hieronder weergeven:

- VN-klimaatverdrag (1992): Eerste klimaatverdrag waarin het reduceren van de emissie van broeikasgassen centraal staat;
- Kypoto-Protocol (1997): Hierin staat de emissiereductie per land centraal.

Als gevolg van bovengenoemde overeenkomsten heeft Nederland eigen doelen opgesteld:

- 49% minder uitstoot van CO_2 ten opzichte van 1990 (in 2030);
  - Het Europese doel zal aangescherpt worden tot een reductie van 55% in 2030, het nieuwe kabinet in 2021 zal hierover oordelen.
- 95% minder uitstoot van CO_2 ten opzichte van 1990 (in 2050).

Om de Nederlandse doelen te halen zijn verschillende afspraken gemaakt voor verschillende sectoren: Elektriciteit, Gebouwde omgeving, Industrie, Landbouw en landgebruik en Mobiliteit. In de gebouwde omgeving heeft dit voornamelijk betrekking op: normeringen, wet- en regelgeving, innovaties, investeringen en subsidies. De concrete afspraken staan vermeld op deze site van Rijksoverheid.nl en klimaatakkoord.nl.

1.3.2 Circulair bouwen en Transitieagenda

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website Rijksoverheid* (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020-c*), waarin de doelstellingen van het grondstoffenakkoord zijn beschreven.*
- *Rapport van Rijksoverheid* (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018), waarin de Transitieagenda is beschreven.

De toepassing van circulair bouwen is een 'actuele probleemstelling' binnen de bouwsector. Dit komt omdat het nationale doel van Nederland is om in 2050 100% circulair te zijn. Dit doel is afkomstig uit het in januari 2017 gesloten grondstoffenakkoord. Het kabinet heeft 3 doestellingen geformuleerd om de Nederlandse economie circulair te maken *(Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020-c)*:

- Bestaande productieprocessen maken efficiënter gebruik van grondstoffen, zodat er minder grondstoffen nodig zijn;
- Wanneer nieuwe grondstoffen nodig zijn, wordt zoveel mogelijk gebruikgemaakt van duurzaam geproduceerde, hernieuwbare (onuitputtelijke) en algemeen beschikbare grondstoffen. Zoals biomassa, dat is grondstof uit planten, bomen en voedselresten. Dit maakt Nederland minder afhankelijk van fossiele bronnen en het is beter voor het milieu;
- Nieuwe productiemethodes ontwikkelen en nieuwe producten circulair ontwerpen.

Om deze doelen te bereiken heeft de overheid een Transitieagenda Circulaire Bouweconomie opgesteld. Hierin staat beschreven welke strategie en aanpak wordt toegepast om de bouwsector te versterken en Nederland toekomstbestendig te maken.

Binnen de Transitieagenda zijn er drie episodes beschreven om het Circulaire Bouweconomie proces naar de top te bereiken. De drie etappes die beschreven staan binnen de transitieagenda zijn *(Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018, p. 12)*:

- 2018-2021 Het overbruggen van de 'Valley of Death', met als resultaat een compleet ingericht basiskamp;
- 2021-2030 De periode waarin 50% van de doelstellingen is gerealiseerd;
- 2030-2050 De periode waarbij het doel 'de top' wordt bereikt.

Tot op heden wordt het basiskamp ingericht om circulariteit in de bouw meetbaar en realiseerbaar te maken. Dit wordt gedaan in samenwerking met Platform CB'23. Binnen dit platform zijn actieteams ingericht waarin diverse bedrijven en de overheid zijn aangesloten. De actieteams werken aan *(Platform CB'23, z.d.)*:

- Handvatten Circulair bouwen (Framework)
- Begrippenlijst Circulaire bouw (Lexicon)
- Meten van Circulariteit, Paspoorten voor in de bouw (Leidraad)

1.4 Woningnood

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website KAFRA housing* (Bouten, 2020*), waarop beschreven staat hoe de woningnood is ontstaan.*
- *Website van Centraal Bureau voor de Statistiek* (*Centraal Bureau voor de Statistiek*, 2021), waarop gegevens worden bijgehouden over de nieuwbouwwoningen in Nederland.

Naast het doel om als bouwsector minder CO_2 uit te stoten, vindt nu en de komende 30 jaar een woningcrisis plaats. Deze crisis heeft meerdere oorzaken. De eerst aanzet naar een woning tekort was de dotcomcrisis in 2002. Hierdoor liep het aantal nieuwbouwwoningen van een gestreefd aantal van 100.000 terug naar 66.000. Daarnaast nam/neemt het gebrek aan nieuwbouwlocaties toe terwijl de bevolkingsgroei blijft toenemen. In 2019 was de toename van inwoners in Nederland 132.000 personen.

Verder hebben beleidsmakers het aantal woningen onderschat en is het overheidsbeleid een mede oorzaak van de woningcrisis. Tot slot heeft de individualisering invloed op de grote vraag naar woningen. Hiermee wordt de daling van het gemiddelde Nederlandse huishouden bedoeld, waardoor meer woningen nodig zijn voor hetzelfde aantal mensen.

Om de woningcrisis te verhelpen dienen tot 2035 ongeveer 80.000 woningen per jaar gebouwd te worden. Hoewel het aantal nieuwbouwwoning in 2019 is gestegen tot ruim 71 duizend, wordt verwacht dat dit aantal in de komende jaren zal dalen.

Uit de cijfers van het CBS blijkt dat het aantal nieuwbouwwoning in 2020 is gedaald met ruim 3 procent naar 69,3 duizend woningen. Oorzaken hiervan zijn de beperkingen als gevolg van de stikstof- en PFAS regelgeving en de onzekere financiële situatie wegens de coronacrisis.

1.5 Transformatie bouwsector

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website Duurzaam Gebouwd (Duurzaam Gebouwd, 2015), waarop de visie van Thies van der Wal over flexibel bouwen is beschreven.*
- *Website Bouw Magazine (Bouw Magazine, 2020), waarop de oplossingen in de bouwsector door CO_2 uitstoot.*
- *Website van Centraal Bureau voor de Statistiek (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2019), waarop de gegevens beschreven staan over leegstand van kantoren en winkels in Nederland.*

Globaal heerst momenteel een consumptiemaatschappij en een wegwerpcultuur waarbij materiaal op een niet duurzaam en efficiënte manier wordt geproduceerd, gebruikt en hergebruikt *(Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020-c)*. Ook in de bouw komt dit naar voren. Voornamelijk in het intensieve materiaalgebruik. Dit is in vorige koppen toegelicht.

Dat op een andere manier gekeken en ontworpen moet worden met de beschikbare materialen is in bovenstaande hoofdstukken duidelijk geworden. Een onderdeel wat bij het duurzaam gebruiken van (bestaande) materialen en locaties hoort is het flexibel of demontabel/remontabel bouwen. In onderstaande kopjes wordt toegelicht wat hiermee wordt bedoeld, wat de noodzaak is en wat de mogelijkheden zijn.

In Nederland speelt er sinds de laatste jaren een leegstand van panden. Dit geldt voornamelijk voor kantoorpanden waarbij 3,3 miljoen vierkante meter of te wel 6% administratief leeg staan. Ook 6% van de bouwwerken met een winkelfunctie staan leeg *(Centraal Bureau voor de Statistiek, 2019)*. Het ombouwen van de leegstaande panden naar woningen blijkt in praktijk vaak lastig. De panden blijken niet geschikt voor de woonfunctie of de projecten zijn financieel niet haalbaar.

Gebruiksfuncties kunnen sterk fluctueren gedurende de levensduur van bouwwerken. Om bovenstaande leegstanden in de toekomst te voorkomen dient op een andere manier te worden ontworpen.

Tegen de wegwerpcultuur, leegstand en het intensieve materiaalgebruik dient een meer duurzame manier van produceren en gebruiken te ontstaan. Met onderstaande tegenstrijdige bouw- en ontwerpmethodes kan de bouw meer verduurzaamd worden.

Functie-flexibel: het casco van het bouwwerk dient voor langere periode te worden gebruikt. Het gebruik kan gedurende deze periode wijzigen. Het wijzigen van de functies dient financieel en technisch haalbaar en relatief eenvoudig te zijn *(Duurzaam Gebouwd, 2015)*.

Demontabel/remontabel: het bouwwerk is opgebouwd uit elementen of modules welke volledig uit elkaar te halen zijn en opnieuw te zijn te passen voor een nieuw project *(Bouw Magazine, 2020)*.

In de bouwsector bestaan verschillende opvattingen en meningen met betrekking tot functie-flexibel en demontabel/remontabel bouwen. Deze overtuigingen zullen door middel van een literatuuronderzoek worden omschreven. Vervolgens zullen de studenten zelf een mening vormen aan de hand van gewogen opvattingen en opgedane kennis.

1.6 Houten revolutie

Zoals hierboven al meerdere keren is aangegeven, zal de bouwsector voor een enorme transitie staan, ook in Nederland. Een revolutie op het gebied van de manier van bouwen wordt verwacht. Diverse partijen verwachten dat deze revolutie een houten revolutie zal betreffen waarbij houtbouw en andere biobased producten een grote rol gaat spelen op het gebied van duurzaam bouwen en gebruiken. De aanscherping van de MPG-eis en de invoering van CO_2 belastingen zijn grote argumenten voor bovenstaande theorie.

1.6.1 Scenario's

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Rapport van de Circl Economy (Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020), waarin scenario's staan beschreven over de houtbouw.*

De whitepaper van Cirlcle Economy in samenwerking met InvenstNL en ABN-AMRO 'Bouwen aan een houten toekomst' geeft 4 scenario's weer voor de komende 10 jaar met betrekking op mogelijke ontwikkelingen in de houtbouw in Nederland *(Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020)*. In onderstaande tekst worden de scenario's behandeld. Deze staan in de volgorde van de meest veranderde bouwsector (scenario 1) tot de gebruikelijke manier van bouwen (scenario 4) weergegeven.

Scenario 1: Houten revolutie, door de CO_2 wordt intensief gebruik gemaakt van biobased materialen. Ook investeerders en ondernemers hebben tijdig ingespeeld op deze markt en industrie waardoor de materiaalkostprijs is gedaald. In 2030 is 80% van de 80.000 woningen per jaar grotendeels uitgevoerd in biobased materialen.

Scenario 2: Houten evolutie, door de aangekondigde wet- en regelgeving is er grootschalig geïnvesteerd in de houtbouw en andere biobased materialen. De materiaalkostprijs is gedaald en de kwaliteit is gestegen. Echter is de impact van wet- en regelgeving kleiner dan bij scenario 1 waardoor 20 tot 30% van de nieuwbouwwoningen uitgevoerd wordt in biobased materialen.

Scenario 3: Houten teleurstelling, ondanks de verhoogde vraag naar alternatieve niet-CO_2-intensieve materialen, is de Nederlandse bouwindustrie niet in staat om te voldoen aan de stijgende vraag. Nederlands hout kan slechts 1 op de 8 (12,5%) van de jaarlijkse nieuwbouwwoning van hout voorzien. Geïmporteerd hout is de oplossing, maar blijkt financieel niet te kunnen concurreren met traditionele bouwmaterialen.

Scenario 4: Business as usual, investeringen zijn uitgebleven in de houtindustrie en de CO_2-heffingen zijn verzwakt door de grote invloed van de CO_2-intensieve industrie. Hierdoor ontbreekt de prijsprikkel om over te stappen naar biobased materialen. Alleen hout wordt met regelmaat gebruikt, bij een schamele hoeveelheid van 2.500 (3,2%) van de 80.000 nieuwbouwwoningen per jaar.

1.6.2 Wat is er nodig voor een houtrevolutie

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Rapport van de Circl Economy (Bronsvoort, Veldboer, te Slaa & Kaptein, 2020), waarin beschreven wat er nodig is voor een houtrevolutie.*

Om de klimaatdoelen te bereiken is een houtenrevolutie het beste scenario. Om een houtrevolutie te ontwikkelen is een schaalvergroting nodig in houtbouw binnen de bouwsector. Om deze vergroting te realiseren zijn een aantal voorwaarde opgesteld in de CoP Houtbouw Whitepaper: Bouwen aan een houten toekomst van Erik Bronsvoort:

Kennis:

Door juiste samenwerking tussen verschillende partijen binnen de bouwsector (architect, constructeur, werkvoorbereider, opdrachtgever) op het gebied van kennisoverdracht over houtbouw. Door de kennisoverdracht en voldoende kennis kan houtbouw een concurrerend alternatief zijn binnen de bouw.

Flexibiliteit:

Partijen binnen de bouwsector moeten verder denken dan traditionele bouwmethoden. Dit niet alleen op het gebied van technische eisen van het gebouw maar ook de eisen binnen de stedenbouw plannen van de gemeente/overheid.

Communicatie:

Binnen de keten moet helder worden gecommuniceerd over termijneffecten van MPG berekeningen en CO_2-heffingen. De MPG en CO_2-heffingen moet alle betrokken partijen in de bouw bereiken. Zodat toekomstige projecten hierop kunnen worden geanticipeerd.

Vraag naar houtbouw:

Gemeenten, woningcorporaties en opdrachtgevers dienen de vraag naar houtbouw op grote schaal in projecten te stimuleren. In de ontwikkelingsfase van een project zal houtbouw al geïntroduceerd moeten worden. Door het gebruik van houtbouw kan aangetoond worden aan de consument en andere opdrachtgevers dat houtbouw een goed alternatief is. Door houtbouw tastbaar te maken kan er vertrouwen gewonnen worden op het gebied van houtbouw.

Investeringen:

Ontwikkelpartijen in houtbouw zullen met investeerders aan tafel moeten om houtbouw te kunnen prefabriceren waardoor het businessmodel aantrekkelijk wordt gemaakt en binnen snellere tijd bouwwerken gerealiseerd kunnen worden.

Openbare ruimte:

Door kennis te bundelen met de civiele sector in houtbouw kan op nog grotere schaal houtbouw worden toegepast. Hierdoor kan de kennis worden vergroot over houten producten en materialen.

2.0 Houtbouwmaterialen

In dit hoofdstuk wordt de volgende vraag beantwoord:

'Welke gemodificeerde houtbouw materialen/ producten zijn beschikbaar op de markt en welke eigenschappen zijn hieraan verbonden?'

Aan de hand van het boek Tommorow's Timber en het Handboek CLT van INBO Architecten worden de volgende gemodificeerde houtproducten beschreven:

- Glulam (Glue Laminated Timber)
- CLT (Cross Laminated Timber)
- NLT (Nail Laminated Timber)
- DLT (Dowel Laminated Timber)
- LVL (Laminated Veneer Lumber)
- PSL (Parallel Strand Lumber)
- LSL (Laminated Strand Lumber)
- HSB* (Houtskeletbouw)

* Houtskeletbouw is de tegenhanger van gemodificeerde houtbouw en staat niet beschreven in het boek Tommorow's Timber of in het Handboek CLT van INBO Architecten. Om een vergelijking te kunnen maken met gemodificeerde houtproducten en houtskeletbouw wordt in dit hoofdstuk ook een de eigenschappen van houtskeletbouw beschreven.

<u>Beschreven onderwerpen per productsoort:</u>
Bovenstaande houtproducten worden in dit onderzoek verder uitgewerkt met betrekking op de volgende onderdelen:

- Productie
- Standaardafmetingen
- Houtsoorten
- Eigenschappen materiaal/ product
- Constructieve toepassingen

2.1 Glue Laminated Timber (Glulam)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Boek Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen (Blok, 2014), waarin de materiaaleigenschappen van gelamineerd hout zijn beschreven.*
- *Internetartikel Wood Innovation and Design Centr. (Canadian Wood Council, z.d.), waarin informatie beschreven staat over Glulam.*



Figuur 1 – Glue Laminated Timber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:
'Glulam' (gelamineerd hout) wordt gemaakt van minimaal twee gedroogde (vaak gevingerlaste) planken die aan elkaar worden gelijmd. De vezel in de lagen lopen evenwijdig aan de lengte van het product. De vingerlassen worden toegepast ter plaatse van de kopse kanten van de planken. Dit wordt gedaan om de planken in de lengte te vergroten en een sterke verbinding te realiseren door het vergrote lijm oppervlakte. 'Glulam' kan geproduceerd worden als recht en gebogen balken en kolommen. 'Glulam' kan toegepast worden in binnen en buitendraagconstructies.

Standaard afmetingen:
De dikte van de planken in een 'Glulam' kunnen variëren tussen de 6 en 45 mm. Afhankelijk van de constructieve toepassing en het toepassen van vingerlassen kunnen grote lengtes gemaakt worden. De lengte wordt vooral door logistieke problematiek bepaald, bijvoorbeeld door transport en de fabrieksgrootte.

Houtsoorten/ afkomst:

• (Zilver) Sparren	(vuren)	(naaldhout)
• Dennen	(grenen)	(naaldhout)
• Lariks	(lariks)	(naaldhout)

Eigenschappen:
- Glulam is sterker en stijver dan gemodificeerd hout, dit komt door het lamineren.
- Glulam richt zich op krachten evenwijdig aan de vezelrichting, hierdoor is dit goed belastbaar op buiging en normaalkracht.
- De sterkte neemt af als het vochtgehalte stijgt.

Houtkwaliteit:
Sterkteklasse GL24c/h – GL36c/h

Gemiddelde dichtheid Glulam kg/m³:
380 t/m 450 kg/m³

Constructieve toepassingen:
- Kolommen
- Liggers
- Spanten

2.2 Cross Laminated Timber (CLT)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Boek Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen (Blok, 2014), waarin de materiaaleigenschappen van gelamineerd hout zijn beschreven.*
- *Internetartikel The CLT Handbook (Borgström & Fröbel, 2019), waarin de eigenschappen van CLT zijn beschreven.*



Figuur 2 – Cross Laminated Timber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:

CLT wordt gemaakt uit meerdere lagen gedroogd afmeting hout. CLT-panelen bestaat uit een oneven aantal lagen (meestal drie-, vijf- of zeven-laags) welke kruislaags worden verlijmd. Dit wordt gedaan zodat de buitenste lagen dezelfde oriëntatie hebben om een hoge sterkte en traagheid te realiseren. Om een sterk en zeer stabiel structuurpaneel te produceren, wordt meestal MUF- of PUR-lijm toegepast. CLT is verkrijgbaar in drie verschillende afwerkingsklassen: visuele kwaliteit (minste oneffenheden), industriële kwaliteit (lokale noesten of beschadigingen in het hout) en niet-visuele kwaliteit (niet in het zicht). In de fabriek kunnen sparingen gefreesd worden voor bijvoorbeeld: openingen deuren/wanden of groeven voor installaties of bevestigingen.

Standaard afmetingen:
De dikte van CLT-panelen variëren tussen de 60 en 500 mm. De maximale breedte is 4800 mm en de maximale lengte is circa 30.000 mm. De lengte en breedte van het CLT-paneel is zeer afhankelijk van de transportmogelijkheden. Hierdoor zijn de maten die vaak gebruik worden binnen het toepassen van CLT:

Dikte:	80 – 300 mm	Breedte:	1200 – 3000 mm
Max. lengte:	16.000 mm	Aantal lagen:	3,5,7,9 laags

Houtsoorten/ afkomst:

- Sparren (vuren) (naaldhout)
- Lariks (lariks) (naaldhout)
- Douglasspar (douglas) (naaldhout)
- Dennenspar (grenen) (naaldhout)
- Voor visuele doeleinde kan een andere houtsoort gebruikt worden als toplaag/ visuele laag.

Eigenschappen:

- CLT-panelen kunnen in twee richtingen krachten afdragen.
- CLT heeft bijna geen last van krimp, uitzet of vervorming, dit komt doordat hout in tangentiële richting het meest wil vervormen. Bij CLT zijn de lagen kruislings verlijmd waardoor de tangentiële richting divers is. Daarnaast houdt vezelrichting loodrecht op de tangentiële richting, welke zeer sterk is, de vervorming tegen.
- In sterkte en stijfheid kan CLT vergeleken worden met beton.
- De sterkte is afhankelijk van de hoek tussen de spanningen en de vezelrichting, hierdoor is het een orthotroop materiaal.
- De sterkte neemt af als het vochtgehalte stijgt.

Gebruikelijke Houtkwaliteit:
Sterkteklasse C24

Gemiddelde dichtheid CLT kg/m³:
420 kg/m³ (Statische berekening: 450 – 550 kg/m³ aanhouden)

Constructieve toepassingen:

- Vloeren/ Daken, Wanden/ Stabiliteitswanden

2.3 Nail Laminated Timber (NLT)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Internetartikel NLT Design and Construction Guide (Holt, Luthi & Dickhof, 2017), waarin de eigenschappen van NLT zijn beschreven.*



Figuur 3 – Nail Laminated Timber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:
NLT wordt gemaakt van meerdere timmerhouten balken die aan elkaar worden bevestigd door middel van spijkers of schroeven. Afhankelijk van de toepassing wordt een afmeting gekozen voor de timmerhoutbalken. NLT wordt toegepast als in één richting dragend element. De afwerking voor bijvoorbeeld een vloer wordt een multiplex- of OSB-plaat als toplaag gebruikt, ook kan deze toplaag als schijfwerking dienen.

Standaard afmetingen:
De dikte, breedte en lengte van de NLT-panelen worden berekend aan de hand van de constructieve toepassing.

Houtsoorten/ afkomst:

- Douglasspar (douglas) (naaldhout)
- Sparren (vuren) (naaldhout)

Eigenschappen:

- NLT richt zich op krachten evenwijdig aan de vezelrichting, hierdoor is het goed belastbaar op buiging en normaalkracht.
- NLT is niet geschrikt voor constructiecomponenten welke laterale krachten dienen op te nemen (schijfwerking).
- De spreiding van krachten haaks op de vezel dienen extra gecontroleerd te worden, bijvoorbeeld bij sparingen en puntlasten.
- Door het variëren van balkhoogtes kan akoestiek voordeel behaald worden.
- De lengte kan vergroot worden door de houten balken in verband aan elkaar te schroeven of spijkeren. De kopse kanten van de balken worden niet aan elkaar verbonden.

Gebruikelijke Houtkwaliteit:
Sterkteklasse C24

Gemiddelde dichtheid NLT kg/m³:
420 kg/m³

Constructieve toepassingen:

- Vloeren/ Daken
- Wanden

2.4 Dowel Laminated Timber (DLT)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Website Think Wood (Think Wood, 2020), waarop de eigenschappen van NDT zijn beschreven.*
- *Internetartikel Dowel Laminated Timber design and profile guide (StructureCraft, 2019), waarin de eigenschappen van NDT zijn beschreven.*



Figuur 4 – Dowel Laminated Timber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:
DLT wordt gemaakt van meerdere timmerhouten balken die aan elkaar worden bevestigd door middel van houten deuvels. Afhankelijk van de toepassing wordt een afmeting gekozen voor de timmerhoutbalken. De balken die worden toegepast zijn voornamelijk van zachthout. De deuvels wordt gemaakt van hardhout. De deuvels kunnen zowel horizontaal, verticaal en diagonaal worden toegepast afhankelijk van het gebruik. Door het niet gebruiken van lijm is DLT een volledig houten en natuurlijk product.

Standaard afmetingen:
De dikte, breedte en lengte van de DLT-panelen worden berekend aan de hand van de constructieve toepassing.

Houtsoorten/ afkomst:

- Douglasspar (douglas) (naaldhout)
- Sparren (vuren) (naaldhout)
- De deuvels worden gemaakt van hardhout

Eigenschappen:

- DLT richt zich op krachten evenwijdig aan de vezelrichting, hierdoor is het goed belastbaar op buiging en normaalkracht.
- DLT is niet geschrikt voor constructiecomponenten welke laterale krachten dienen op te nemen (schijfwerking).
- De spreiding van krachten haaks op de vezel dient extra gecontroleerd te worden, bijvoorbeeld bij sparingen en puntlasten.
- Door het frezen van sleuven in de balken kan akoestiek voordeel behaald worden.
- De kopse kanten van de houten balken worden door middel van vingerlassen verbonden als lange elementen vereist zijn.
- Kleine uitkragingen in de zwakke richting zijn mogelijk indien het paneel wordt versterkt met schroeven. Het paneel wordt getoetst door middel van vakwerkanalogie.

Gebruikelijke Houtkwaliteit:
Sterkteklasse C24

Gemiddelde dichtheid DLT kg/m³:
420 kg/m³

Constructieve toepassingen:

- Vloeren/ Daken
- Wanden

2.5 Laminated Veneer Lumber (LVL)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Internetartikel Wood Innovation and Design Centr. (Canadian Wood Council, z.d.), waarin informatie beschreven staat over LVL.*
- *Internetartikel LVL Handbook Europe (Finnish Woodworking Industries, 2020), waarin de eigenschappen van LVL zijn beschreven.*



Figuur 5 – Laminated Veneer Lumber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:

LVL wordt gemaakt van verschillende lagen fineer die warm geperst worden met waterdichte constructielijm ('phenol formaldehyde'). De fineervellen die wordt geproduceerd voor LVL zijn tussen de 2-6 mm dik (meest voorkomt 3 mm dik). Binnen het materiaal LVL zijn 2 soorten: LVL-P (parallel) en LVL-C (kruislaags). Bij LVL-P liggen de vezels in de fineerlagen georiënteerd langs de lengte-as (parallel), bij LVL-C liggen zijn de fineerlagen kruislings op elkaar verlijmd (crossed). Door het samenstellen van fineerlagen die worden gecontroleerd op afwijkingen en defecten is LVL een zeer stabiel, stijf en sterk materiaal. LVL wordt voornamelijk toegepast in Europa.

Standaard afmetingen:
De structuurpanelen worden geproduceerd tot circa 3000 x 24000 mm met een dikte van 90 mm. Deze structuurpanelen worden vervolgens verzaagd tot de uiteindelijke toepassing.

Houtsoorten/ afkomst:

- Sparren (vuren) (naaldhout)
- Dennenspar (grenen) (naaldhout)
- Beuken (loofhout)
- Berken (loofhout)

Eigenschappen:

- LVL heeft homogene eigenschappen, dit komt door kwaliteitscontrole van de fineerlagen en door het effect van de verlijming. Door de strenge controle is ook de sterkteklasse van de fineerlagen constant.
- LVP-P heeft hogere sterkte en stijfheidseigenschappen dan LVL-C. Dit komt doordat bij LVL-C enkele gekruiste lagen niet meegenomen kunnen worden.
- Bij overige gemodificeerde houtmaterialen bijvoorbeeld Glulam, is de variatie van sterkte- en stijfheidseigenschappen tussen de 12-20% en bij LVL is dit lager dan 10%. Hierdoor is de veiligheidsfactor van LVL lager dan bij Glulam.
- Ondanks het hoge percentage lijm, valt LVL onder houtafvalcategorie. Dit moet gecontroleerd worden per producent van LVL.
- LVL kan door zijn hoge sterkte relatief dun worden uitgevoerd. De verkoolsnelheid van LVL is vergelijkbaar met overige gemodificeerde houtproducten. Hierdoor dienen extra maatregelen worden getroffen in verband met brandwerendheid.
- LVL wordt voornamelijk geproduceerd van zachte houtsoorten, als een hogere sterkte gewenst is, kan LVL ook geproduceerd worden van hardhout.

Gebruikelijke Houtkwaliteit:
Sterkteklasse LVL 48-P/36-C

Gemiddelde dichtheid LVL kg/m³:
510 kg/m³

Constructieve toepassingen LVL-P:

- Kolommen, Liggers, Spanten

Constructieve toepassingen LVL-C:
Vloeren/ Daken, Wanden/ Stabiliteitswanden

2.6 Parallel Strand Lumber (PSL)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Internetartikel Wood Innovation and Design Centr. (Canadian Wood Council, z.d.), waarin informatie beschreven staat over PSL.*
- *Internetartikel 2.2E Parallam PSL 20'', 22'', and 24'' Deep Beam (Weyerhaeuser, 2016), waarin de dichtheid van PSL is beschreven.*
- *Website The Canadian Wood Council (The Canadian Wood Council, 2019-b), waarop de eigenschappen van PSL zijn beschreven.*



Figuur 6 – Parallel Strand Lumber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:
PSL wordt gemaakt van kleine fineerstroken die aan elkaar gelijmd worden onder hitte en druk. Deze fineerstroken zijn ongeveer 15 mm breed en 2,5 meter lang. De productie van PSL gaat vaak samen in relatie met LVL. Door het gebruiken van de afgezaagde stroken van LVL kan het product PSL geproduceerd worden. Net zoals LVL heeft het product zeer voorspelbare prestatie-eigenschappen. PSL wordt voornamelijk toegepast in Noord-Amerika.

Standaard afmetingen:
De dikte, breedte en lengte van de PSL-panelen worden berekend aan de hand van de constructieve toepassing.
Voornamelijk wordt PSL toegepast voor grote overspanningen tot ongeveer 20 m lang en tot 300 mm breed/dik.

Houtsoorten/ afkomst:

- Douglasspar (douglas) (naaldhout)

Eigenschappen:

- Door de kwaliteitscontrole tijdens de productie van de fineerstroken, heeft PSL net als LVL voorspelbare sterkte- en stijfheidseigenschappen.
- PSL heeft geen gemeenschappelijke productiestandaard/ ontwerpwaardes, hierdoor moet in een vroeg stadium in het ontwerpproces voor een leverancier gekozen worden.
- PSL wordt voornamelijk toegepast in lichte houtbouw.
- PSL kan niet als gebogen constructiecomponenten worden toegepast.

Gebruikelijke Houtkwaliteit:
Sterkteklasse 2.2E (Noord-Amerikaanse gradatie)

Gemiddelde dichtheid PSL kg/m³:
720 kg/m³

Constructieve toepassingen:

- Liggers
- Kolommen

2.7 Laminated Strand Lumber (LSL)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin de verschillende gemodificeerde houtbouwmaterialen zijn beschreven.*
- *Internetartikel Wood Innovation and Design Centr. (Canadian Wood Council, z.d.), waarin informatie beschreven staat over LSL.*
- *Website The Canadian Wood Council (The Canadian Wood Council, 2019-a), waarop de eigenschappen van LSL zijn beschreven.*



Figuur 7 – Laminated Strand Lumber, overgenomen uit Mass timber's Mass Appeal (p. 3) door Naturally Wood, z.d.

Productie:
LSL wordt gemaakt van kleine strengen hout die door stoominjectie tot grote matten worden geperst. Deze strengen zijn vergelijkbaar met de strengen die worden toegepast voor OSB-platen. LSL wordt voornamelijk toegepast in Noord-Amerika.

Standaard afmetingen:
De matten worden geperst tot 10 m lang, 2,5m breed en 90 mm dik. Vervolgens kan het gezaagd worden naar de uiteindelijke toepassing. LSL wordt gebruikt voor kleine overspanningen.

Houtsoorten/ afkomst:

- Populier (loofhout)
- Overige resthout soorten (naaldhout/loofhout)

Eigenschappen:

- Door de kwaliteitscontrole tijdens de productie van de strengen, heeft LSL net als LVL voorspelbare sterkte- en stijfheidseigenschappen.
- LSL wordt voornamelijk toegepast in lichte houtbouw.
- LSL kan niet als gebogen constructiecomponenten worden toegepast.
- LSL is een kosteneffectieve oplossing voor stijl en regelwerk en houtenvloerbalken. De sterke- en stijheidseigenschappen zijn over het algemeen lager dan bij LVL.

Gebruikelijke Houtkwaliteit:
Sterkteklasse 1.3E (Noord-Amerikaanse gradatie)

Gemiddelde dichtheid LSL kg/m³:
720 kg/m³

Constructieve toepassingen:

- Balken
- Stijlen (HSB-wanden)

2.8 Houtskeletbouw (HSB)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen (Blok, 2014), waarin de materiaaleigenschappen van gezaagd hout en plaatmaterialen zijn beschreven.*
- *Boek Houtskeletbouw (Kluwer, 1996), waarin de eigenschappen van houtskeletbouw worden beschreven.*

Productie:
Toegepaste componenten in de houtskeletbouw zijn houten stijlen, houten balken, houten regels, en houtachtige plaatmaterialen. Bij grote benodigde hoogtes voor stijlen en balken kan gekozen worden voor gelamineerde houtproducten. De productie van HSB-wanden en HSB-vloeren/daken kan worden geprefabriceerd of in het werk worden gemaakt. Naast de standaard HSB-elementenopbouw zijn er op de markt vele andere systemen beschikbaar, bijvoorbeeld: Ribpanelen en I-liggers.

Standaard afmetingen:
Geschaafd naaldhout stijlen, balken en regels: b=40,46,59,71,86
h=146,171,196,221,271
Houtachtige plaatmaterialen: dikte OSB:9,15,18,22 mm, dikte spaanplaat: 12 25 mm, dikte triplex: 9,15,18,24 mm, standaardplaat afmeting= 2440x1220 m (lxb).

Houtsoorten/ afkomst:

- SPF (spruce-pine-fir) (naaldhout)
- Europees vuren (naaldhout)
- Europees grenen (naaldhout)
- Europees lariks (naaldhout)

Eigenschappen:

- Wanden, vloeren en daken kunnen figureren als schijfvormige elementen. Om een schijfvormig element te realiseren zorgt de beplating voor de schijfwerking in het vlak en de balken stijlen en sporen voor sterkte en stijfheid uit het vlak.
- Houten stijlen, balken en regels worden met sterkte klasse C en D aangegeven. Klasse C is voor naaldhoutsoorten (meest voorkomend) en klasse D is voor loofhoutsoorten.
- Houtskeletbouw heeft een laag eigen gewicht.
- De totale wandopbouw van HSB-wanden is relatief slank ten opzichte van traditionele- en gemodificeerde houtbouw. Dit komt doordat de isolatie in de constructieve wand verwerkt kan worden. Wel dient aandacht te worden besteed aan dampremmende en dampopen lagen.
- De isolatiewaarde dient gereduceerd te worden door de onderbrekingen ter plaatse van de houten stijlen en regels.
- Gevelopeningen worden gerealiseerd door middel van interne lateien (houten regels).

Gebruikelijke Houtkwaliteit:	Gemiddelde dichtheid HSB kg/m³:
Sterkteklasse C18- C24 (gezaagd hout naaldhout)	320 - 350 kg/m³
Sterkteklasse D18- D24 (gezaagd hout loofhout)	570 - 580 kg/m³
Sterkteklasse P5-P7 (spaanplaat)	550 t/m 650 kg/m³
Sterkteklasse OSB/3	550 kg/m³
Sterkteklasse Fins vurentriplex	400 kg/m³

Constructieve toepassingen:

- Balken
- Stijlen en Wanden
- Vloeren/ Daken

3.0 Referentieprojecten

In dit hoofdstuk wordt onderstaande vraag beantwoord:

'Welke referentieprojecten op gebied van houtbouw zijn beschikbaar en welke ontwikkeling/ kennis is relevant voor het onderzoek?'

Aan de hand van zowel internetbronnen als boeken zijn onderstaande projecten onderzocht:

- Project 1 HAUT
- Project 2 Patch 22
- Project 3 Mjøstårnet
- Project 4 WOODIE Hamburg
- Project 5 Kea Boumanstraat
- Project 6 Triodos Bank
- Project 7 Wood Innovation and Design Centre
- Project 8 Klein Amsterdam

De projecten zijn onderzocht met als doel: kennis opdoen op het gebied van houtbouw en de (on)mogelijkheden hiervan inzichtelijk maken.

<u>Beschreven aspecten per referentieproject:</u>
Per referentieproject zijn diverse aspecten onderzocht welke hieronder gesommeerd staan:

- Locatie
- Categorie
- Functie
- Start ontwerp – oplevering
- Afmetingen
- Bijzonderheden
- Constructie
- Stabiliteit
- Afbeeldingen

3.1 Project 1: HAUT

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website Team V Architectuur (Team V Architectuur, 2020), waarop informatie is beschreven over het project HAUT.*
- *Website J.P. van Eesteren (J.P. van Eesteren, 2018), waarop informatie is beschreven over het project HAUT.*

Locatie: Amsterdam, Nederland.

Categorie: Gestapelde woningbouw (hoogbouw).

Functie: Wonen.

Start ontwerp – oplevering: 2016 – 2021.

Afmetingen: 73 meter hoog met 14.500 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).

Bijzonderheden: De toren van 73 meter hoog is één van de hoogste houten gebouwen ter wereld. In het gebouw is 3.000 m^3 vurenhout gebruikt. Dit komt neer op een CO_2 opslag van 1,9 miljoen kilogram.

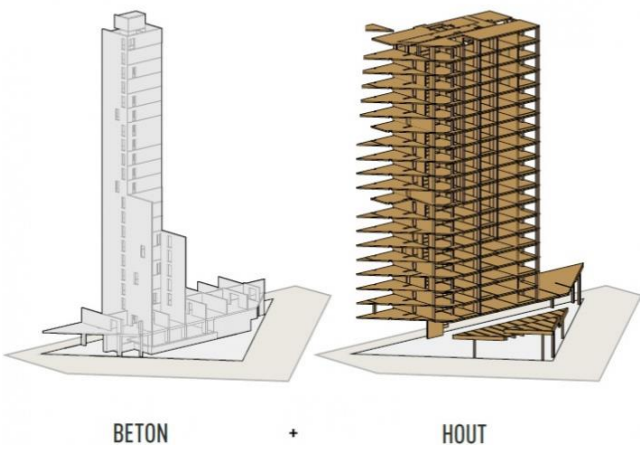
Constructie: Hybride houtbouw: de draagstructuur bestaat uit CLT in combinatie met betonnen kern. Ook de kelder en plint is van beton.

Stabiliteit: Het gebouw haalt haar stabiliteit uit de betonnen kern.



Figuur 8 - 3D-aanzicht HAUT, overgenomen van de website van Team V Architectuur project HAUT, 2020

Overige afbeelding(en):



Figuur 9 - Hybride constructie, overgenomen van de website van J.P. van Eesteren project HAUT, 2018

3.2 Project 2: Patch 22

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website Pieters Bouwtechniek (Pieters Bouwtechniek, z.d.), waarin informatie is beschreven over het project Patch 22.*
- *Internetartikel van De Architect (De Architect, 2016), waarin informatie is beschreven over het project Patch 22.*
- *Internetartikel van Architectuur NL (Hannema, 2016), waarin informatie is beschreven over het project Patch 22.*

Locatie: Amsterdam, Nederland.

Categorie: Gestapelde woningbouw (hoogbouw).

Functie: Flexibel, woon- en werk.

Start ontwerp – oplevering: 2010 – 2016.

Afmetingen: 30 meter hoog met 5.400 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).

Bijzonderheden: Destijds was de toren van 30 meter hoog het hoogste houten gebouw van Nederland. De verdiepingshoogte is 4 meter met een vrije hoogte van 3,5 meter. De appartementen zijn vrij-indeelbaar omdat bewoners de installaties zelf aan mochten leggen in de holle vloeren en de demontabele toplaag. Ook is een relatief hoge vloerbelasting aangehouden van 4 kN/m^2.

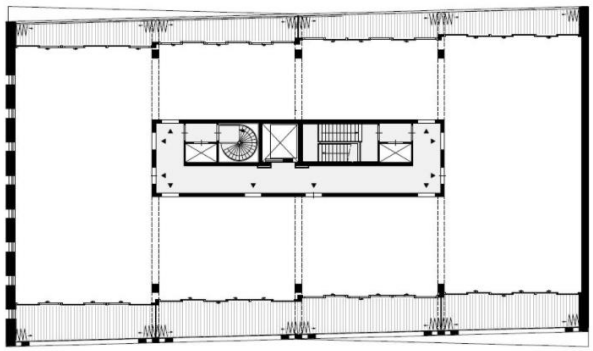


Figuur 10 - 3D-aanzicht Patch 22 overgenomen van de website Pieters Bouwtechniek project Patch 22, z.d. beeldmateriaal op deze website is afkomstig van L. Kramer en Pieters Bouwtechniek

Constructie: Hybride houtbouw: de draagstructuur bestaat uit CLT in combinatie met betonnen kern. Ook de begane grond, met een verdiepingshoogte van 6 meter, is van beton.

Stabiliteit: Het gebouw haalt haar stabiliteit uit de betonnen kern. De vakwerken in de gevel voorzien de 'stapeldozen' van stijfheid voor de verticale verplaatsing door windbelasting.

Overige afbeelding(en):



Figuur 11 – Plattegrond hybride constructie, overgenomen van de website Architectuur NL project Patch 22, 2016. beeldmateriaal op deze website is afkomstig van L. Kramer en O. Middeldorp

3.3 Project 3: Mjøstårnet

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website MetsäWood (MetsäWood, z.d.-c), waarop informatie is beschreven over het project Mjøstårnet.*
- *Internetartikel van Forum Holzbau (Abrahamsen, 2017), waarin informatie is beschreven over het project Mjøstårnet.*
- *Internetartikel van Architectuur NL (Redactie ArchitectuurNL, 2019), waarin informatie is beschreven over het project Mjøstårnet.*

Locatie: Brumunddal, Noorwegen.

Categorie: Gestapelde woningbouw (hoogbouw).

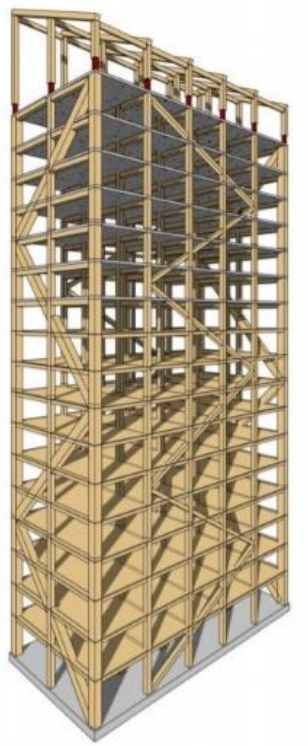
Functie: Wonen, kantoor en horeca.

Start ontwerp – oplevering: 2017 – 2019.

Afmetingen: 85,4 meter hoog met 11.300 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).

Bijzonderheden: De toren is het hoogte volledig houten gebouw ter wereld en bestaat uit 2.700 m^3 gelamineerd hout en 1.100 m^3 beton.

Constructie: De draagconstructie bestaat volledig uit hout. De verticale afdracht wordt verzien door een CLT kern en een Glulam kolommen structuur. In de gevel bevinden zicht grote Glulam diagonale balken. De vloeren tot en met verdieping 11 zijn uitgevoerd in geprefabriceerde vloerelementen bestaande uit MetsäWood 's Kerto LVL Q-panels. Dit zijn elementen welke vergelijkbaar zijn met een houten balklaag. Echter zijn deze balken van gelamineerd hout en het plaatmateriaal is gemaakt van kruislings verlijmd fineer. Vanaf verdieping 12 zijn in het werk gestorte betonnen vloeren van 300 mm dik toegepast.



Figuur 12 - 3D-aanzicht Mjøstårnet, overgenomen uit internetartikel op Forum Holzbau door R. Abrahamsen, 2017.

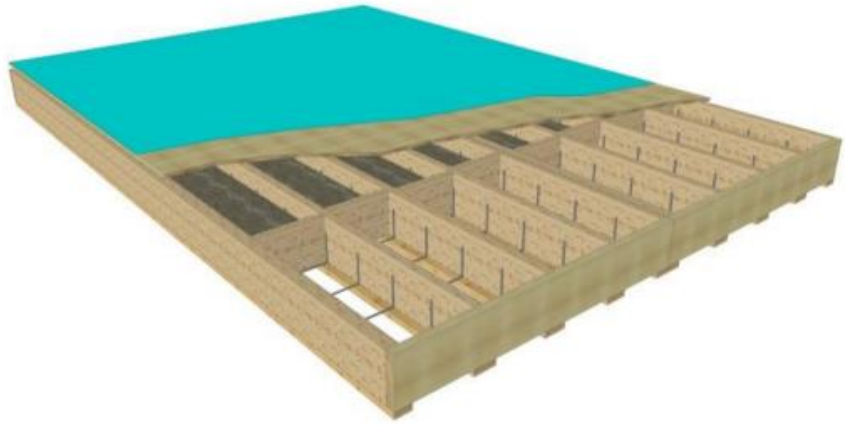
Constructieve dimensionering:

- Kolommen (Glulam): 1485 x 625 mm^2 (hoekkolommen) - 625 x 630 tot 725 x 810 mm^2 (tussenkolommen).
- Diagonalen (Glulam): max. 625x990 mm^2
- Liggers + vloeren:
  - Tot en met verd. 11: Glulam liggers max. 395x675 mm^2, vloer: Glulam liggers i.c.m. LVL plaat.
  - Vanaf verd. 12: Glulam liggers max. 625x720 mm^2, vloer: I.H.W. beton 300 mm dik.

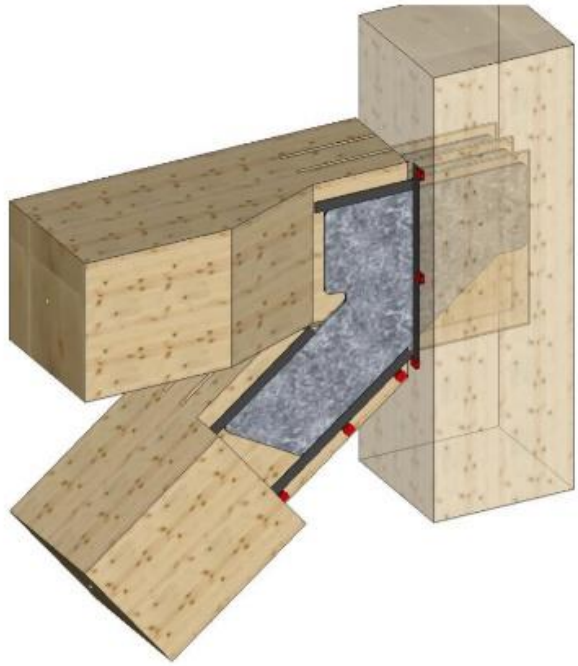
De constructieve componenten zijn voornamelijk via stalen platen in combinatie met deuvels met elkaar verbonden.

Stabiliteit: De horizontale kracht, afkomstig door wind, wordt opgenomen door de diagonale Glulam profielen in de gevel. De CLT kern is dusdanig minder stijf dat deze weinig tot geen laterale krachten opvangt. Ook dienen de vloeren als schijven om de horizontale windkracht naar de diagonalen over te brengen.

Overige afbeelding(en):



Figuur 13 – Verbindingen, overgenomen uit internetartikel op Forum Holzbau door R. Abrahamsen, 2017.



Figuur 14 – Toegepaste vloertype, overgenomen uit internetartikel op Forum Holzbau door R. Abrahamsen, 2017.

3.4 Project 4: WOODIE Hamburg

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website iF World Design Guide (iF World Design Guide, z.d.), waarop informatie is beschreven over het project WOODIE Hamburg.*
- *Internetartikel van ArchDaily (Silva, 2020), waarin informatie is beschreven over het project WOODIE Hamburg.*
- *Internetartikel van Fourth door (Fourth door, z.d.), waarin informatie is beschreven over het project WOODIE Hamburg.*

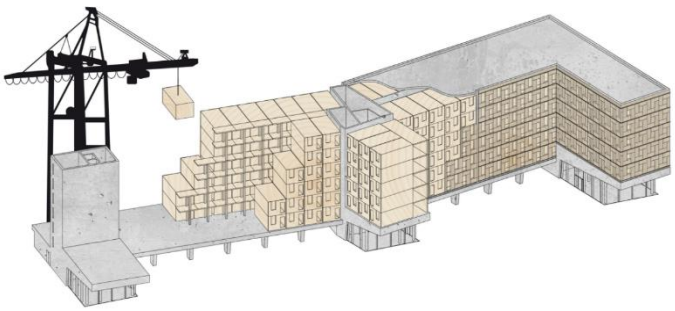
Locatie: Hamburg, Duitsland.

Categorie: Studentenhuisvestingen.

Functie: Wonen (studenten) en bijeenkomst.

Start ontwerp – oplevering: 2014 – 2017.

Afmetingen: 22 meter hoog met 13.510 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).



Figuur 15 - 3D-aanzicht WOODIE Hamburg, overgenomen van website iF World Design Guide, z.d.

Bijzonderheden: Uit 2.500 zaailingen (fase na kiemplant) is na 40 jaar 3.800 m^3 hout gewonnen en gebruikt voor het gebouw. Het gebouw bestaat uit modules welke geprefabriceerd op de bouwplaats aankomen en op hun plek worden gehesen. In het gebouw is plek voor 371 studentenkamers. 80% van de bouwwerkzaamheden vindt plaats in de fabriek.

Constructie: Het gebouw bestaat uit de losse houten CLT modules. Deze zijn gefundeerd op een betonnen begane grondvloer. Ook zijn betonnen kernen toegepast. Het gebouw betreft 5 tot 6 bouwlagen.

Stabiliteit: Het gebouw haalt haar stabiliteit uit de betonnen kernen. Of de CLT modules ook stabiel zijn zonder de betonnen kernen is niet duidelijk.

Overige afbeelding(en):



Figuur 16 – CLT moduleconcept, overgenomen van internetartikel over WOODIE Hamburg door Fourth door, z.d.

3.5 Project 5: *Kea Boumanstraat*

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website MEESVISSER (MEESVISSER, 2019), waarop informatie is beschreven over het project Kea Boumanstraat.*

Locatie: Amsterdam, Nederland.

Categorie: Grondgebonden woningen.

Functie: Wonen.

Start ontwerp – oplevering: 2012 – 2013.

Afmetingen: ±15 meter hoog (4 bouwlagen) met 240 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).



Figuur 17 – Voorgevel bouwwerk, overgenomen van website MEESVISSER, 2019.

Bijzonderheden: Uit onderzoek naar meerdere grondgebonden CLT woningen is gebleken dat bij laagbouw de stabiliteit zonder betonnen voorzieningen gewaarborgd kan worden. Dit gebeurt aan de hand van de schijfwerking van de CLT wanden of met behulp van stalen windverbanden in combinatie met de schijfwerkingen van de vloeren.

Constructie: Het gebouw aan de Kea Boumanstraat te Amsterdam bestaat uit CLT elementen welke op de bouwplaats in 7 weken zijn gemonteerd. Het bouwwerk bestaat constructief volledig uit CLT in combinatie met stalen windverbanden.

Stabiliteit: De stabiliteit van het bouwwerk wordt ontleend aan de CLT wanden in de woning scheidende wanden, de schijfwerking van de vloer en een (relatief klein) stalen windverband in de voorgevel. Hierdoor kon de voorgevel open blijven en kan veel licht in de ruimte komen.

Overige afbeelding(en):



Figuur 18 – Stalen windverband in gevel overgenomen van website MEESVISSER, 2019.

3.6 Project 6: *Triodos Bank*

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Website RAU architecten (RAU architecten, 2020), waarop informatie is beschreven over het project Triodos Bank.*
- *Website Adviesbureau Lüning (Adviesbureau Lüning, z.d.), waarop informatie is beschreven over het project Triodos Bank.*

Locatie: Zeist, Nederland.

Categorie: Utiliteitsbouw.

Functie: Kantoren, bijeenkomst en horeca.

Start ontwerp – oplevering: 2011 – 2019.

Afmetingen: De maximale hoogte is 25 meter met 12.000 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).



Figuur 19 – 3D-aanzicht Triodos Bank, overgenomen van website RAU architecten, 2020 beeldmateriaal is afkomstig van O. van Duivenbode

Bijzonderheden: De architect van dit bouwwerk beweert dat het aandeel hout in de hoofddraagconstructie nagenoeg op 100 procent ligt. Echter, uit constructief onderzoek is gebleken dat er weldegelijk stalen profielen voor verticale afdrachten zijn toegepast. Dit vindt voornamelijk tussen de 3 torens en bij de vliesgevels plaats.

Daarnaast is het gebouw remontabel door de droge verbindingen met schroeven.

Constructie: De Triodos Bank bestaat uit een betonnen kelder en begane grondvloer. Hierop staat een gemodificeerde houtconstructie. Hierbij zijn wanden, spanten en kolommen toegepast.

Constructieonderdelen:

- Kernen en wanden: CLT
- Kolommen/spanten: gelamineerd hout/stalen profielen
- Vloeren (verdieping): CLT, 120 mm dik.

In het bouwwerk is 1.615 m^3 gelamineerd hout en 1.008 m^3 CLT toegepast. Echter, tussen de drie torens is een combinatie van hout en staal voor de hoofddraagconstructie toegepast.

Stabiliteit: De stabiliteit van het bouwwerk wordt ontleend aan een CLT kern. Elk bouwdeel wordt voorzien van een eigen CLT kern. Dit bouwwerk is niet afhankelijk van betonnen of stalen stabiliteitsvoorzieningen.

Overige afbeelding(en):



Figuur 20 – Houten kern en combinatie gemodificeerde houtbouw en staalconstructie, overgenomen van website Adviesbureau Lüning, z.d. beeldmateriaal is afkomstig van Adviesbureau Lüning

3.7 Project 7: Wood Innovation and Design Centre

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel Wood Innovation and Design Centr. (Canadian Wood Council, z.d.), waarin informatie is beschreven over het project Wood Innovation and Design Centre.*
- *Internetartikel Architect Magazine (Hooper, 2015), waarin informatie is beschreven over het project Wood Innovation and Design Centre.*
- *Internetartikel ArchDaily (Sánchez, 2021), waarin informatie is beschreven over het project Wood Innovation and Design Centre.*

Locatie: Prince George, Canada.

Categorie: Utiliteitsbouw.

Functie: Onderwijs, kantoren en bijeenkomst.

Start ontwerp – oplevering: 2013 – 2016.

Afmetingen: 29,5 meter hoog met 4.850 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).

Bijzonderheden: De hoofddraagconstructie van het bouwwerk bestaat volledig uit hout. Destijds was dit bouwwerk het hoogste volledig houten kantoorgebouw in Noord-Amerika. De gevelbekleding bestaat uit verkoold Western red cedar (charred siding). Dit verkolen van de buitenste laag van het hout is een vorm van het verduurzamen van hout tegen de weersinvloeden.



Figuur 21 – 3D-aanzicht WIDC, overgenomen van internetartikel Architect Magazine, 2015 beeldmateriaal is afkomstig van E. Peter

Daarnaast is het gebouw remontabel door de droge verbindingen.

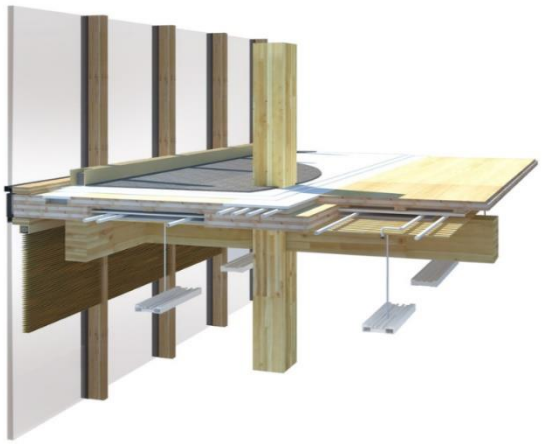
Constructie: Het bouwwerk bestaat uit een betonnen kelder en begane grondvloer. Hierop staat een gemodificeerde houtconstructie. Hierbij zijn wanden, spanten en kolommen toegepast.

Constructieonderdelen:

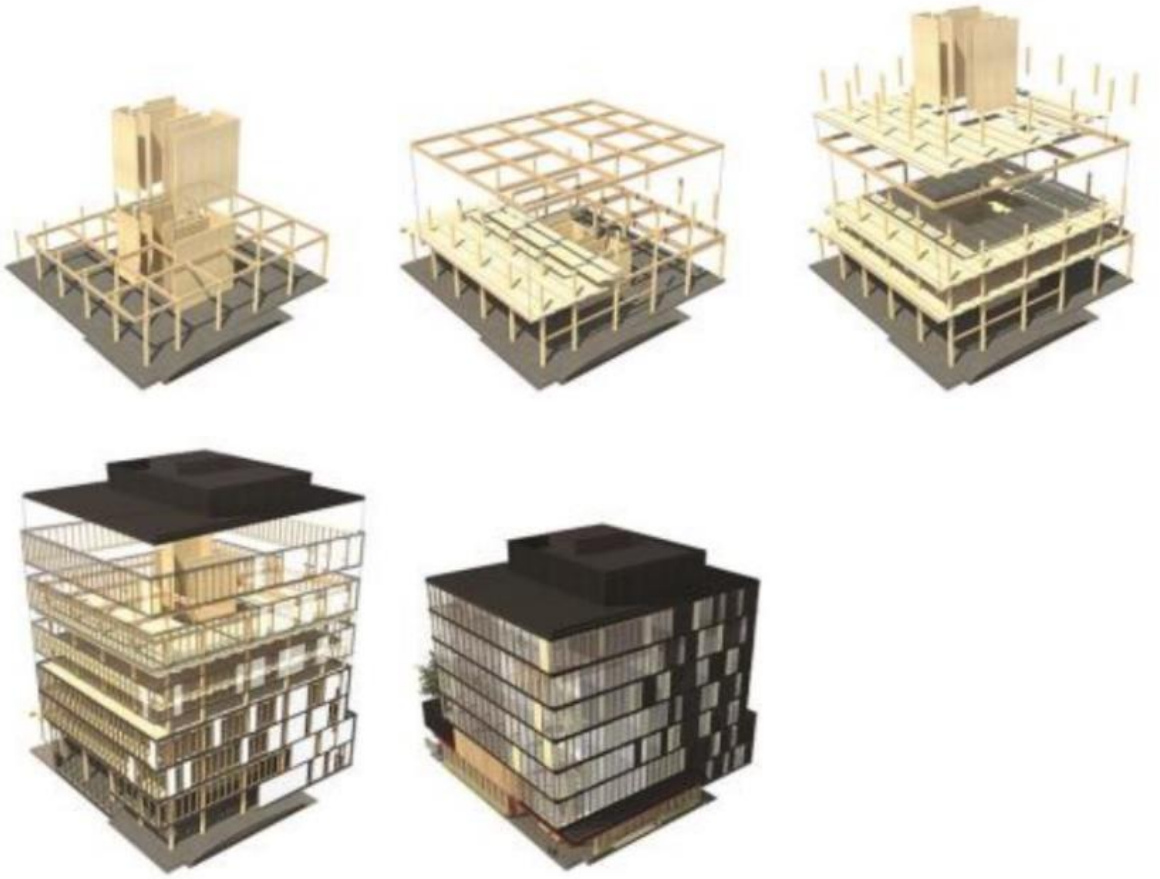
- Kernen en wanden: CLT (Cross Laminated Timber)
- Kolommen/liggers: Glulam (Glue Laminated)
- Vloeren (verdieping): CLT (Cross Laminated Timber)
- Stijlen: LVL (Laminated Veneer Lumber)

Stabiliteit: De stabiliteit van het bouwwerk wordt ontleend aan een CLT kern. In figuur 23 is dit overzichtelijk te zien.

Overige afbeelding(en):



Figuur 22 – Constructieve opbouw, overgenomen van internetartikel Canadian Wood Council, 2015 beeldmateriaal is afkomstig van Michael Green Architecture



Figuur 23 – Constructieve opbouw: houten kern i.c.m. kolommen structuur, overgenomen van internetartikel Architect Magazine, 2015 beeldmateriaal is afkomstig van Michael Green Architecture

3.8 Project 8: Klein Amsterdam

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel De Groot Vroomshoop Groep (De Groot Vroomshoop Groep, z.d.), waarin informatie is beschreven over het project Klein Amsterdam.*
- *Website SeARCH (SeARCH, z.d.), waarop informatie is beschreven over het project Klein Amsterdam.*

Locatie: Amsterdam, Nederland.

Categorie: Scholen.

Functie: Onderwijs.

Start ontwerp – oplevering: 2017 – 2019.

Afmetingen: ±8-9 meter hoog (2 bouwlagen) met 1.250 m^2 BVO (bruto vloer oppervlak).



Figuur 24 – 3D-aanzicht Klein Amsterdam overgenomen van website SeARCH, z.d. beeldmateriaal is afkomstig E. de Boer

Bijzonderheden: Doordat het bouwwerk is opgebouwd uit houten modules van 2,4 x 8,4 m bestaat, is de flexibiliteit en zijn de doorgroeimogelijkheden gewaarborgd. Het huidige bouwwerk, bestaande uit 34 modules, kan 180 leerlingen van een werkplek voorzien. De school verwacht dat het bouwwerk binnen 5 jaar is uitgebreid tot 48 modules met een capaciteit van 360 leerlingen. Ook kunnen de modules 180 graden draaien waardoor de ontwerpvrijheden minder worden beperkt. Het bouwwerk is volledig demontabel en kan weer volledig worden opgebouwd op een andere locatie.

Ook is contact opgenomen met de constructeur van het Modulinn (De Groot Vroomshoop) concept. Hierbij is de maximale stapelhoogte van de modules ter sprake gekomen. Echter, dit was nog niet uitgezocht. Het relatief nieuwe concept was tot nu toe alleen in twee bouwlagen uitgevoerd. De constructeur verwacht dat 4 bouwlagen haalbaar zijn door de afdracht op de kolommen. Wel dient extra aandacht te worden besteed op het gebied van stabiliteit. Dit kan bij meerdere bouwlagen namelijk kritisch worden.

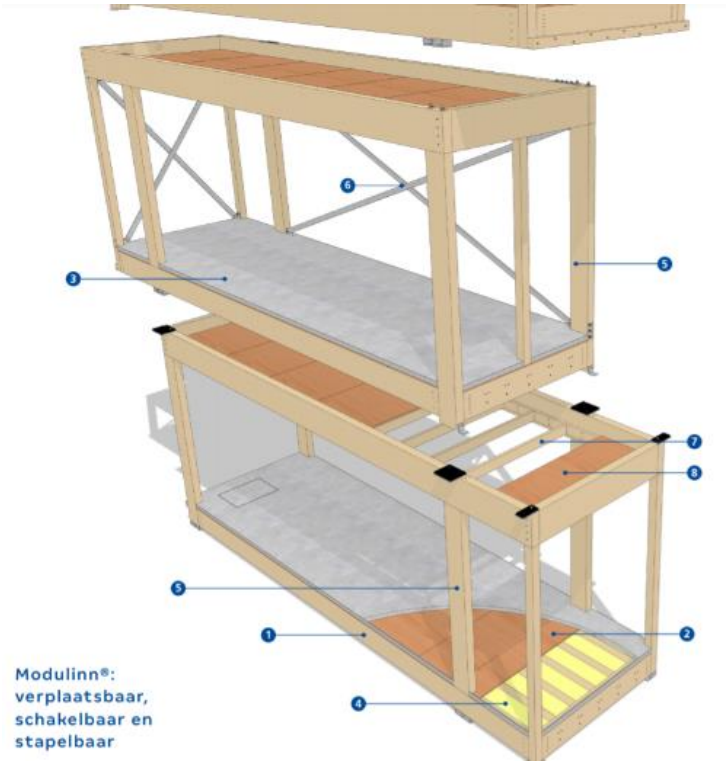
Constructie: Elke module regelt haar eigen verticale afdracht. Een maximale hoeveelheid te stapelen modules is niet vermeld. Voor de veranderlijke belasting is 2,5 kN/m^2 aangehouden.

Constructieonderdelen modules:

- Kolommen: Glulam kolommen 120x300 mm en 120x120 mm.
- (rand)Liggers: Glulam liggers 120x360 mm
- Vloeren (onder): Glulam liggers 120x360 mm h.o.h. 400 mm + OSB 18 mm i.c.m. 60 mm beton (geluid).
- Vloeren (dak): houten balklaag 46x146 mm h.o.h. 600 mm + OSB 15 mm.

Stabiliteit: De stabiliteit van het bouwwerk wordt ontleend aan stalen windverbanden. De hoeveelheid en de posities van de windverbanden worden door de constructeur bepaald.

Overige afbeelding(en):



Figuur 25 – Constructieve opbouw modules, internetartikel De Groot Vroomshoop Groep, z.d. beeldmateriaal is afkomstig van De Groot Vroomshoop Groep



Figuur 26 – Moduleconcept in uitvoering, internetartikel De Groot Vroomshoop Groep, z.d. beeldmateriaal is afkomstig van De Groot Vroomshoop Groep

4.0 Constructieve opbouw houtconstructies

In dit hoofdstuk wordt onderstaande vraag beantwoord:

'Hoe wordt geconstrueerd met houtconstructies?'

Om bovenstaande vraag te beantwoorden en om inzicht te krijgen in de constructieve, bouwfysische en brand technische (on)mogelijkheden van houtbouw is onderscheid gemaakt tussen gemodificeerde houtbouw en houtskeletbouw.

Onder gemodificeerde houtbouw wordt een bouwmethode verstaan waarbij gemodificeerde constructie componenten (gelamineerd of mechanisch bevestigd) als constructiematerialen worden toegepast, bijvoorbeeld CLT, DLT, NLT, LVL of Glulam.

Onder houtskeletbouw wordt een bouwmethode verstaan waarbij holle elementen, bestaande uit stijl- en regelwerk, worden toegepast in combinatie met liggers en kolommen.

<u>Beschreven aspecten per houtbouwmethode:</u>

Bovenstaande varianten binnen de houtbouw worden onderzocht op diverse aspecten. Deze aspecten staan in onderstaande sommering vermeld met een beknopte toelichting:

- Algemene informatie
  - Toepassingen, geschikt soort bouwwerken.
  - Beukmaat, overspanningen en beperkingen.
  - Bouwfysica, akoestische en thermische aspecten.
- Componenten, constructieve componenten met bijbehorende eigenschappen.
- Stabiliteit, stabiliteitsprincipes met bijbehorende toepassingen.
- Constructieve verbindingen, mogelijke bevestigingen.

4.1 Constructieve opbouw gemodificeerde houtbouw

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel Handleiding CLT voor architecten en bouwkundige (Vos, Yildiz, Jackson & van den Berg, 2021), waarin handvatten zijn beschreven over het gebruik van CLT en houtbouw.*
- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin uitleg wordt gegeven over componenten en de basiseigenschappen van hout.*
- *Boek Developments in Timber Engineering: The Swiss Contribution (Steurer, 2006), waarin uitleg wordt gegeven over componenten en de basiseigenschappen van hout.*
- *Boek Timber Construction Manual (Herzog et al., 2006), waarin uitleg wordt gegeven over componenten en de basiseigenschappen van hout.*
- *Internetartikel Gelamineerde houtconstructies (Derix, z.d.), waarin toepassingen van gelamineerde houtconstructies zijn beschreven.*
- *Website Wonen in Hout (Wonen in Hout, 2020), waarop uitleg wordt gegeven over componenten in CLT.*
- *De overige informatie is gehaald uit de referentieprojecten uit hoofdstuk 3.0. Hierbij is geprobeerd om constructieve dilemma's en keuzes te achterhalen en te verklaren.*

4.1.1 Algemene informatie

Toepassingen

Gebouwen met CLT constructies worden tot hoogtes van 40 meter toegepast. Echter, bouwwerken met een CLT constructie zijn het meest geschikt voor gebouwhoogtes van 20 à 30 meter (ca. 7 bouwlagen). Overigens is een gebouw waarbij het hoogste verblijfsgebied onder 13 meter hoogte ligt ideaal voor gemodificeerde houtbouw in verband met de krachtafdracht, constructiedimensies en brandwerendheidseisen. Wanneer hieraan wordt voldaan dient de constructie 90 minuten WBDBO te zijn. Bij hogere bouwwerken zal 120 minuten WBDBO moeten worden toegepast.

Beukmaat

Het toepassen van grote horizontale overspanning met CLT vloeren wordt afgeraden. Een maximum van ± 6 meter wordt geadviseerd, waarbij 5,4 meter volgens de 'CLT Handleiding *(Vos, Yildiz, Jackson & van den Berg, 2021)*' het beste is. Wanneer modulebouw wordt toepast zijn de afmetingen en overspanningen afhankelijk van het transport.

Bouwfysica

- Akoestiek: Door de geluidseisen bij diverse functies en het relatief lichte hout is het akoestische comfort bij gemodificeerde houtbouw een aandachtspunt. Om te voldoen aan de geluidseisen zullen onrealistisch dikke gemodificeerd houten wanden moeten worden toegepast. Met deze reden zijn andere oplossingen wenselijk:
  - Akoestische ontkoppeling ter plaatse van woningscheidende wanden en vloeren door middel van bijvoorbeeld oplegvilt. Dit ontkoppelen kan ten koste gaan van de constructieve uitgangspunten.
  - Het toepassen van akoestische isolatie. Dit kan worden toegepast in de spouw en onder of op vloeren. Ook kan de profilering van de gemodificeerd houten producten invloed hebben op de akoestiek.

    - Verhogen van de massa. En verhoogde massa werkt als trillingdemper. Voor deze oplossing kan zand, grind of beton worden toegepast. Hierdoor ontstaat een hybride systeem. Dit kan ook voordelig zijn op het gebied van brandwerendheid.
- Thermisch: Door de lage dichtheid van het materiaal zal warmteaccumulatie in mindere mate optreden in vergelijking met beton. Hierdoor is het materiaal gevoeliger voor temperatuurswisselingen en zal het minder warmte of kou vasthouden. Het fenomeen 'Massa is kassa' geldt niet voor houtconstructies. Desalniettemin heeft hout wel een lage warmtegeleidingscoëfficiënt waardoor de toe te passen isolatiedikte verlaagd kan worden. Het toepassen van overstekken en zonweringen zal het thermische comfort bevorderen.
- Vocht: Hout heeft een slechte reputatie met betrekking tot vocht. Wanneer hout in contact komt met water en zuurstof en het niet kan drogen, kan rotting optreden. Dit wordt veroorzaakt door schimmels. In Nederland is de luchtvochtigheid hoog door het zeeklimaat. Met bovenstaande redenen dient het constructiehout te worden beschermd tegen vocht. Dit kan op verschillende manieren worden verzorgd:
    - Detailleren, vocht in de constructie minimaliseren en ventilatie toestaan.
    - Beschermen, het hout kan beschermd worden door middel van een coating o.i.d.
- Lucht: Het voordeel van de meeste gemodificeerde houtproducten is dat deze van een hoog niveau van luchtdichtheid zijn. Ter plaatse van de aansluiting van de elementen kan de luchtdichtheid met behulp van nauwkeurige zaagsneden en relatief simpele luchtdichtingsproducten (tapes) worden gewaarborgd.

Informatie over de brandveiligheidseisen en de toepassing op gemodificeerd hout wordt in hoofdstuk 5.3 behandeld.

4.1.2 Componenten

Uit de referentieprojecten blijkt dat gemodificeerde houten platen, zoals wanden en vloeren, gemaakt worden van CLT (Cross Laminated Timber) en LVL-C (Laminated Veneer Lumber Crossed). Ook viel op dat liggers en kolommen voornamelijk werden gemaakt van Glulam (Glue Laminated), LVL-P (Laminated Veneer Lumber Parallel) en gemodificeerd geschaafd hout.

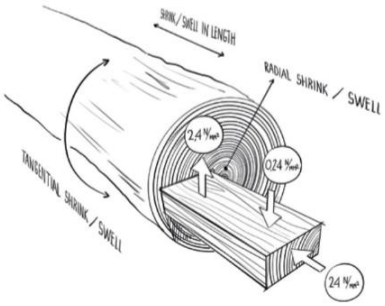
Met bovenstaande informatie is een deelvraag opgesteld:

Deelvraag: Waarom worden alleen kruislaags gemodificeerde houten producten toegepast bij platen en waarom worden voor kolommen en liggers gemodificeerd hout in één richting liggend hout gebruikt?

Antwoord: Door de kruislingse vezelrichting van de platen, ontstaat een hoge dimensionale stabiliteit. Hierdoor zal het product niet vervormen (uitzetten, krimpen en kromtrekken) bij veranderende vochtigheid. Deze dimensionale stabiliteit wordt veroorzaakt door 3 redenen:

- Hout vervormt bij vochtwisselingen het meest in de tangentiële richting (8%). Wanneer de vezels in één richting worden gelegd (Glulam), is de tangentiële richting van het product uniform en zal gevoelig zijn voor krimpen en uitzetten. Bij kruislaagshout zit een percentage van het hout in de andere richting. Hierdoor heeft het product meerdere tangentiële richtingen en zullen elkaar niet versterken.

- Ook zorgt de loodrechte laag ervoor dat de tangentiële krachten, welke worden veroorzaakt door de krimp en uitzetting, worden opgenomen. Een hierbij komend voordeel is dat de kracht nu evenwijdig aan de vezelrichting in de onderliggende laag ligt. Het hout is in deze richting namelijk het sterkst (zie hiernaast gelegen afbeelding).
- Ook wordt verwacht dat de geometrie van de producten invloed heeft op de mate van vervormen bij verschillende vochtpercentages. Dit zal te maken hebben met de oppervlakte wat blootgesteld kan worden aan de luchtvochtigheid. Platen hebben een groter omtrekoppervlakte dan liggers. Hierdoor zijn platen gevoeliger voor vervormingen ten gevolge van vochtverschillen dan liggers met dezelfde inhoud.



Figuur 27 – Eigenschappen hout, overgenomen uit boek Tommorow's Timber figuur 3.02 (p. 71) door van der Lugt & Harsta, 2020.

Nu het eerste deel van de vraag beantwoord is, is antwoord gezocht naar de reden dat Glulam voornamelijk wordt gebruikt voor liggers en kolommen. Het antwoord hierop heeft te maken met de kracht in de constructiecomponent. In liggers komt door middel van buiging geconcentreerde normaalkracht in het hout. Kolommen worden ook voornamelijk op normaalkracht belast. In bovenstaande afbeelding is te zien dat hout de sterkste eigenschappen heeft in de richting op de vezels. Met bovenstaande informatie is het logisch dat ervoor gekozen wordt om alle vezels in de normaalkrachtrichting te leggen. Een loodrechte vezelrichting zal geen toevoeging geven aan de sterkte. Daarnaast zijn liggers en kolommen geometrisch minder gevoelig voor vervormingen door vochtverschillen. Hierdoor is kruislaagshout niet nodig.

In onderstaande tabel 3 staan de toepasbare constructiecomponenten met betrekking op gemodificeerde houtbouw. Ook hierin wordt duidelijk dat de toepasbaarheid van kruislaagshout tot platen wordt beperkt en dat Glulam voornamelijk voor liggers en kolommen wordt gebruikt.

Component	Functie	Krachttype	Materiaal
Wanden	Verticale afdracht	Normaal	○ CLT ○ LVL-C
	Schijfwerking	Afschuiving	
Kolommen	Verticale afdracht	Normaal	○ Glulam ○ LVL-P
Portalen	Verticale afdracht	Normaal	○ Glulam ○ LVL-P
	Stabiliteit	Moment	
Liggers	Verticale afdracht	Buiging	○ Glulam ○ LVL-P
Vloeren	Verticale afdracht	Buiging	○ CLT ○ LVL-C
	Schijfwerking	Afschuiving	

Tabel 3 – Componenten gemodificeerde houtbouw

Portalen

Het constructiecomponent 'portaal' ook wel een spant genoemd, wordt verder toegelicht. Portalen worden toegepast voor de verticale afdracht en als stabiliteitsvoorziening. Een portaal is kenmerkend voor twee poten (kolommen) met een verticaal element (ligger of vakwerk). Een portaal kan als stabiliteitsvoorziening worden toegepast wanneer de verbinding tussen de verticale en horizontale delen als moment-vast kan worden beschouwd.

Momentvasten hoeken in de gemodificeerde houtbouw kunnen over verschillende manieren worden uitgevoerd. Deze kunnen in volledig hout (exclusief bevestiging) worden uitgevoerd of met andere hulpmaterialen:

Volledig hout (exclusief bevestiging):

- Verbinding verticaal met horizontaal door middel van deuvels of bouten, de deuvels/bouten worden vaak in een cirkelvormig patroon aangebracht.
- Houten platen (intern of extern) met deuvels/bouten/schroeven/spijkers, deze dienen als schetsplaten.
- Verloopstukken met vingerlassen of gebogen spanten, hierdoor zullen de houtvezels mee buigen met de spantrichting.
- Houten diagonalen, hierbij gaan de verticale en horizontale staven functioneren als pendelstaven belast op trek of druk.

M.b.v. hulpmaterialen:

- Stalen/composiet platen (intern of extern) met deuvels/bouten, deze dienen als schetsplaten.
- Complete momentvasten stalen hoeken, hierbij dienen de houten staven als pendelstaven.

Met betrekking op de gemodificeerde houtbouw worden portalen/spanten voornamelijk in LVL-P en Glulam uitgevoerd. Hierbij staan de vezels namelijk in dezelfde richting en kan de optimale sterkte en stijfheid behaald worden.

Balkons:

In dit subonderdeel wordt het toepassen van balkons in combinatie met gemodificeerde houtbouw behandeld. Bij balkons staan de constructieve- en bouwfysische uitwerking centraal. Ondanks de hogere lambda-waarde van gemodificeerd hout is een thermische ontkoppeling ter plaatse van het balkon of een volledig thermisch ingepakt balkon noodzakelijk. De balkons zijn op diverse manieren te ontwerpen en construeren. In onderstaande afbeelding is te zien welke balkonconstructie varianten mogelijk zijn. Elke variant heeft voor- en nadelen. Hieronder worden de varianten van links naar rechts toegelicht.

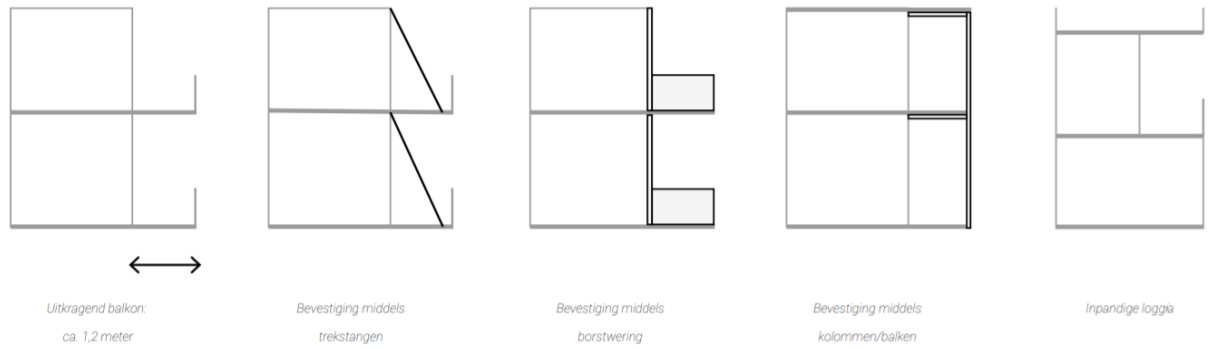
Variant 1, waarbij het balkon ingeklemd tegen de achterliggende constructie is bevestigd. Wanneer de hierbij thermische ontkoppeling wordt toegepast, dient de inklemming gerealiseerd te worden door middel van een stalen hulpconstructie. Het voordeel van deze variant is de flexibiliteit van het balkon door de onzichtbare constructie. Door de inklemming is een beperkte uitkraging mogelijk.

Variant 2, waarbij het balkon opgehangen wordt aan trekstaven welke bevestigd zijn aan de achterliggende constructie. Het voordeel van dit systeem is dat het balkon relatief licht uitgevoerd kan worden. Dit komt door de ligger op twee steunpunten mechanicaschema. Echter dient rekening gehouden te worden met de montage van de trekstaven.

Variant 3, waarbij het balkon is ingeklemd tegen de achterliggende constructie door middel van de balustrade. De balustrade dient als gedrongen wandligger en zal dus niet op buiging worden belast. Het voordeel van dit systeem is de hoogte van de constructie waardoor deze relatief slank uitgevoerd kan worden om aan de momentcapaciteit te voldoen. Het nadeel is de dichte constructie wat een negatieve invloed kan hebben op de openheid en de flexibiliteit. Daarnaast dienen de horizontale krachten afkomstig van het moment vanuit de balustrade opgenomen kunnen worden in de achterliggende constructie.

Variant 4, waarbij het balkon is opgelegd door middel van een externe (hulp)constructie. Het balkon wordt net als variant 2 geschematiseerd als een ligger op 2 steunpunten. Ondanks deze slanke manier van construeren van het balkon, is het toepassen van een externe (hulp)constructie niet materiaalefficiënt.

Variant 5, waarbij een balkon wordt gecreëerd door de verspringende diepte van de verdiepingen. Bij dit concept kan binnen of buiten geïsoleerd worden. Constructief gezien is dit een relatief gunstige manier van krachtafdracht. Echter, deze methode is bij modulebouw lastig uit te voeren. Ook kan dit principe ten koste gaan van de binnenruimte.



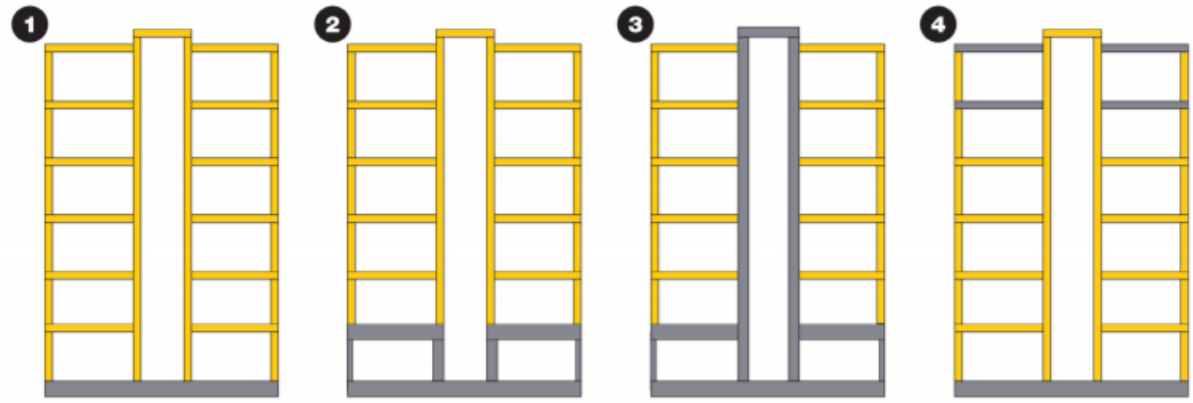
Figuur 28 – Toepassing balkons in gemodificeerde houtbouw, overgenomen uit internetartikel Handleiding CLT (p.33) door architecten en bouwkundige Vos, Yildiz, Jackson & van den Berg, 2021.

4.1.3 Stabiliteit

Stabiliteit, ook wel de kwaliteit van het evenwicht genoemd, is bij elke bouwlaag van belang. In dit kopje wordt de stabiliteit bij gemodificeerd houten bouwwerken behandeld.

In onderstaande afbeelding staat weergeven welke mogelijkheden van stabiele constructie toegepast kunnen worden. De keuze is afhankelijk van de gebouwhoogte en slankheid, de kosten, ontwerpvisie en de functie, oftewel volledig projectafhankelijk.

Onderstaande mogelijkheden zijn gebaseerd op CLT. Deze varianten en richtlijnen kunnen ook voor de overige gemodificeerde houtbouw toegepast worden.



Figuur 29 – Toepassing stabiliteit in gemodificeerde houtbouw, overgenomen uit internetartikel Handleiding CLT (p. 33) door architecten en bouwkundige Vos, Yildiz, Jackson & van den Berg, 2021. beeldmateriaal is afkomstig van: © Waugh Thistleton Architects (vertaald door Orga Architecten)

1. Volledige houtbouwconstructie op betonnen fundering. Het bouwwerk haalt haar stabiliteit volledig uit de houten constructie in de vorm van houten kernen, wanden, portalen of gevelvakwerken. Deze methode wordt aangeraden voor bouwwerken tot en met 12 bouwlagen hoog.
2. Volledig houten constructie op betonnen plint. Deze variant is vergelijkbaar met variant 1. De constructie ontleent haar stabiliteit uit de houten constructie boven de betonnen plint. Deze variant wordt aangeraden voor bouwwerken tot en met 12 bouwlagen boven op de plint.
3. Houten constructie op een betonnen plint in combinatie met een betonnen/stalen kern. Bij deze variant ontleent het bouwwerk haar stabiliteit aan een betonnen of stalen stabiliteitscomponent. In dit geval is een kern toegepast, maar losse wanden kunnen ook voldoen. Bij deze hybride toepassing kan relatief hoog worden gebouwd. Deze methode wordt aangeraden bij bouwwerken vanaf 8 bouwlagen hoog.
4. Houten constructie op betonnen fundering met bovenste vloeren uitgevoerd in beton. Bij deze variant bevindt veel massa aan de bovenzijde van de toren. Hierdoor is top van het gebouw stabiel. Verder heeft dit een positieve werking op het reduceren/vermijden van trek in de constructie door de neerwaartse druk. Echter, door het hooggelegen zwaartepunt van het bouwwerk kan de tweede orde kritisch worden. Deze variant kan ook in combinatie met een betonnen kern worden uitgevoerd. Deze stabiliteitsmethode wordt toegepast bij de hoogbouw, boven de 12 bouwlagen.

Uit de referentieprojecten is gebleken dat veel bouwwerken met hybride systemen werken. Hiermee wordt bedoeld dat de hoofdconstructie in hout is uitgevoerd maar dat de stabiliteit wordt ontleend uit een betonnen kern. Bij hoge bouwwerken in volledige houtbouw zijn zeer grote stabiliteitsvoorzieningen toegepast. Of dit realistisch is op het gebied van materiaalefficiëntie en kosten valt te betwijfelen. Dit kan in een vervolgonderzoek worden uitgezocht. Bij modulebouw kan gekozen worden voor een extern stabiliteitscomponent (kernen, wanden, portalen of windverbanden) of voor individueel stabiele modules.

In onderstaande tabel 4 staan mogelijke stabiliteitsvoorzieningen vermeld met materialisatie en de toepasbare gebouwhoogte. Veel van deze voorzieningen zullen in combinatie met de schijfwerking van de vloeren worden toegepast. De vloeren zorgen namelijk voor de krachtsoverdracht van gevel naar stabiliteitsvoorziening. Deze informatie is afkomstig uit de referentieprojecten en het boek Tommorow's Timber.

Component	Materiaal	Gebouwhoogte
Kern(en)	Hout	Tot 12 bouwlagen
	Beton (hybride)	Tot 40 bouwlagen
	Staal (hybride)	Tot 40 bouwlagen
Gevelvakwerken	Hout	Tot 30 bouwlagen
	Staal (hybride)	Tot 40 bouwlagen
Wanden	Hout	Tot 10 bouwlagen
	Beton	Tot 10 bouwlagen
Portalen	Hout	Tot 10 bouwlagen

Tabel 4 – Componenten houtconstructies

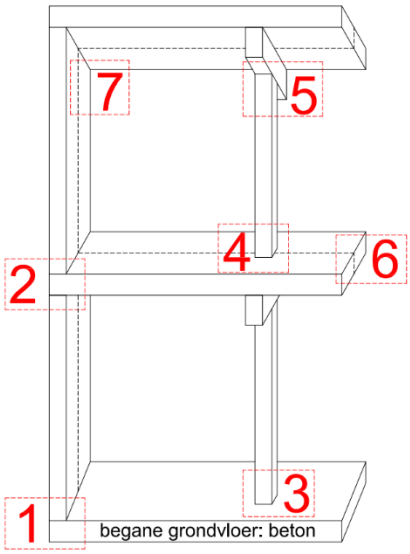
4.1.4 Constructieve verbindingen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel Design guide timber connection systems (Sherpa, z.d.), waarin handvatten zijn gegeven over constructieve verbindingen in gemodificeerde houtbouw.*
- *Website Rothoblaas (Rothoblaas, z.d.), waarop handvatten zijn gegeven over constructieve verbindingen in gemodificeerde houtbouw.*

Verbinding	Bevestigingsmechanisme
1 Wand op betonnen begane grondvloer	• Uitwendige stalen plaat • Inwendige stalen hoek • Aluminium stelregel (ALU Start, tegen optrekkend vocht) • Inwendige stalen hoek (X-RAD/PLATE)
2 Wand op/onder houten verdiepingsvloer	• Uitwendige stalen plaat • Inwendige stalen hoek
3 Kolom op betonnen begane grondvloer	• Stalen stelvoet (SHERPA Power Base, Rothoblaas R serie) • Stalen voetplaat (Rothoblaas X10, Type F)
4 Kolom op/onder houten verdiepingsvloer	• Stalen stelvoet (SHERPA Power Base, Rothoblaas R serie) • Stalen voetplaat (Rothoblaas X10, Type F)
5 Ligger op/tegen houten kolom	Verborgen: • Stalen kopplaat met haakse deuvelplaat, zwaluwstaart Sherpa Connector, handjes LOCK T en C, • Aluminium kopplaat met haakse deuvelplaat (ALU serie Rothoblaas) • Stalen ankerplaat met schroefdraad (DISCK FLAT) Zichtbaar: • Zie bevestigingen momentvasten hoeken (Hoofdstuk 4.1.2 Componenten) • Stalen balkschoenen
6 Vloer tegen vloer	• Stalen koppeling (SHERPA CLT Connector en SLOT Rothoblaas)
7 Wand tegen Wand	• Stalen koppeling (SLOT Rothoblaas) • Inwendige stalen hoek (X-RAD/PLATE)

Tabel 5 – Constructieve verbindingen in gemodificeerde houtbouw



Figuur 30 – Posities verbindingen voor tabel 5

4.2 Constructieve opbouw houtskeletbouw (HSB)

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Handboek houtskeletbouw (Groot, Banga, Graaf & de Groot, 2000), waarin uitleg wordt gegeven over componenten HSB.*
- *Boek Houtskeletbouw (Graaf, 1996), waarin uitleg wordt gegeven over componenten HSB.*
- *Internetartikel Hout 6.2 Houtskeletbouw (de Ceukelaire & van Peer, 2006), waarin uitleg wordt gegeven over componenten HSB.*
- *De overige informatie is gehaald uit de referentieprojecten uit hoofdstuk 3.0. Hierbij is geprobeerd om constructieve dilemma's en keuzes te achterhalen en te verklaren.*

4.2.1 Algemene informatie

Toepassen

De in Nederland voornamelijk gebruikte HSB-bouwmethode is de platformmethode waarbij verdiepingshoge wandelementen op elke bouwlaag worden onderbroken door de houten vloeren. Deze onderbrekingen hebben een bijkomend voordeel dat de krimp van het hout door de constructieve elementen zelf opgenomen kunnen worden en geen tot nauwelijks invloed hebben op de binnenafwerking. Op het gebied van gevelafwerking is het HSB-systeem zeer flexibel. De mogelijkheden reiken van traditioneel metselwerk tot houten betimmeringen en verder. Een andere, in Nederland weinig toegepast, HSB-bouwmethode is de balloonmethode waarbij de vloer tussen de wanden hangen. Hierdoor zullen de wanden de volledige hoogte van het bouwwerk lang zijn. Een menging tussen beide bovengenoemde methodes wordt ook toegepast. Hierbij worden de vloeren in inkepingen, tot de helft van de wanddikte, in de wanden opgelegd.

HSB-bouwsystemen worden toegepast bij bouwwerken tot 5 à 6 bouwlagen en voornamelijk in de woningbouw. Ook worden het houtskeletelement toegepast bij hybridesystemen. Tot slot wordt houtskeletbouw veel toegepast bij verbouwingen en renovaties als aanbouwen en optoppingen.

HSB-wanden met intern stijl- en regelwerk hebben diverse toepassingen:

- Constructieve wanden, voor verticale krachtsafdracht en als stabiliteitsvoorziening.
- Interne niet dragende wanden ten behoeve van afscheiding, geluid en brand.

Het voornaamste voordeel van houtskeletbouw is het relatief lage eigen gewicht. De bouwmethode weegt 25 tot 30% van het gewicht ten opzichte van steenachtige bouwwerken. Hierdoor is de toepassing in bestaande bouwwerken interessant. Bij nieuwbouwprojecten zal dit leiden tot lichtere funderingen.

Beukmaat

Voor de vloeren en daken uitgevoerd als houten balklaag zijn de balkdimensies afhankelijk van de overspanning. In de woningbouw wordt onderscheid gemaakt tussen gezaagde en gelamineerde balken. Gezaagd hout wordt bij overspanningen van 2 tot 6 meter toegepast. Bij grotere overspanningen, van 5 tot en met 8 meter, worden gelamineerde of samengestelde profielen toegepast. Voor grove profielinschattingen kunnen ontwerpgrafieken en vuistregels geraadpleegd worden.

Bouwfysica

- Akoestiek: Bij de relatief lichte HSB-elementen voldoen deze niet aan de geluidseisen met betrekking op massa. Hierdoor dienen extra maatregelen getroffen te worden in de vorm van ontkoppeling en akoestische isolatie. Ook de stijfheid van de elementen heeft invloed op de geluidsisolatie.
- Thermisch: Wanneer de thermische weerstand volledig uit de HSB-wand gehaald dient te worden, zijn de thermische eisen vaak maatgevend ten opzichte van de constructieve eisen met betrekking op de benodigde wanddikte. Het voordeel van het stijl- en regelwerk is de mogelijkheid om hiertussen isolatie toe te passen. Wanneer hoe R_c-waardes bereikt worden, zullen de stijlen (8-24 volume procent) als koudebruggen worden beschouwd. Om deze koudebruggen te reduceren en om bij grotere wanddiktes materiaalefficiënt te bouwen worden steeds vaker houten I-profielen als stijlen toegepast. Een andere optie om de hoeveelheid kout en de koudebruggen te reduceren is het toepassen van een extra voorzetwand met isolatie. In deze voorzetwand kunnen ook installaties verwerkt worden.
- Vocht: Door het thermische verloop in de HSB-wandopbouw kan inwendige condensatie optreden. Om dit te voorkomen dient een dampremmende laag te worden toegepast. Deze laag bevindt zich aan de binnenzijde van de thermische isolatie. De dampremmende lagen zijn voornamelijk van toepassing in gevels en daken. Ook kunnen deze met het oog op luchtdichting bij vloeren toegepast worden.
- Lucht: zoals hierboven vermeld, zijn de dampremmende lagen zeer gunstig voor de luchtdichting. Wanneer deze laag niet wordt toegepast, moet de beplating in combinatie met luchtdichtingsproducten de luchtdichting verzorgen.

4.2.2 Componenten

Component	Sub-componenten/materiaal	Overige informatie
Wanden (stijl- en regelwerk h.o.h. 610 mm + plaatmateriaal)	Gezaagde profielen (standaard afmetingen)	Plaatmateriaal: OSB of triplex. I-profielen: kleinere koudebrug, efficiënt materiaalgebruik en lichter. Kan als stabiliteitsvoorziening functioneren. Let op optrekkend vocht.
	I-profielen flens: gezaagd/LVL + lijf: plaatmateriaal (rendabel bij <195 mm dik)	
Lateien (inwendig)	(meerdere) liggende of staande regels	Opgenomen in wand. Ook prefab uit te voeren
	Houten triplex kokerligger	
Kolommen	Gezaagd	Bij ligger-kolom houtconstructies of i.c.m. HSB-wanden.
	Glulam/LVL-P	
	Stalen profielen	
Liggers	Gezaagd (enkel of meerdere)	
	Glulam/LVL-P	
	I-profielen	
	Stalen profielen	
Begane grondvloeren	Beton	Waterdicht
	Gezaagde profielen	Let op voor vocht: folies en/of ventilatie
	I-profielen	
Verdiepingsvloeren/ platte daken (houten balklaag h.o.h. 610 mm + plaatmateriaal)	Gezaagde profielen	Ruimte voor installaties en isolatie t.b.v. thermische- en akoestische eisen en brandwerendheidseisen. Extra stijfheid toevoegen: klossen of andreaskruisen toepassen. De schijfwerking van de vloeren is benodigd ten behoeve van de stabiliteit van het bouwwerk.
	I-profielen	
	Ribpanelen	

Tabel 6 – Constructieve componenten houtskeletbouw

4.2.3 Stabiliteit

Bij het toepassen van HSB-systemen zullen de bouwwerken hun stabiliteit voornamelijk in uit de schijfwerking van de wanden en de vloer halen. Ook kunnen stalen windverbanden of hybride systemen met betonnen stabiliteitsvoorzieningen worden toegepast.

Wanneer gebruikt wordt gemaakt van schijfwerkingen zal de windbelasting als volgt worden opgenomen. De horizontale windbelasting zal op de gevel aangrijpen en verticaal naar de achterliggende vloeren afdragen. Deze vloeren zullen de horizontale kracht door middel van hun schijfwerking doorgeven naar de verticale stabiliteitsschijven. Deze wanden zullen de horizontale krachten en het hierdoor optredende moment opnemen en doorgeven aan de fundering. Hierbij geldt, net als bij andere constructies, dat minimaal 3 stabiliteitswanden welke niet allemaal door hetzelfde punt snijden toegepast dienen te worden.

Mogelijke bezwijkmechanismes van stabiliteitswanden/schijven zijn:

- Horizontaal verschuiven
- Kantelen/roteren
- Schranken, vervormen/buigen

Alle bovenstaande mechanismes moeten voldoen op sterkte (UGT) en aan de maximale verplaatsing (UGT). Zowel het plaatmateriaal als de vernageling moet voldoen aan de eisen.

Wanneer de windkracht door meerdere stabiliteitswanden wordt opgenomen zal de mate van stijfheid de krachtsverdeling bepalen.

4.2.4 Constructieve verbindingen

De verbindingen binnen de HSB-elementen kunnen genageld, geniet en geschroefd worden. Uit stabiliteitsberekeningen waarbij de stabiliteit uit schrijfwerkingen gehaald wordt, kunnen zwaardere verbindingen noodzakelijk zijn.

Verdere verbindingen worden, afhankelijk van de detaillering uitgevoerd door middel van hulpstaal. Dit kan in de vorm van hoeken, balkschoenen, koppelstrippen en bouten.

5.0 Rekenen aan houtconstructies

In dit hoofdstuk wordt onderstaande vraag beantwoord:

'Hoe wordt gerekend aan houtconstructies?'

Bovenstaande vraag is relatief breed. Met het rekenen aan houtconstructies worden namelijk diverse aspecten bedoeld. Hieronder vallen constructief reken, bouwfysisch rekenen en brand-technisch rekenen. De aspecten worden in onderstaande sommering verder toegelicht:

- Constructief rekenen
  - Basis mechanische eigenschappen hout, met invloeden op de eigenschappen.
  - Constructieve eigenschappen, met spanningen, E-moduli, G-moduli en dichtheden.
  - Toetsingen houtconstructies, met UGT/BGT en bijzonderheden kruislaags hout.
  - Vuistregels en ontwerptabellen, per materiaal en leverancier.
  - Beschikbare rekenprogrammatuur, met relevantie.
- Bouwfysisch rekenen
  - Thermisch, met weerstanden, warmteaccumulatie en condensatie.
  - Akoestisch, met eisen en toepassingen.
- Brand-technisch rekenen
  - Gemodificeerde houtbouw, met eisen en rekenen.
  - Houtskeletbouw, met toepassingen.
  - Belastingcombinatie.
  - Vloer- en wanden opbouwen, met afmetingen en brand-technische, thermisch en akoestische eigenschappen.

Op het gebied van het constructief rekenen zijn de eerste onderdelen zowel van toepassing op gemodificeerd hout als houtskeletbouw. Vanaf de vuistregels en ontwerptabellen is een duidelijke scheiding tussen de twee houtbouwmethodes zichtbaar. Voor het bouwfysisch en brand-technisch rekenen geldt ook dat deze aspecten gescheiden onderzocht en genoteerd zijn.

5.1 Constructief rekenen

5.1.1 Basis mechanische eigenschappen hout

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Tommorow's Timber (van der Lugt & Harsta, 2020), waarin uitleg wordt de basis mechanische eigenschappen van hout.*
- *Internetartikel The CLT Handbook (Borgström & Fröbel, 2019), waarin de richtingen in hout worden beschreven.*

Houtconstructies worden berekend volgens Eurocode 5 NEN-EN 1995. De nieuwe ontwikkelingen ontremd CLT, NLT, DLT, PSL en LSL zijn niet verwerkt in de Eurocode 5. Naar verwachting zullen deze materialen meegenomen worden in de herziening van de Eurocodes die naar verwachting allemaal in 2025 gepubliceerd zullen zijn *(NENMagazine, 2020)*.

Door de opbouw van hout heeft het materiaal in elke richting andere materiaaleigenschappen. Hout bestaat namelijk uit bundels buisvormige cellen welke door middel van een natuurlijke lijm (lignine) in de lengterichting in een matrix liggen. De mechanische eigenschappen zijn sterk afhankelijk van de vezelrichting van het hout.

Mechanische eigenschappen van hout kunnen zeer fluctueren door: groeiproces boom, boomsoort en spint- of kernhout. Door het hout in uniforme sterkteklassen te classificeren, wordt het mogelijk voor een constructeur om te rekenen aan houtconstructies. De uniforme sterkteklassen worden bepaald door visuele gradaties en door metingen door middel van trillingen of stralingen met behulp van machines. Door deze sortering wordt het mogelijk gemaakt om de dichtheid-, sterkte- en stijfheid eigenschappen toe te passen in een berekening. De constructieve eigenschappen zijn terug te lezen in hoofdstuk: *5.1.2 Constructieve eigenschappen.*

Andere factoren die invloed hebben op het mechanische gedrag van houtconstructies zijn:

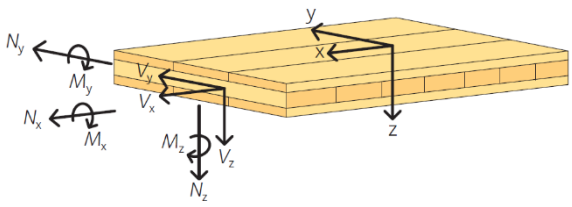
- Vochtgehalte:
  - Heeft invloed op de sterkte en stijfheid van hout.
- Tijd:
  - Heeft invloed buigsterkte door duur van de belasting.
  - Heeft invloed op langdurige vervorming door kruip.
- Afmetingen:
  - Heeft kans op defecten in grote constructieonderdelen.

Richtingen in hout

In houtconstructies zijn de mechanische eigenschappen per richting op de vezel verschillend. Om de juiste richting te bepalen wordt er gebruik gemaakt van een 3D-assenstelsel. De richtingen die toegepast worden zijn:

- x: as evenwijdig aan de vezelrichting[1)];
- y: as loodrecht op de vezelrichting[1)];
- z: as loodrecht op het vlak.

[1)] Voor kruislaagshout (CLT en LVL-C) worden buitenste houtlagen beschouwd.



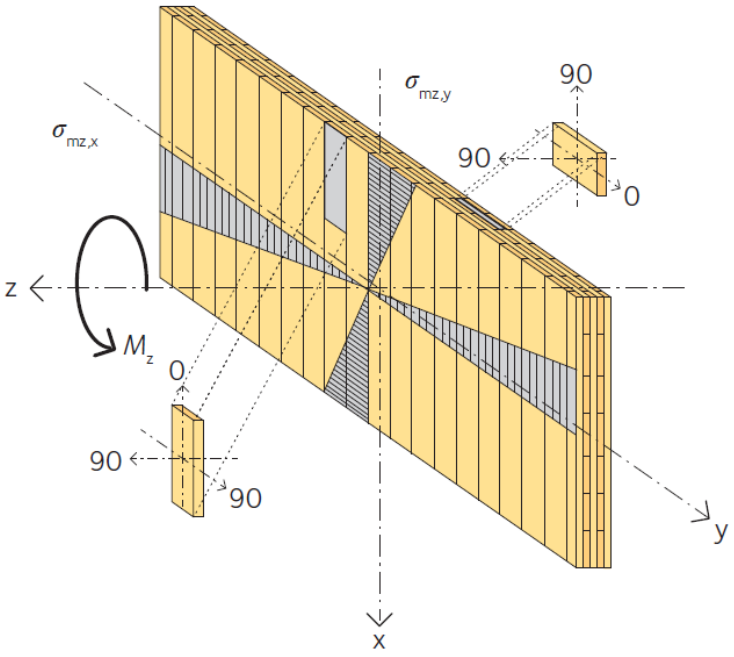
Figuur 31 – Richtingen in hout 1, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook figuur 3.3 (p. 40) door Borgström & Fröbel, 2019.

Hierdoor wordt er per richting middels symbolen de richting aangeduid. Hieronder zijn deze richtingen opgenomen in een tabel:

Richtingen houtconstructies		
Symbool	Richting	Materialen
0	evenwijdig aan de vezel	Gezaagd hout, Gelamineerd hout, LVL, CLT
90	loodrecht op de vezel	Gezaagd hout, Gelamineerd hout, LVL, CLT
0,edge	in het vlak	LVL
0,flat	loodrecht op vlak, evenwijdig aan de vezel	LVL
090	evenwijdig aan de vezel, afschuiving	CLT
9090	loodrecht op de vezel, afschuiving	CLT

Tabel 7 – Houtrichtingen

In onderstaande afbeelding staan bovengenoemde richting gevisualiseerd bij een wandelement.



Figuur 32 – Richtingen in hout 2, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook figuur 3.4 (p. 40) door Borgström & Fröbel, 2019.

5.1.2 Constructieve eigenschappen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel LVL Handbook Europe (Finnish Woodworking Industries, 2020), waarin de mechanische eigenschappen beschreven staan van LVL.*
- *Website MetsäWood (MetsäWood, z.d.-c), waarop de mechanische eigenschappen beschreven staan van LVL.*
- *Boek Handboek houtskeletbouw (Groot, Banga, Graaf & de Groot, 2000), waarin de mechanische eigenschappen beschreven staan van houtproducten.*
- *Internetartikel The CLT Handbook (Borgström & Fröbel, 2019), waarin de mechanische eigenschappen beschreven staan van CLT.*

In onderstaande tabellen staan de mechanische materiaaleigenschappen vermeld.

Gezaagd hout

Eenheid	*Symbool*	*Naaldhout*								*Loofhout*		
Sterkte eigenschappen [N/mm²]		**C14**	**C16**	**C18**	**C20**	**C22**	**C24**	**C27**	**C30**	**D18**	**D24**	**D30**
Buigsterkte	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	18	24	30
Treksterkte evenwijdig aan de vezel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	11	14	18
Treksterkte loodrecht op de vezel	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6
Druksterkte Evenwijdig aan de vezel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	18	21	24
Druksterkte loodrecht op de vezel	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	7,5	7,8	8,0
Schuifsterkte	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0
Stijfheidseigenschappen [N/mm²]												
Gemiddelde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel	$E_{0,mean}$	7000	8000	9000	9500	10000	11000	11500	12000	9500	10000	11000
5-procentielwaarde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel	$E_{0,05}$	4700	5400	6000	6400	6700	7400	7700	8000	8000	8500	9200
Gemiddelde elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel	$E_{90,mean}$	230	270	300	320	330	370	380	400	630	670	730
Gemiddelde afschuivingsmodulus	G_{mean}	440	500	560	590	630	690	720	750	590	620	690
Volumieke massa [kg/m³]												
Krakteristiek	ρ_k	290	310	320	330	340	350	360	380	475	485	530
Gemiddeld	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	570	580	640

Tabel 8 – Mechanische eigenschappen gezaagd hout

Gelamineerd hout

Eenheid	*Symbool*	*Naaldhout (h: homogeen, c: gecombineerd)*							
Sterkte eigenschappen [N/mm²]		**GL24**		**GL28**		**GL32**		**GL36**	
		h	c	h	c	h	c	h	c
Buigsterkte	$f_{m,k}$	24	24	28	28	32	32	36	36
Treksterkte evenwijdig aan de vezel	$f_{t,0,k}$	16,5	14	19,5	16,5	22,5	19,5	26	22,5
Treksterkte loodrecht op de vezel	$f_{t,90,k}$	0,4	0,35	0,45	0,4	0,5	0,45	0,6	0,5
Druksterkte Evenwijdig aan de vezel	$f_{c,0,k}$	24	21	26,5	24	29	26,5	31	29
Druksterkte loodrecht op de vezel	$f_{c,90,k}$	2,7	2,4	3,0	2,7	3,3	3,0	3,6	3,3
Schuifsterkte	$f_{v,k}$	2,7	2,2	3,2	2,7	3,8	3,2	4,3	3,8
Stijfheidseigenschappen [N/mm²]									
Gemiddelde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel	$E_{0,mean}$	11600		12600		13700		14700	
5-procentielwaarde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel	$E_{0,05}$	9400,0		10200,0		11100,0		11900,0	
Gemiddelde elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel	$E_{90,mean}$	390	320	420	390	460	420	490	460
Gemiddelde afschuivingsmodulus	G_{mean}	720	590	780	720	850	780	910	850
Volumieke massa [kg/m³]									
Krakteristiek	ρ_k	380	350	410	380	430	410	450	430

Tabel 9 – Mechanische eigenschappen gelamineerd hout

CLT

Eenheid	*Symbool*	*CLT*		
		Hoofdrichting (X)	**C24**	**C30***
Sterkte eigenschappen [N/mm²]		**Kruislaag (Y)**	**C24**	**C14***
Buigsterkte	$f_{m,x,k}$	X-richting	24	30
	$f_{m,y,k}$	Y-richting	24	14
Treksterkte in het vlak	$f_{t,0,x,k}$	X-richting	14,5	19
	$f_{t,0,y,k}$	Y-richting	14,5	7,2
Treksterkte loodrecht op het vlak	$f_{t,90,x,k}$	X-richting	0,4	0,4
	$f_{t,90,y,k}$	Y-richting	0,4	0,4
Druksterkte in het vlak	$f_{c,0,x,k}$	X-richting	21	24
	$f_{c,0,y,k}$	Y-richting	21	16
Druksterkte loodrecht op het vlak	$f_{c,90,z,k}$	X-richting	2,5	2,7
		Y-richting	2,5	2,7
Afschuifsterkte, evenwijdig aan vezels	$f_{v,090,xlay,k}$	X-richting	4	4
	$f_{v,090,ylay,k}$	Y-richting	4	3
Afschuifsterkte, loodrecht op vezels	$f_{v,9090,xlav,k}$	X-richting	1,1[1] of 0,7[2]	1,1[1] of 0,7[2]
	$f_{v,9090,ylay,k}$	Y-richting	1,1[1] of 0,7[2]	1,1[1] of 0,7[2]
Stijfheidseigenschappen [N/mm²]				
Gemiddelde elasticiteitsmodulus	$E_{0,x,mean}$	X-richting	11000	12000
	$E_{90,x,mean}$	Y-richting	0[3] of 400[4]	0[3] of 400[4]
	$E_{0,y,mean}$	X-richting	11000	7000
	$E_{90,y,mean}$	Y-richting	0[3] of 400[4]	0[3] of 280[4]
5-procentielwaarde elasticiteitsmodulus	$E_{0,x,05}$	X-richting	7400	8000
	$E_{0,y,05}$	Y-richting	7400	4700
Gemiddelde afschuivingsmodulus, evenwijdig aan de vezel	$G_{090,xlay,mean}$	X-richting	690	750
	$G_{090,ylay,mean}$	Y-richting	690	440
Gemiddelde afschuivingsmodulus, loodrecht op de vezel	$G_{9090,xlay,mean}$	X-richting	50	50
	$G_{9090,ylay,mean}$	Y-richting	50	50
Volumieke massa [kg/m³]				
Krakteristiek	ρ_k		350	±350
Gemiddeld	ρ_{mean}		420	±420

*afhankelijk van leverancier (voornamelijk C14, 16, 24 en 30).

[1] Bij CLT volledig verlijmd, plankdikte kleiner dan 45 mm en de breedte-dikte verhouding ≥ 4.

[2] Bij CLT niet-volledig verlijmd, de breedte-dikte verhouding ≥ 4 of wanneer sluiven in de plaat zijn gevreesd

[3] Bij CLT niet-volledig verlijmd

[4] Bij CLT volledig verlijmd

Tabel 10 – Mechanische eigenschappen CLT

LVL

Eenheid	*Symbool*	*LVL (C: gekruisd, P: parallel)*			
Sterkte eigenschappen [N/mm²]		**LVL 25 C Plaat**	**LVL 36 C Plaat**	**LVL 32 P Kolom**	**LVL 48 P Ligger**
Buiging in vlak	$f_{m,0,edge,k}$	20	32	27	44
Buiging loodrecht op vlak, evenwijdig aan vezel	$f_{m,0,flat,k}$	25	36	32	48
Buiging in vlak loodrecht aan de vezel	$f_{m,90,flat,k}$	-	8	-	-
Druksterkte Evenwijdig aan de vezel	$f_{c,0,k}$	15	21	21	29
Druksterkte loodrecht op de vezel, belasting in het vlak	$f_{c,90,edge,k}$	8	9	4	6
Treksterkte evenwijdig aan de vezel	$f_{t,0,k}$	15	22	22	35
Schuifsterkte, belasting in het vlak	$f_{v,0,edge,k}$	3,6	4,5	3,2	4,2
Schuifsterkte evenwijdig aan de vezelrichting, belasting loodrecht op vlak	$f_{v,0,plat,k}$	1,1	1,3	2	2,3
Exponent volume-effect	s	0,15	0,15	0,15	0,15
Stijfheidseigenschappen [N/mm²]					
Gemiddelde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel	$E_{0,mean}$	7200	10500	9600	13800
5-procentielwaarde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel	$E_{0,05}$				11600
Gemiddelde elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel	$E_{90,mean}$	-	2000	-	-
Gemiddelde afschuivingsmodulus	G_{mean}	500	600	500	600
Volumieke massa [kg/m³]					
Krakteristiek	ρ_k	410	480	410	480
Gemiddeld	ρ_{mean}	440	510	440	510

Tabel 11 – Mechanische eigenschappen LVL

5.1.3 Toetsingen houtconstructies

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel LVL Handbook Europe (Finnish Woodworking Industries, 2020), waarin uitleg gegeven wordt over constructieve berekeningen in LVL.*
- *NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (NEN, 2011), waarin de constructieve eisen zijn vastgelegd voor houtconstructies.*
- *Internetartikel Cross-Laminated Structural Design (Wallner-Novak, Koppelhuber & Pockl, 2014), waarin uitleg gegeven wordt over constructieve berekeningen in CLT.*
- *Internetartikel The CLT Handbook (Borgström & Fröbel, 2019), waarin uitleg gegeven wordt over constructieve berekeningen in CLT.*

NEN-EN 1995

De NEN-EN 1995 is onderverdeeld in:

- EN 1995-1 Algemeen
  - EN 1995-1-1 Algemeen – Gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen
  - EN 1995-1-2 Algemeen – Ontwerp en berekening voor constructie bij brand
- EN 1995-2 Bruggen *(NEN, 2011, p.4)*

Alle constructieve componenten moeten volgens de NEN 1995 voldoen aan de:

- Uiterstegrenstoestand UGT
- Bruikbaarheidsgrenstoestand BGT

Tot op heden is in de norm 1995 nog geen beschrijving over het toetsen van CLT-constructies. Vanuit handboeken en leveranciers zijn er twee manieren om CLT-constructies door te kunnen rekenen:

1. Doorsnede gebaseerd op eigenschappen van het laminaat;
   a. 1D lijn element: CLT-dimensioneren met ligger theorie
      i. Als er een duidelijke hoofdlastrichting is.
   b. 2D plaat element: CLT dimensioneren als tweedimensionaal dragende plaat
      i. Als er meerdere belastingrichtingen zijn;
      ii. Schijfwerking;
      iii. Punt ondersteuningen;
      iv. Openingen en sparingen;
      v. Lokale belastingen.
2. Eigenschap tabellen gebruiken van fabrikanten

Basisvariabelen

Hieronder zijn een aantal belangrijke basisvariabelen beschreven. Deze basisvariabelen zijn van toepassing op het construeren met houtconstructies. De literatuur in gemodificeerde houtbouwconstructies is voornamelijk in het Engelstalig beschreven. Om goed de overeenkomsten te kunnen zien in de verschillende literatuur en talen, zijn voor enkele termen zowel Nederlands en Engelse benamingen opgeschreven.

Belastingduurklassen (Load-duration class):

De stijfheid en het draagvermogen van houtconstructies is afhankelijk van de duur van de belastingen die op de constructie werken. De belastingduurklassen is van toepassing op partiele factoren: k_{mod} en k_{def}.

Belastingduurklasse				
NEN 1995 NL	Engelse vertaling	Duur van de belasting		Voorbeelden van belasting
Blijvend	Permanent (P)	Langer dan 10 jaar	(t ≥ 10 jr)	Eigen gewicht
Lang	Long-term (L)	6 maanden -10 jaar	(1/2 jr ≤ t < 10 jr)	Opslag
Middellang	Medium-term (M)	1 week - 6 maanden	(1 wk ≤ t < 1/2 jr)	Opgelegde vloerbelasting
Kort	Short-term (S)	minder dan 1 week	(t < 1 wk)	Sneeuw- en windbelasting
Zeer Kort	Instantaneous (I)	-	-	Bijzondere belasting

Tabel 12 – Belastingduurklasse, informatie is afkomstig uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 26/27) door NEN, 2011 & The CLT Handbook (p. 36) door Borgström & Fröbel, 2019.

Klimaatklassen (Service class):

De klimaatklassen is van toepassing op partiele factoren: k_{mod} en k_{def}. De klimaatklassen houdt rekening met het vochtgehalte in de toepassing van de houtconstructie. Het vochtgehalte heeft invloed op de sterkt en stijfheid van het houtmateriaal. Hoe droger het hout hoe sterker en stijver het hout zich zal gedragen ten opzichte van vochtig hout. Het vochtgehalte wordt bepaald door de omstandigheden van de omgeving, temperatuur, relatieve vochtigheid en levensduur.

- Klimaatklasse 1:
  - Materialen die overkomen met een temperatuur van 20 °C.
    - Verwarmde omgeving en goed geventileerde omgeving.
  - Een relatieve vochtigheid enkele weken hoger per jaar is dan 65%.
  - Meeste naaldhoutsoorten met een gemiddeld vochtgehalte niet hoger dan 12%.
- Klimaatklasse 2:
  - Materialen die overkomen met een temperatuur van 20 °C.
    - Overdekte omgeving en gedeeltelijk open omgeving.
  - Een relatieve vochtigheid enkele weken hoger per jaar is dan 85%.
  - Meeste naaldhoutsoorten met een gemiddeld vochtgehalte niet hoger dan 20%.
- Klimaatklasse 3:
  - Klimaatomstandigheden die hoger zijn dan klimaatklasse 2.
    - Vochtige omgeving, slecht geventileerde omgeving, niet overdekte omgeving en volledig met vocht verzadigd.
  - Naaldhoutsoorten met een vochtgehalte hoger dan 20%.

Uiterste grenstoestand UGT

In de uiterste grenstoestand wordt getoetst op bezwijken van de constructie. Om aan de uiterstegrenstoestand te voldoen moet over het algemeen de optredende spanning in het materiaal lager zijn dan de toelaatbare sterkte/spanning die het materiaal aankan ($\sigma_d \leq f_d$).

Om de waarde f_d te bepalen, zijn een aantal materiaalfactoren die in rekening gebracht moeten worden. Op basis van de formule hiernaast:

$$f_d = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m}$$

Figuur 33 – basisformule f_d

F_k= de karakteristieke sterktewaarde.

k_{mod}=modificatiefactor die rekeninghoud met de serviceklasse en de belasting duur (tabel 14).

Y_{m*} = partiele factor voor materiaal-eigenschappen, (tabel 13).

* de Y_m van CLT is nog niet officieel opgenomen in de Eurocode, per land verschilt deze waarde.

Waarden γ_m	
Materiaal	γ_m
Gezaagd hout	1,30
Gelijmd, gelamineerd hout (CLT)	1,25
LVL (gelamineerd fineerhout), OSB, multiplex	1,20
Verbindingen	1,30
Metalen hechtplaten	1,25

Tabel 13 – y_m, informatie is afkomstig uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 29) door NEN, 2011 & The CLT Handbook (p. 35) door Borgström & Fröbel, 2019.

Waarden k_{mod}							
Materiaal	Norm	Klimaat klasse	Belastingduurklasse				
			Blijvend	Lang	Middellang	Kort	Zeer kort
Gezaagd hout	EN 14081-1	1	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1/1,1
		2	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1/1,1
		3	0,5/0,4	0,55/0,4	0,65/0,55	0,7/0,65	0.9/0,75
Gelijmd, gelamineerd hout	EN 14080	1	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1/1,1
		2	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1/1,1
		3	0,5/0,4	0,55/0,4	0,65/0,55	0,7/0,65	0.9/0,75
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1/1,1
		2	0,6/0,5	0,7/0,5	0,8/0,65	0,9/0,8	1,1/1,1
		3	0,5/0,4	0,55/0,4	0,65/0,55	0,7/0,65	0.9/0,75
CLT**	*(the CLT Handbook Swedish wood)*	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	-	-	-	-	-
Multiplex	type EN 636-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	type EN 636-2	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	type EN 636-3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Spaanplaat	type P4,P5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	type P5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	type P6,P7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	type P7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
De 2e waarde na / geldt voor trek loodrecht op de vezelrichting							
** CE-gemankeerde CLT-panelen voldoen niet aan klimaatklasse 3							

Tabel 14– k_{mod}, informatie is afkomstig uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 42/44) door NEN, 2011 & The CLT Handbook (p. 36) door Borgström & Fröbel, 2019.

Stijfheidsverdeling

Wanneer de verdeling van krachten en momenten wordt beïnvloed door stijfheidsverdeling in de constructie. Moeten de gemiddelde waarde van de elasticiteitmodules, afschuivingsmodulus en de verschuivingsmodules worden berekend door middel van de formules die hiernaast zijn afgebeeld in figuur 34.

$E_{mean, fin}$ = gemiddelde waarde voor elasticiteitsmodulus

$G_{mean, fin}$ = gemiddelde waarde van de afschuifmodulus

$K_{ser, fin}$ ($K_{mean, fin}$) = de verschuivingsmodulus

k_{def} = factor voor de berekening van kruipvervorming die rekening houdt met de klimaatklasse, zie waarden tabel 15.

ψ_2 = factor voor de quasi-blijvende waarde van de belasting die de grootste spanning oplevert.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \qquad E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \qquad G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

$$K_{mean,fin} = \frac{K_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})}$$

Figuur 34 – basisformules moduli UGT, overgenomen uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 36) door NEN, 2011.

Waarden k_{def}

	Klimaatklasse		
Materiaal	1	2	3
Gezaagd hout	0,60	0,80	2,00
Gelijmd, gelamineerd hout	0,60	0,80	2,00
CLT met ≤ 7 houtlagen	0,85	1,10	-
CLT met > 7 houtlagen	0,80	1,00	-
LVL (gelamineerd fineerhout)	0,60	0,80	2,00
Multiplex type EN 363-1	0,80	-	-
Multiplex type EN 363-2	0,80	1,00	-
Multiplex type EN 363-3	0,80	1,00	2,50
OSB type OSB/2	2,25	-	-
OSB type OSB/3 , OSB/4	1,50	2,25	-
Spaanplaat type P4	2,25	-	-
Spaanplaat type P5	2,25	3,00	-
Spaanplaat type P6	1,50	-	-
Spaanplaat type P7	1,50	2,25	-

Tabel 15 – k_{def}, informatie is afkomstig uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 42) door NEN, 2011 & The CLT Handbook (p. 36) door Borgström & Fröbel, 2019.

Bruikbaarheidsgrenstoestand BGT

In de bruikbaarheidsgrenstoestand worden de volgende onderdelen getoetst *(NEN, 2011, p.67/68)*:

- Verschuiving in de verbinding
- Doorbuiging van liggers
- Trillingen

Voor de berekening van de uiteindelijke vervorming (doorbuiging). Moeten de gemiddelde waarde van de elasticiteitmodules, afschuivingsmodulus en de verschuivingsmodules worden berekend door middel van de formules die hiernaast zijn afgebeeld in figuur 35. De doorbuiging wordt berekend door de som van doorbuigingsbijdragen van samengestelde acties.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})}$$

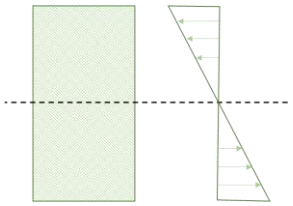
$$K_{mean,fin} = \frac{K_{mean}}{(1+k_{def})}$$

Figuur 35 – basisformules moduli BGT, overgenomen uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 36) door NEN, 2011.

Spanningen in houtconstructies

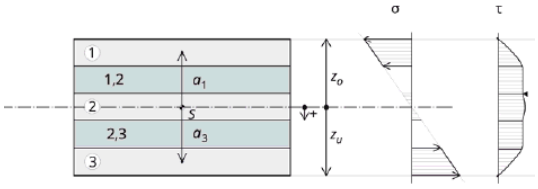
In houtconstructies worden in de uiterstegrenstoestand de spanningen in het materiaal in verschillende richtingen getoetst. De toelaatbare sterkte van het materiaal wordt aan de formule: $f_d = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m}$ berekend. De waarde k_{mod} en γ_m zijn afhankelijk van het houtmateriaal, serviceklasse en de belastingduur.

Voor homogene doorsnedes: gezaagd hout, gelamineerd hout en LVL-P geldt dat de toelaatbare spanningen over de gehele doorsnede meegenomen mogen worden in de berekening. Dit resulteert in een lineair spanningsverloop, zie afbeelding hiernaast.



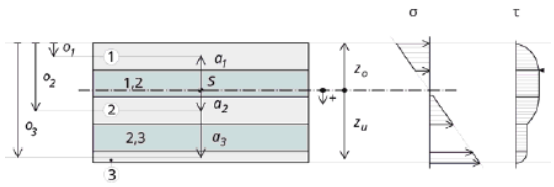
Figuur 36 – Spanningsfiguur 1, eigen bron

Voor inhomogene doorsnedes: CLT en LVL-C geldt dat de toelaatbare spanningen niet over de gehele doorsnede mee genomen mag worden. De lagen waarin de vezels evenwijdig aan de optredende spanningen liggen, mogen toegepast worden als toelaatbare spanning. Aan de lagen loodrecht op de spanningsrichting wordt geen sterkte of stijfheid toegekend. Om de optredende spanning te berekenen wordt gebruik gemaakt van de netto doorsnede eigenschappen van het materiaal. Deze formules worden beschreven in meerdere handboeken voor kruislaags verlijmde houtconstructies. Voor het berekeningen van het weerstands- en traagheidsmoment wordt gebruik gemaakt van de formule van Steiner, hierbij spelen stijfheidsverhoudingen geen rol.



Figuur 37 – Spanningsfiguur 2, overgenomen uit Cross-Laminated Structural Design (p. 30) door Wallner-Novak, Koppelhuber & Pockl, 2014.

Kruislaags gelamineerde producten kunnen ook asymmetrisch worden uitgevoerd. Dit resulteert in een zwaartepunt buiten het centrum van het profiel, wat leidt tot een ander spanningsverloop in de doorsnede. Deze asymmetrische doorsnedes komen voor wanneer:



Figuur 38 – Spanningsfiguur 3, overgenomen uit Cross-Laminated Structural Design (p. 31) door Wallner-Novak, Koppelhuber & Pockl, 2014.

- Asymmetrische laag opbouwen worden toegepast bij:
  - Verschillende laagdiktes in een laminaat
  - Verschillende sterkteklassen in een laminaat of een hybride systeem [1)]
- Brandberekeningen worden uitgevoerd waarbij de effectieve doorsnede wordt bepaald aan de hand van de inbranddiepte.

[1)] Bij deze systemen doen stijfheidsverhoudingen er toe bij berekeningen van het weerstands- en traagheidsmoment.

Gamma methode

De Gamma methode (ook wel Mechanisch verbonden ligger in Eurocode 5) wordt toegepast binnen kruislaags verlijmd hout voor doorbuiging-berekeningen in BGT en knikberekeningen in UGT bij een wandtoepassing. Deze berekening maakt het mogelijk om op een vereenvoudigde manier de vervorming van schuifkrachten in rekening te brengen. Afhankelijk van het aantal lagen wordt de Steiner bijdrage per laag gereduceerd door de γ-waarden. De γ-waarden is afhankelijk van de referentielengte (l_{ref}). Deze wordt bepaald aan de hand van:

- l_{ref} = L_1 bij een enkele overspanning (ligger op 2 steunpunten)
- l_{ref} = 0,8*L_1 bij doorlopende ligger (ligger op minimaal 3 steunpunten)
- l_{ref} = 2*L_2 bij een uitkragende ligger

L_1= de overspanningslengte, L_2 = de uitkragende lengte

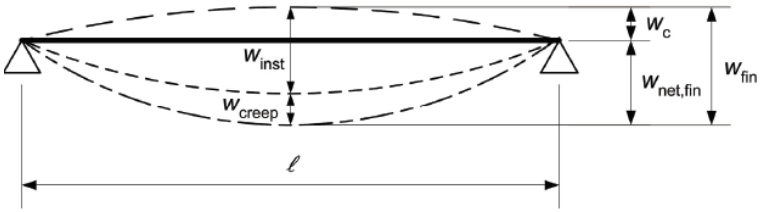
Per laag waarin de vezelrichting evenwijdig aan de overspanning ligt wordt de γ-waarden in rekening gebracht. Afhankelijk van het aantal lagen 3-laags CLT één van buitenste lagen of 5-laags CLT middelste laag γ=1. De overige lagen worden door middel van de Steiner bijdrage per laag gereduceerd met:

$$y = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_x \cdot t_1}{l_{ref}^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090,2}}}$$

Vervolgens kan de waarde I_{ef} en i_{ef} bepaald worden.

Doorbuiging in BGT

Bij het toetsen van doorbuiging in de bruikbaarheidsgrenstoestand moet de waarde w_{fin} worden berekend. De waarde w_{inst} volgt uit de belastingen op de ligger. Door middel van de vergeet-me-nietjes kan de zakking bepaald worden. Bij kruislaags gelijmd hout moet gebruik gemaakt worden van de Gamma methode om de I_{ef} te berekenen en toe te passen. Vervolgens kan op de reguliere manier gebruik gemaakt worden van vergeet-me-nietjes. De juiste elasticiteitsmodulus die toegepast dient te worden in de zakkingsbepaling is de $E_{mean,fin}$ waarbij kruip is inbegrepen om de uiteindelijke zakking w_{fin} te bepalen. De uiteindelijke zakking moet voldoen aan de grenswaarden voor doorbuigingen liggers die in figuur 40 zijn weergeven.



Figuur 39 – 7.1 Bijdragen aan de doorbuiging, overgenomen uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 60) door NEN, 2011.

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Ligger op twee steunpunten	ℓ/300 – ℓ/500	ℓ/250 – ℓ/350	ℓ/150 – ℓ/300
Ligger in uitkraging	ℓ/150 – ℓ/250	ℓ/125 – ℓ/175	ℓ/75 – ℓ/150

Figuur 40 – 7.2 grenswaarden voor doorbuigingen liggers, overgenomen uit NEN-EN-1995-1-1+C1+A1:2011 (p. 60) door NEN, 2011.

5.1.4 Vuistregels en ontwerptabellen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Jellema- Draagstructuur Deel 3 (Spierings & Amerongen, 2011), waarin vuistregels van gezaagd hout en gelamineerd hout zijn weergegeven.*
- *Internetartikel MM Crosslam (Mayr Melnhof Holz, z.d.-a), waarin overspanningsgrafieken van CLT zijn weergegeven.*
- *Internetartikel MM Masterline (Mayr Melnhof Holz, z.d.-b), waarin vuistregels van gelamineerd hout zijn weergegeven.*
- *Internetartikel Overspanningstabel CLT (Solid Timber, 2017), waarin overspanningstabel van CLT zijn weergegeven.*
- *Internetartikel X-LAM-kruislaaghout (Derix, 2020), waarin overspanningstabel van CLT zijn weergegeven.*
- *Internetartikel CLT by Stora Enso Technical Brochure (Stora Enso, z.d.-a), waarin overspanningstabel van CLT zijn weergegeven.*
- *Internetartikel LVL by Stora Enso Technical Brochure (Stora Enso, z.d.-b), waarin overspanningstabel van CLT zijn weergegeven.*
- *Website MetsäWood Overspanningstabellen Kerto LVL (MetsäWood, z.d.-b), waarop overspanningstabellen van LVL zijn weergegeven.*
- *Internetartikel Verliemte Ingenieurholz-Produkte (Derix, 2017), waarin vuistregels van gelamineerd hout zijn weergegeven.*

In dit hoofdstuk worden de beschikbare vuistregels/ ontwerptabellen per materiaal beschreven/ afgebeeld.

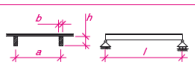
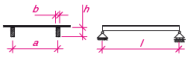
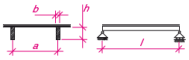
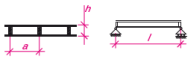
Per materiaal zijn verschillende methodes om in de ontwerpfase van een project vuistregels of ontwerptabellen toe te passen. Voor de toepassing van LVL en CLT zijn tot op heden alleen ontwerptabellen beschikbaar.

Dit betekent dat in een vroeg stadium een keuze gemaakt wordt van de leverancier van het product. Dit komt voornamelijk doordat per leverancier onderstaande producteigenschappen variëren in:

- Laagdiktes;
- Sterkteklassen (per vezelrichting);
- Standaard afmetingen.

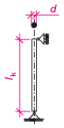
Gezaagd hout en Gelamineerd hout

Afkomstig uit Jellema 3 Draagstructuur:

Constructie-element	Doorsnede en zijaanzicht	Overspanning ℓ in m	Verhouding $\frac{b}{h}$	Verhouding $\frac{h}{\ell}$	H.o.h.-afstand a in m
Vloerdeel		0,450–0,750	–	$\frac{1}{25}-\frac{1}{30}$	–
Verdieping-balklaag, bij normale belasting		2–6,5	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{20}$	0,450–0,750
Verdieping-balklaag, bij zware belasting		2–4,5	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{15}$	0,450–0,600
Dakbalklaag		2,5–6,5	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{20}$	0,300–1,000
Triplex-ribpaneel		2,5–8,0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{25}-\frac{1}{30}$	0,400–0,750

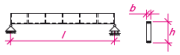
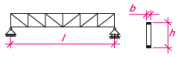
Figuur 5.31 Vuistregels dimensionering houten balklagen

Figuur 41 – Vuistregels dimensionering houten balklagen, overgenomen van Boek Jellema- Draagstructuur Deel 3 figuur 5.31 (p.160) door Spierings & Amerongen, 2011.

Constructie-element	Doorsnede	Kniklengte ℓ_k in m	Verhouding $\frac{d}{\ell_k}$
Ronde massief houten kolom		2–4	$\frac{1}{20}-\frac{1}{25}$
Vierkante massief houten kolom		2–4	$\frac{1}{20}-\frac{1}{25}$

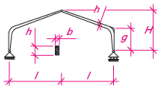
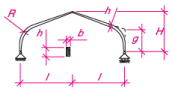
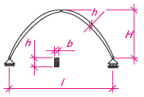
Figuur 5.59 Vuistregels dimensionering houten kolommen

Figuur 42 – Vuistregels dimensionering houten kolommen, overgenomen van Boek Jellema- Draagstructuur Deel 3 figuur 5.59 (p.179) door Spierings & Amerongen, 2011.

Constructie-element	Doorsnede en zijaanzicht	Overspanning ℓ in m	Verhouding $\frac{b}{h}$	Verhouding $\frac{b}{a}$	Verhouding $\frac{h}{\ell}$	H.o.h.-afstand a in m
Massieve ligger		2,5–8	$\frac{1}{3}$	–	$\frac{1}{15}-\frac{1}{20}$	–
Gelamineerde ligger		6–25	$\frac{1}{6}-\frac{1}{10}$	$\frac{1}{17}-\frac{1}{20}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{\ell}{2}$ $\frac{\ell}{3}$
Doosligger		6–35	–	–	$\frac{1}{12}-\frac{1}{15}$	3–12
Vakwerkligger		15–40	–	–	$\frac{1}{7}-\frac{1}{12}$	4–15
Kapspanten		6–24	–	–	$\frac{1}{5}-\frac{1}{7}$	4–8

Figuur 5.60 Vuistregels dimensionering houten liggers

Figuur 43 – Vuistregels dimensionering houten liggers, overgenomen van Boek Jellema- Draagstructuur Deel 3 figuur 5.60 (p.180) door Spierings & Amerongen, 2011.

Constructie-element	Zijaanzicht en doorsnede	Overspanning ℓ in m	Verhouding $\frac{b}{h}$	Verhouding $\frac{b}{a}$	Verhouding $\frac{h}{\ell}$	H.o.h.-afstand a in m
Drieschar-nierspant met geknikte spanthoek		6–60	$\frac{1}{6}-\frac{1}{10}$	$\frac{1}{15}\times\frac{g}{H}$	$\frac{1}{30}$	4–8
Drieschar-nierspant met gebogen spanthoek		6–60	$\frac{1}{6}-\frac{1}{10}$	$\frac{1}{16}\times\frac{g}{H}$	$\frac{1}{32}$	4–8
Boogspant		25–100	$\frac{1}{5}-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{40}-\frac{1}{60}$	6–8

Figuur 5.61 Vuistregels dimensionering gelamineerde houten spanten

Figuur 43 – Vuistregels dimensionering gelamineerde houten spanten, overgenomen van Boek Jellema- Draagstructuur Deel 3 figuur 5.61 (p.180) door Spierings & Amerongen, 2011.

Product: Mayr Melnhof Holz, Leverancier: Woodtec & ARCON (Gelamineerd hout):

	Spans [m]	Width [cm]	Height [cm]	Spacing [m]
Parallel beam/Single span	3 - 36	6 - 28	12 - 230 h = l/16 to l/20	1 - 8
Parallel beam/Multiple spans	3 - 36	6 - 28	12 - 230 h = l_i/20	1 - 8
Parallel beam with structural camber	10 - 36	6 - 28	40 - 230 h = l/16 to l/20	4 - 8
Single tapered beam	10 - 36	10 - 28	h_1 = l/30 h_2 = max 200 cm	2 - 6
Double tapered beam with straight lower chord	10 - 36	10 - 28	h_2 = l/16 h_1 = l/35	4 - 8
Block gluing	3 - 33	> 28	20 - 200	4 - 8
Ribbed and box elements	5 - 20	100 - 200	20 - 60	-
Framework trusses	20 - 60	12 - 28	100 - 500 h = l/9	10 - 20

	Spans [m]	Width [cm]	Height [cm]	Spacing [m]	Roof pitch [°]
Curved beam	5 - 33	8 - 28	r ≥ 8 m d* = 40 mm r < 8 m d* = r/200	2 - 6	Note transport height and width
Double tapered beam with curved lower chord	10 - 33	10 - 28	h_1 = l/24 to l/32 h_2 = l/16 r ≥ 8 m d*=40mm r < 8 m d* = r/200	4 - 8	1 - 20° Note transport height and width
Fish-bellied beam	20 - 33	10 - 28	h_1 = l/30 h_2 = l/16	4 - 8	-
Free shapes	5 - 33	8 - 28	r ≥ 8 m d* = 40 mm r < 8 m d* = r/200	-	-
Finger-jointed members	10 - 40	8 - 28	12 - 230 h = l/16 to l/20	-	-
Three-hinged system with fingerjointed frame corners	15 - 40	12 - 28	12 - 28 h_1 = l/50 h_2 = l/18	5 - 10	10 - 60°
Three-hinged system with curved frame corners	15 - 50	12 - 28	12 - 28 h_1 = l/50 h_2 = l/18	5 - 10	10 - 60°
Trussed systems with straight beam	40 - 60	10 - 28	h_1 = l/30 bis l/40 h_2 = l/10 Note transport height and width	10 - 20	-
Three-hinged frame with tension chord	20 - 100	10 - 28	h_1 = l/40 h_2 > l/7 Note transport height and width	10 - 20	15 - 45°

Figuur 44 – Vuistregels gelamineerde houten liggers, overgenomen uit internetartikel MM Masterline (p.10/11) door Mayr Melnhof Holz, z.d.-b.

Leverancier DERIX (Gelamineerd hout):

	Paralleträger	Satteldachträger gerader Untergurt	Satteldachträger angehobener Untergurt	Fischbauchträger
Spannweite	10-35 m	10-70 m	10-40 m	10-70 m
Dachneigung	-	2-5°	5-20° (Transporthöhe/-breite beachten)	-
Übliche Trägerabstände (andere Maße möglich)	5-7 m	5-7 m	5-7 m	5-7 m
Trägerbreite (je 2 cm Vorzugsmaße)	8-24 cm	10-26 cm	10-26 cm	10-26 cm
Kragarme	möglich	Ja	Ja	Ja
Höhe der Bauteile (für Tragwerksentwurf)	h=l/16 bis l/20	h_1=l/16 h_2=l/25 bis l/30	h_1=l/14 bis l/16 h_2=l/20 bis l/24	h_1=l/16 h_2=l/20 bis l/25
Mögliche Feuerwider-standsklassen	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten
Festigkeiten	GL 24h/c GL 30c	GL 24h/c GL 30c	GL 24h/c GL 30c	GL 24h/c GL 30c

	Pultdachträger	Bogenträger	Mehrfeldträger Gelenkträger	Dreigelenkstabzug	Dreigelenkrahmen
Spannweite	10-25 m	5-25 m	10-60 m	10-60 m	15-50 m
Dachneigung	1-4°	Transporthöhe/-breite beachten	-	12-46°	10-40°
Übliche Trägerabstände (andere Maße möglich)	5-7 m	2-6 m	5-10 m	5-7 m	5-7 m
Trägerbreite (je 2 cm Vorzugsmaße)	10-26 cm	10-26 cm	10-26 cm	Obergurt: 12-24 cm (10, 28, 32 cm) Zugband: Holz oder Stahl	10-24 cm (26 cm)
Kragarme	Nicht Sinnvoll	Ja	möglich	Ja	Keilgezinkter Rahmen Gebogene Ecke Rahmenecke mit Stahlteil
Höhe der Bauteile (für Tragwerksentwurf)	h_1=l/30	h=l/17 bis l/25 r ≤ 7 m	h_1=l/16 h_2=l/22	Obergurt l/30 bis l/40	h_1=l/15 bis l/22 h_2=l/36 bis l/60 h_3=l/40 bis l/50
Mögliche Feuerwider-standsklassen	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten	R30 > mit Stahlzugband R60 > mit Holzzugband	R30 > problemlos R60 > mit Mehrkosten
Festigkeiten	GL 24h/c GL 30c	GL 24h/c GL 30c	GL 24h/c GL 30c	GL 24h	GL 24h

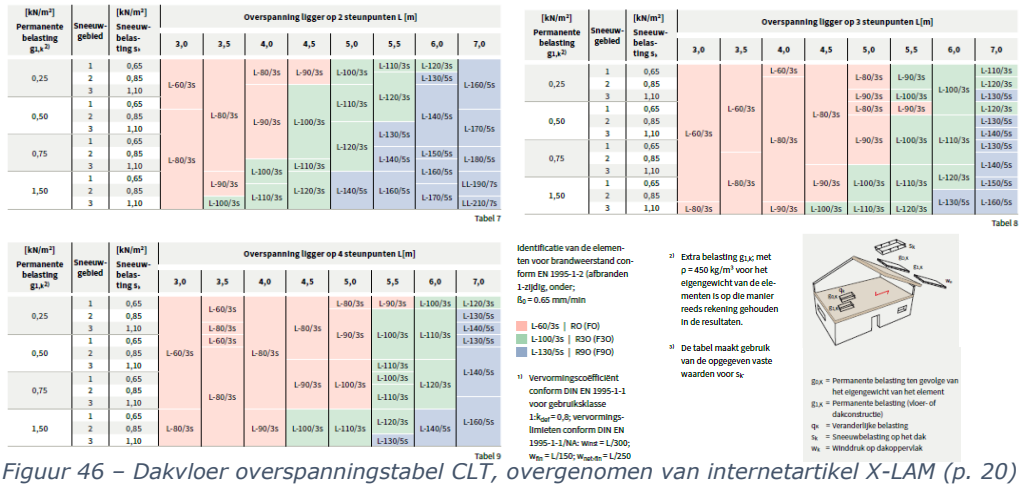
Figuur 45 – Vuistregels gelamineerde houten liggers, overgenomen uit internetartikel Verliemte Ingenieurholz-Produkte (p.28/29) door Derix, 2017.

CLT

Leverancier DERIX XLam:

Dak

Voorontwerp



Tabel 7

Tabel 8

Tabel 9

Identificatie van de elementen voor brandweerstand conform EN 1995-1-2 (afbranden 1-zijdig, onder; β_0 = 0.65 mm/min

- L-60/3s | R0 (F0)
- L-100/3s | R30 (F30)
- L-130/5s | R90 (F90)

1) Vervormingscoëfficiënt conform DIN EN 1995-1-1 voor gebruiksklasse 1: k_{def} = 0,8; vervormingslimieten conform DIN EN 1995-1-1/NA: w_{inst} = L/300; $w_{net,fin}$ = L/250; w_{fin} = L/150; $w_{net,fin}$ = L/250

2) Extra belasting $g_{1,K}$ met ρ = 450 kg/m³ voor het eigengewicht van de elementen is op die manier reeds rekening gehouden in de resultaten.

3) De tabel maakt gebruik van de opgegeven vaste waarden voor s_K

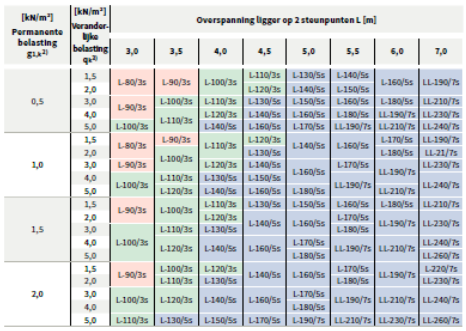
$g_{0,K}$ = Permanente belasting ten gevolge van het eigengewicht van het element
$g_{1,K}$ = Permanente belasting (vloer- of dakconstructie)
q_K = Veranderlijke belasting
s_K = Sneeuwbelasting op het dak
w_K = Winddruk op dakoppervlak

Figuur 46 – Dakvloer overspanningstabel CLT, overgenomen van internetartikel X-LAM (p. 20) door Derix, 2020.

Vloer (als ligger op 2 steunpunten)

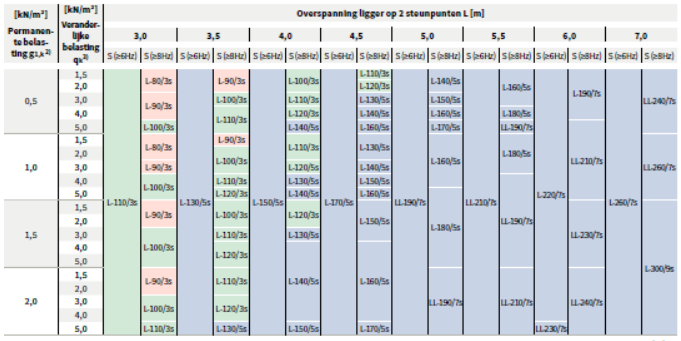
Voorontwerp

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van de doorbuiging 1) (D)



Tabel 10

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van trillingen 4) (S)



Tabel 11

1) Vervormingscoëfficiënt conform DIN EN 1995-1-1 voor gebruiksklasse 1 k_{def} = 0,8; vervormingslimieten conform DIN EN 1995-1-1/NA: w_{inst} = L/300; w_{fin} = L/150; $w_{net,fin}$ = L/250

2) Extra belasting $g_{1,k}$ exclusief elementgewicht $g_{0,k}$ (hiermee is met ρ = 450 kg/m³ reeds rekening gehouden in de resultaten)

3) Belastingscategorieën conform DIN EN 1991-1-1/NA 1DE: A (woonoppervlakken) resp. B (kantooroppervlakken)

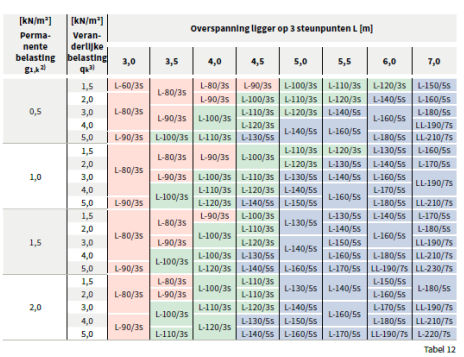
4) Berekeningsbasis algemeen: demping 2,5%; storende trillingen in de omgeving; geen rekening gehouden met stijfheid van de estrich dekvloer; Hamm/Richter: richtcijfer 1,5 – 2,5; vloeren binnen een verblijfsgebied, bijvoorbeeld vloeren in een woning; eigenfrequentie f ≥ 6 Hz; stijfheid w(2 kN) 1,0 mm met b_{ef} = 1 m; eigengewicht rustende materialen zelf bepalen; DIN EN 1995-1-1/NA: eigenfrequentie f ≥ 8 Hz; stijfheid w(1 kN) 2,0 mm, alle doorsneden voldoen aan de normale vereisten, trillingssnelheid v

Figuur 47 – Vloer 2stp. overspanningstabel CLT, overgenomen van internetartikel X-LAM (p. 21) door Derix, 2020.

Vloer (als ligger op 3 steunpunten)

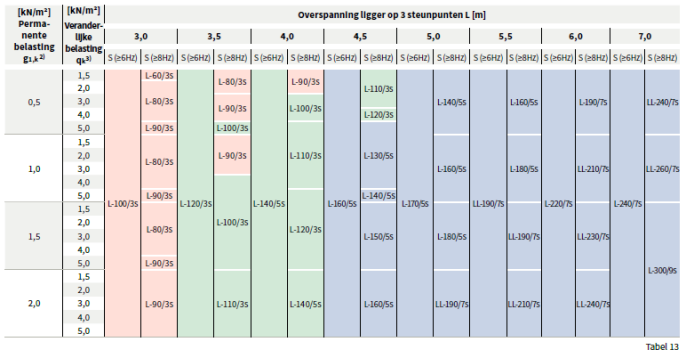
Voorontwerp

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van de doorbuiging 1) (D)



Tabel 12

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van trillingen 4) (S)



Tabel 13

1) Vervormingscoëfficiënt conform DIN EN 1995-1-1 voor gebruiksklasse 1 k_{def} = 0,8; vervormingslimieten conform DIN EN 1995-1-1/NA: w_{inst} = L/300; w_{fin} = L/150; $w_{net,fin}$ = L/250

2) Extra belasting $g_{1,k}$ exclusief elementgewicht $g_{0,k}$ (hiermee is met ρ = 450 kg/m³ reeds rekening gehouden in de resultaten)

3) Belastingscategorieën conform DIN EN 1991-1-1/NA 1DE: A (woonoppervlakken) resp. B (kantooroppervlakken)

4) Berekeningsbasis algemeen: demping 2,5%; storende trillingen in de omgeving; geen rekening gehouden met stijfheid van de estrich dekvloer; Hamm/Richter: richtcijfer 1,5 – 2,5; vloeren binnen een verblijfsgebied, bijvoorbeeld vloeren in een woning; eigenfrequentie f ≥ 6 Hz; stijfheid w(2 kN) 1,0 mm met b_{ef} = 1 m;eigengewicht rustende materialen zelf bepalen; DIN EN 1995-1-1/NA: eigenfrequentie f ≥ 8 Hz; stijfheid w (1 kN) 2,0 mm, alle doorsneden voldoen aan de normale vereisten, trillingssnelheid v

Identificatie van de elementen voor brandweerstand conform EN 1995-1-2 (afbranden 1-zijdig, onder; β_0 = 0,65 mm/min)

- L-60/3s | R0 (F0)
- L-100/3s | R30 (F30)
- L-130/5s | R90 (F90)

Figuur 48 – Vloer 3stp. overspanningstabel CLT, overgenomen van internetartikel X-LAM (p. 22) door Derix, 2020.

Vloer (als ligger op 4 steunpunten)

Voorontwerp

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van de doorbuiging [1] (D)

[kN/m²] Permanente belasting $g_{k,k}$ [2]	[kN/m²] Veranderlijke belasting q_k [3]	Overspanning ligger op 4 steunpunten L [m]							
		3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0
0,5	1,5	L-80/3s	L-80/3s	L-90/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-120/3s	L-130/5s	L-160/5s
	2,0						L-130/5s	L-140/5s	L-170/5s
	3,0		L-90/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-130/5s	L-140/5s	L-160/5s	L-190/7s
	4,0			L-110/3s	L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s	L-170/5s	
	5,0	L-90/3s		L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s		L-180/5s	LL-210/7s
1,0	1,5	L-80/3s	L-80/3s	L-90/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-130/5s	L-140/5s	L-170/5s
	2,0			L-100/3s	L-110/3s	L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s	L-180/5s
	3,0		L-90/3s		L-120/3s				L-190/7s
	4,0	L-90/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-130/5s	L-140/5s	L-160/5s	L-180/5s	L-210/7s
	5,0			L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s	L-170/5s	L-190/7s	
1,5	1,5	L-80/3s	L-80/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s	L-180/5s
	2,0		L-90/3s			L-130/5s			L-190/7s
	3,0		L-100/3s	L-110/3s	L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s	L-170/5s	
	4,0	L-90/3s		L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s		L-180/5s	L-230/7s
	5,0		L-110/3s	L-130/5s			L-180/5s	L-190/7s	
2,0	1,5	L-80/3s	L-90/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-130/5s	L-140/5s	L-160/5s	L-190/7s
	2,0				L-120/3s	L-140/5s	L-160/5s		
	3,0	L-90/3s	L-100/3s	L-110/3s	L-130/5s			L-180/5s	L-210/7s
	4,0			L-120/3s		L-160/5s	L-170/5s	L-190/7s	
	5,0	L-100/3s		L-130/5s	L-140/5s		L-180/5s		L-240/7s

Tabel 14

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van trillingen [4] (S)

[kN/m²] Permanente belasting $g_{k,k}$ [2]	[kN/m²] Veranderlijke belasting q_k [3]	Overspanning ligger op 4 steunpunten L [m]													
		3,0		3,5		4,0		4,5		5,0		5,5		6,0		7,0	
		S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)	S (≥6Hz)	S (≥8Hz)
0,5	1,5				L-80/3s		L-90/3s		L-110/3s		L-140/5s		L-160/5s		L-190/7s		LL-240/7s
	2,0		L-80/3s		L-90/3s		L-100/3s		L-120/3s								
	3,0						L-110/3s		L-140/5s		L-160/5s		L-180/5s		L-210/7s		LL-260/7s
	4,0		L-90/3s		L-100/3s		L-120/3s		L-140/5s		L-160/5s		L-190/7s		L-230/7s		LL-300/9s
	5,0						L-130/5s		L-160/5s		L-180/5s		L-210/7s		L-240/7s		
1,0	1,5				L-90/3s		L-110/3s		L-130/5s		L-160/5s		L-190/7s		LL-230/7s		
	2,0		L-80/3s		L-100/3s		L-120/3s		L-140/5s		L-160/5s		L-180/5s		L-210/7s		
	3,0						L-140/5s		L-160/5s		L-170/5s		L-190/7s		L-190/7s		
	4,0		L-90/3s		L-100/3s		L-130/5s		L-160/5s		L-180/5s		L-210/7s				
	5,0	L-100/3s		L-110/3s		L-140/5s		L-160/5s		L-170/5s		L-190/7s		L-190/7s			
1,5	1,5				L-100/3s		L-120/3s		L-140/5s		L-160/5s		L-180/5s		L-230/7s		L-300/9s
	2,0		L-80/3s				L-140/5s										
	3,0						L-150/5s		L-180/5s		L-190/7s		L-230/7s				
	4,0		L-90/3s				L-130/5s										
	5,0																
2,0	1,5				L-110/3s		L-140/5s		L-160/5s	LL-190/7s	L-210/7s		L-240/7s		L-300/9s		
	2,0																
	3,0																
	4,0																
	5,0				L-100/3s												

Tabel 15

[1] Vervormingscoëfficiënt conform DIN EN 1995-1-1 voor gebruiksklasse 1 k_{def} = 0,8; vervormingslimieten conform DIN EN 1995-1-1/NA: w_{inst} = L/300; w_{fin} = L/150; $w_{net,fin}$ = L/250

[2] Extra belasting $g_{k,k}$ exclusief elementgewicht $g_{k,k}$ (hiermee is mat ρ = 450 kg/m³ reeds rekening gehouden in de resultaten)

[3] Belastingscategorieën conform DIN EN 1991-1-1/NA 1DE: A (woonoppervlakken) resp. B (kantooroppervlakken)

[4] Berekeningsbasis algemeen: demping 2,5%; storende trillingen in de omgeving; geen rekening gehouden met stijfheid van de estrich dekvloer; Hamm/Richter: richtcijfer 1,5 – 2,5; vloeren binnen een verblijfsgebied, bijvoorbeeld vloeren in een woning; eigenfrequentie f ≥ 6 Hz; stijfheid w(2 kN) 1,0 mm met b_{eff} = 1 m; eigengewicht rustende materialen zelf bepalen; DIN EN 1995-1-1/NA: eigenfrequentie f ≥ 8 Hz; stijfheid w (1 kN) 2,0 mm, alle doorsneden voldoen aan de normale vereisten, trillingssnelheid v

Identificatie van de elementen voor brandweerstand conform EN 1995-1-2 (afbranden 1-zijdig, onder; β_0 = 0,65 mm/min)
- L-60/3s | R0 (F0)
- L-100/3s | R30 (F30)
- L-130/5s | R90 (F90)

Figuur 49 – Vloer 4stp. overspanningstabel CLT, overgenomen van internetartikel X-LAM (p. 24) door Derix, 2020.

Wand

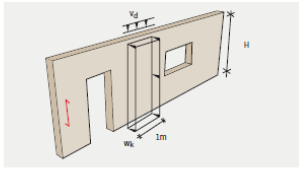
Voorontwerp

Voorontwerptabel wandelementen

Toepassingslimieten voor elementen uit gelamineerd hout op basis van draagvermogen

Brand-wering[1]	Toepas-sing[2]	Hoogte H	Verticale belasting v_d[2] wandkop [kN/m]		
		[m]	40	60	80
RO (FO)	Buitenwand	1,5 2,8 3,5 4,5	X-60/3s	X-60/3s	X-60/3s
					X-70/3s
				X-70/3s	X-80/3s
R30 (F30) 1-zijdig	Binnen-wand/ buitenwand	1,5 2,8 3,5 4,5	X-100/5s		

Tabel 16



v_d= ontwerpwaarde van de verticale belasting [kN/m]
w_k= winddruk op buitenwand [kN/m²]

[1] Brandontwerp conform DIN EN 1995-1-2: $k_{mod,fi}$ = 1.0 en $\gamma_{M,fi}$ = 1,0

[2] Windbelastingen zijn bij wandontwerpen tot windbelastingszone 2 in het binnenland niet relevant.
Buitendrukcoëfficiënt c_{pe} = 0,8 (zone D); resulterende winddruk w_k = 0,8*q

[3] Met het normale krachtaandeel ten gevolge van het elementgewicht is met $v_{d,k}$ nodig. Grondslag van de berekening: Equivalente staafmethode met kniklengte = hoogte H; 1 m breed wandpand; NKL 1; systeemcoëfficiënt k_I = 1,0; ontwerpgemiddelde in wandmidden (H/2)

Figuur 49 – Wand overspanningstabel CLT, overgenomen van internetartikel X-LAM (p. 25) door Derix, 2020.

Leverancier Martinsons:

Martinsons CLT panelen Afmeting: 1000 x lengte x dikte [mm]										
			Klasse A (Woningen) 1,75 kN/m²		Klasse B (Kantoren) 2,5 kN/m²		Klasse C:1 + C:2 + D:1 + D:2 4,0 kN/m²		Klasse C:3 + C:4 + C:5 5,0 kN/m²	
Dikte [mm]	Eigen gewicht CLT [kg/m²]	Aantal lagen	Max overspanning[2]	Doorbuiging EC5[3]	Max overspanning[2]	Doorbuiging EC5[3]	Max overspanning[2]	Doorbuiging EC5[3]	Max overspanning[2]	Doorbuiging EC5[3]
60-3s	24	3	2,1	L/284	2,0	L/257	1,6	L/301	1,5	L/299
70-3s	28	3	2,4	L/280	2,2	L/282	1,8	L/309	1,7	L/300
80-3s	32	3	2,8	L/283	2,6	L/277	2,2	L/282	2,0	L/307
90-3s	36	3	3,1	L/281	2,9	L/270	2,4	L/292	2,2	L/310
100-3s	40	3	3,5	L/256	3,2	L/264	2,7	L/272	2,5	L/281
120-3s	48	3	4,2	L/254	3,9	L/252	3,3	L/261	3,0	L/284
140-3s	56	3	4,8	L/258	4,5	L/251	3,8	L/263	3,6	L/257
100-5s	40	5	3,3	L/258	3,0	L/270	2,5	L/287	2,3	L/301
120-5s	48	5	3,7	L/269	3,5	L/253	2,9	L/275	2,7	L/279
130-5s	52	5	4,3	L/265	4,0	L/263	3,4	L/270	3,2	L/268
140-5s	56	5	4,2	L/253	3,9	L/252	3,3	L/260	3,0	L/282
150-5s	60	5	4,8	L/258	4,5	L/252	3,8	L/264	3,5	L/279
160-5s	64	5	5,3	L/262	5,0	L/253	4,3	L/256	4,0	L/264
180-5s	72	5	5,5	L/250	5,1	L/253	4,4	L/252	4,1	L/258
200-5s	80	5	6,2	L/260	5,8	L/259	5,0	L/262	4,7	L/263
230-5s	92	5	7,0	L/262	6,6	L/257	5,8	L/250	5,4	L/259
210-7s	84	7	6,3	L/255	5,9	L/253	5,1	L/256	4,8	L/256
240-7s	96	7	7,3	L/284	7,1	L/256	6,2	L/257	5,9	L/251
270-7s	108	7	7,6	L/313	7,6	L/262	6,7	L/257	6,3	L/260
280-7s	112	7	7,6	L/305	7,6	L/257	6,7	L/251	6,3	L/254
300-7s	120	7	8,0	L/323	8,0	L/273	7,2	L/254	6,8	L/255

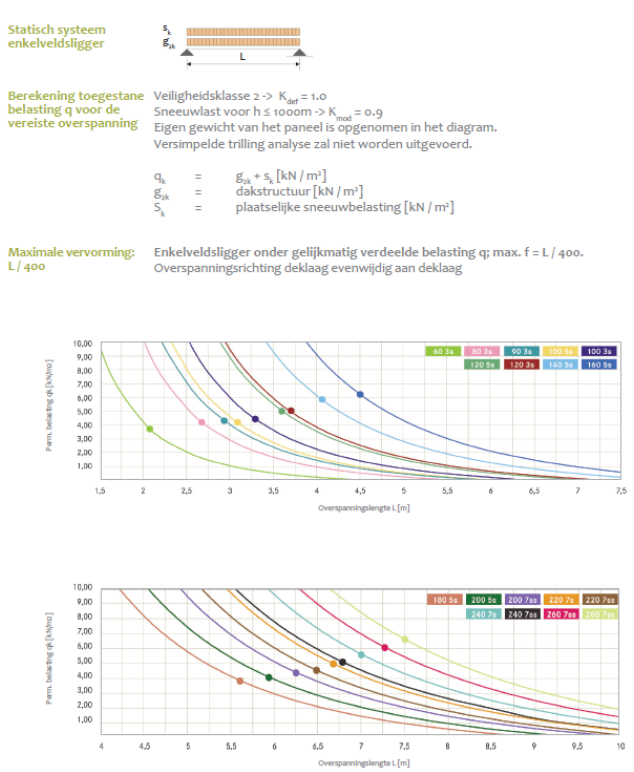
1) Eigen gewicht = g_{hout} + 50 kg/m², Klimaatklasse 1, berekeningen volgens NEN-EN 1990, NEN-EN 1991-1 en NEN-EN 1995-1

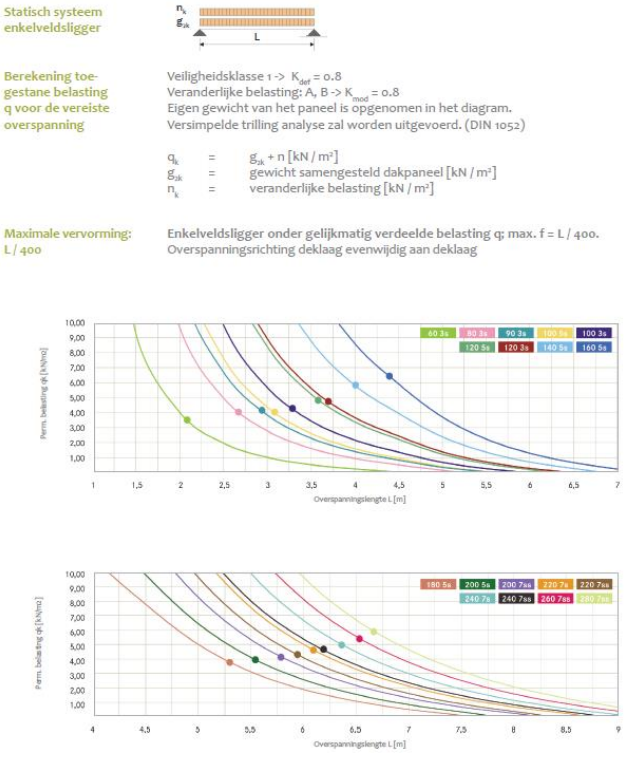
2) Eigenfrequentie > 8 Hz, Maximale onmiddelijke doorbuiging door een punktlast, 1 kN < 1,0 mm bij 1,0 m vloerbreedte

3) Totale uiteindelijke doorbuiging bij quasi-blijvende combinatie formule 6.16a & 6.16b (NEN-EN 1990). Min. eis L/250
Doorbuiging voldoet tevens aan eis voor bijkomende uiteindelijke doorbuiging L/333

Figuur 50 – Ontwerptabel CLT vloer, overgenomen van internetartikel Overspanningstabel CLT door Solid Timber, 2017.

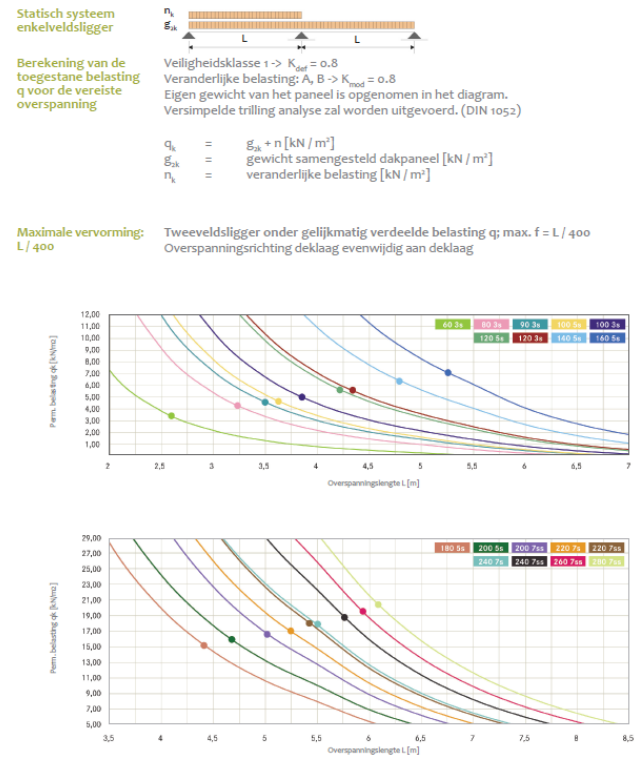
Leverancier ARCON:

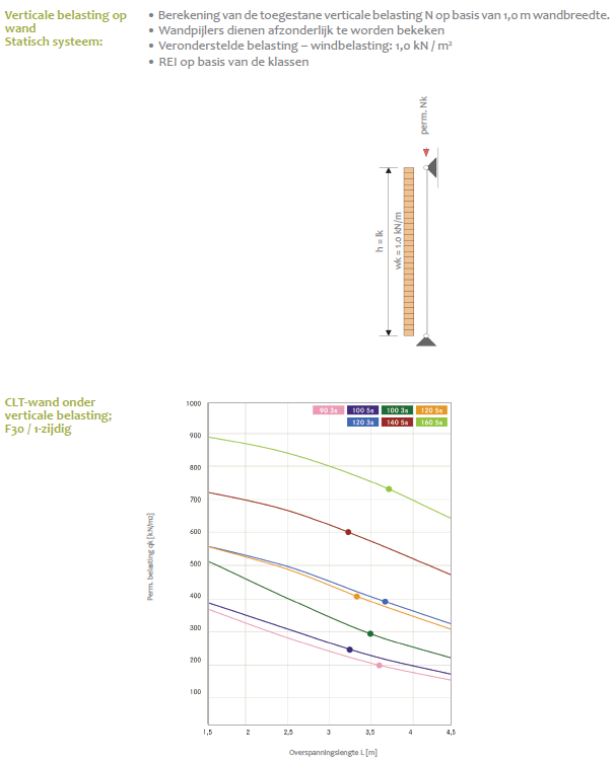




Figuur 51 – Ontwerpgrafiek dakvloer CLT 2stp., overgenomen van internetartikel MM Crosslam (p.22) door Mayr Melnhof Holz, z.d.-a.

Figuur 52 – Ontwerpgrafiek vloer CLT 2stp., overgenomen van internetartikel MM Crosslam (p.23) door Mayr Melnhof Holz, z.d.-a.





Figuur 53 – Ontwerpgrafiek vloer CLT 3stp., overgenomen van internetartikel MM Crosslam (p.25) door Mayr Melnhof Holz, z.d.-a.

Figuur 54 – Ontwerpgrafiek wand, overgenomen van internetartikel MM Crosslam (p.27) door Mayr Melnhof Holz, z.d.-a.

Leverancier Stora Enso:

Permanent load g_k	Snow load s_k	Span CLT panel (single span)								
		3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m
1.00	1.00	80 L3s	90 L3s	90 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s
	2.00	90 L3s		100 L3s		140 L5s			180 L5s	200 L5s
	2.80		100 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2
	3.50						180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	
	4.00		120 L3s				200 L5s	220 L7s-2		240 L7s-2
	5.00	100 L3s		140 L5s	160 L5s					
1.50	1.00	90 L3s	90 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s
	2.00		100 L3s					160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2
	2.80				140 L5s	160 L5s		180 L5s		
	3.50		120 L3s	140 L5s			160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2	
	4.00						180 L5s			
	5.00	100 L3s			160 L5s-2	160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2		240 L7s-2
2.00	1.00	90 L3s	100 L3s	120 L3s	140 L5s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2
	2.00									
	2.80		120 L3s			160 L5s	160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2	
	3.50			140 L5s	160 L5s		180 L5s			
	4.00	100 L3s						220 L7s-2		240 L7s-2
	5.00					180 L5s	200 L5s			
2.50	1.00		100 L3s				160 L5s			
	2.00	90 L3s		120 L3s	140 L5s	160 L5s		200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2
	2.80		120 L3s				180 L5s			
	3.50	100 L3s		140 L5s	160 L5s	160 L5s-2		220 L7s-2		240 L7s-2
	4.00						200 L5s			
	5.00	120 L3s				180 L5s			240 L7s-2	
3.00	1.00	90 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	220 L7s-2
	2.00									
	2.80					160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2	220 L7s-2	240 L7s-2
	3.50	120 L3s	120 L3s	140 L3s	160 L5s					
	4.00					180 L5s				
	5.00						220 L7s-2	240 L7s-2	240 L7s-2	

Single-span beam: deformation

Ultimate limit state:
Flexural stress design
Shear stress design

$k_{mod} = 0.9$

Serviceability:
Initial deflection
$w_{inst} < L/300$
Net final deflection
$w_{net\ fin} < L/250$

$k_{def} = 0.8$

* The CLT self-weight is already taken into account in the table with $\rho = 500\ kg/m^3$.

Service class 1, imposed load
Snow load ($\psi_0 = 0.5$; $\psi_1 = 0.2$; $\psi_2 = 0.0$)

In accordance with ETA-14/0349 (03.06.2019)
EN 1995-1-1 (2014)
EN 1995-1-1: 2015 NA Austria

R0
R30
R60
R90

Fire resistance:
HFA 2011
$\beta_{0,2} = 0,65$ mm/min
$\beta_{1,2} = 1,30$ mm/min

Figuur 55 – Ontwerptabel dakvloer CLT 2stp, overgenomen van internetartikel CLT by Technical Brochure (p. 28) door Stora Enso, z.d.-a.

Permanent load g_k	Live load q_k	Span of single-span beam								
		3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m
1.00	1.00	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2
	2.00									
	2.80									
	3.50									
	4.00						200 L5s			
	5.00									
1.50	1.00	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2
	2.00									
	2.80									
	3.50									
	4.00									
	5.00									
2.00	1.00	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2	280 L7s-2
	2.00									
	2.80									
	3.50									
	4.00			140 L5s						
	5.00									
2.50	1.00	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2	280 L7s-2
	2.00									
	2.80									
	3.50			140 L5s						
	4.00									
	5.00									
3.00	1.00	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2	280 L7s-2
	2.00									
	2.80									
	3.50			140 L5s						
	4.00									
	5.00									

Single-span beam: vibration

Ultimate limit state:
a. Flexural stress design
b. Shear stress design

$k_{mod} = 0.8$

Serviceability:
a. Initial deflection
$w_{inst} < L/300$
b. Net final deflection
$w_{net,\ fin} < L/250$
c. Vibration
According to ÖNORM B 1995-1-1:2014
Floor class I
$\zeta = 4\%$, 5 cm cement screed ($E = 26,000$ N/mm²), $b = 1.2 \cdot \ell$

$k_{def} = 0.8$

* The CLT self-weight is already taken into account in the table with $\rho = 500\ kg/m^3$.

Service class 1, imposed load category A ($\psi_0 = 0.7$; $\psi_1 = 0.5$; $\psi_2 = 0.3$)

In accordance with ETA-14/0349 (02.10.2014)
EN 1995-1-1 (2014)

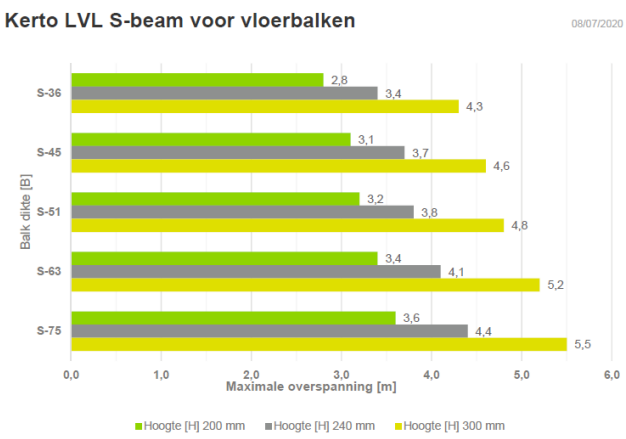
R0
R30
R60
R90

Fire resistance:
HFA 2011
$\beta_1 = 0.65$ mm/min

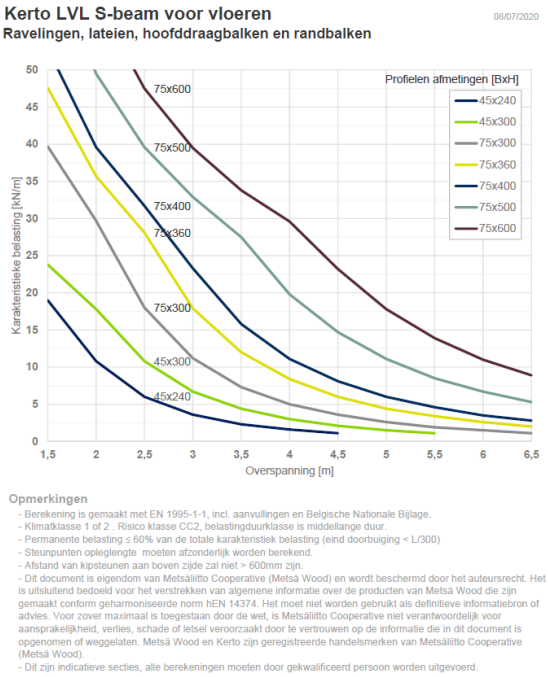
Figuur 56 – Ontwerptabel vloer CLT 2stp, overgenomen van internetartikel CLT by Technical Brochure (p. 29) door Stora Enso, z.d.-a.

LVL

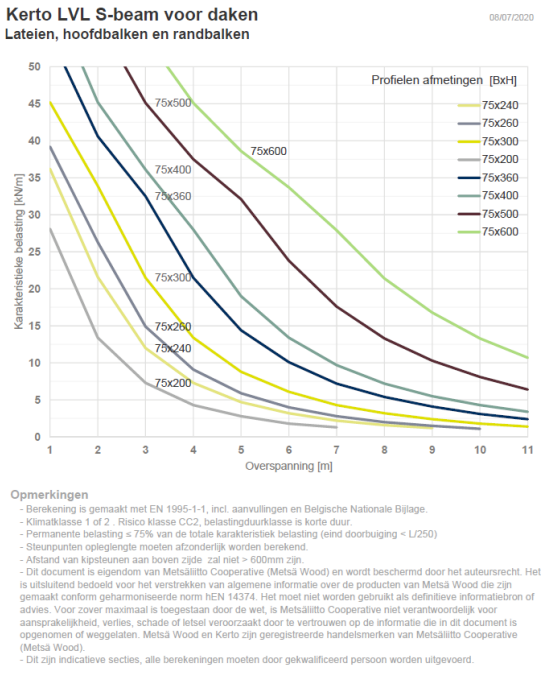
Leverancier MetsäWood:



Figuur 57 – Ontwerptabel Kerto LVL S-beam voor vloerbalken, overgenomen van website MetsäWood overspanningstabellen Kerto LVL door

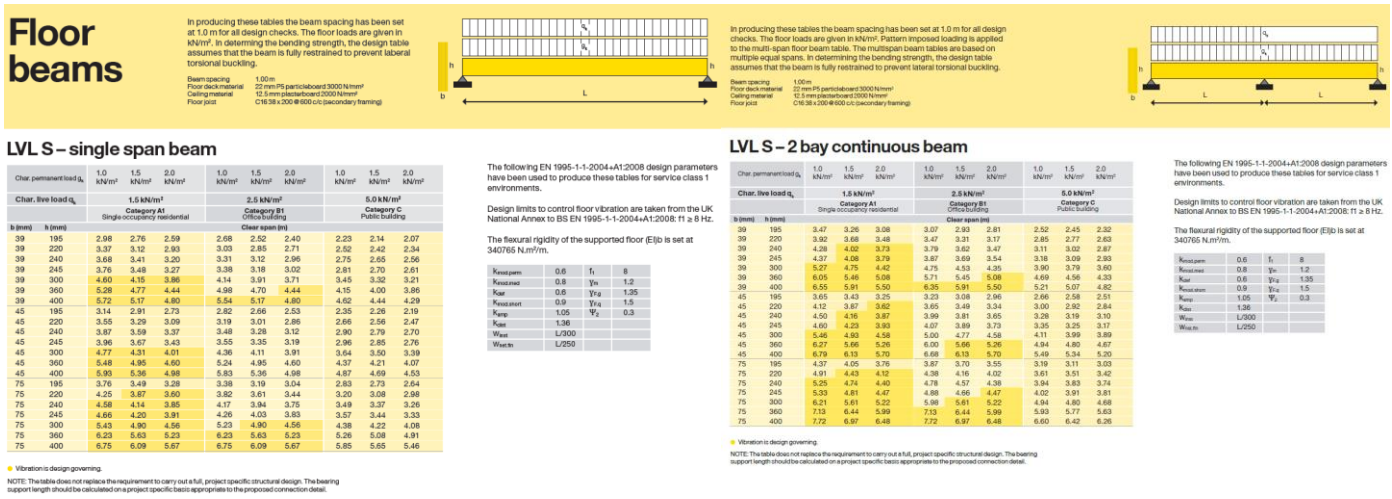


Figuur 58 – Ontwerptabel Kerto LVL S-beam voor vloeren, overgenomen van website MetsäWood overspanningstabellen Kerto LVL door



Figuur 58 – Ontwerptabel Kerto LVL S- beam voor daken, overgenomen van website MetsäWood overspanningstabellen

Leverancier Stora Enso:



Floor beams

In producing these tables the beam spacing has been set at 1.0 m for all design checks. The floor loads are given in kN/m². In determing the bending strength, the design table assumes that the beam is fully restrained to prevent laberal torsional buckling.

Beam spacing 1.00 m
Floor deck material 22 mm P5 particleboard 3000 N/mm²
Ceiling material 12.5 mm plasterboard 2000 N/mm²
Floor joist C16 38 x 200 @ 600 c/c (secondary framing)

In producing these tables the beam spacing has been set at 1.0 m for all design checks. The floor loads are given in kN/m². Pattern imposed loading is applied to the multi-span floor beam table. The multispan beam tables are based on multiple equal spans. In determining the bending strength, the design table assumes that the beam is fully restrained to prevent lateral torsional buckling.

Beam spacing 1.00 m
Floor deck material 22 mm P5 particleboard 3000 N/mm²
Ceiling material 12.5 mm plasterboard 2000 N/mm²
Floor joist C16 38 x 200 @ 600 c/c (secondary framing)

LVL S – single span beam

Char. permanent load g_k		1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²
Char. live load q_k		1.5 kN/m² Category A1 Single occupancy residential			2.5 kN/m² Category B1 Office building			5.0 kN/m² Category C Public building		
b (mm)	h (mm)	Clear span (m)								
39	195	2.98	2.76	2.59	2.68	2.52	2.40	2.23	2.14	2.07
39	220	3.37	3.12	2.93	3.03	2.85	2.71	2.52	2.42	2.34
39	240	3.68	3.41	3.20	3.31	3.12	2.96	2.75	2.65	2.56
39	245	3.76	3.48	3.27	3.38	3.18	3.02	2.81	2.70	2.61
39	300	4.60	4.15	3.86	4.14	3.91	3.71	3.45	3.32	3.21
39	360	5.28	4.77	4.44	4.98	4.70	4.44	4.15	4.00	3.86
39	400	5.72	5.17	4.80	5.54	5.17	4.80	4.62	4.44	4.29
45	195	3.14	2.91	2.73	2.82	2.66	2.53	2.35	2.26	2.19
45	220	3.55	3.29	3.09	3.19	3.01	2.86	2.66	2.56	2.47
45	240	3.87	3.59	3.37	3.48	3.28	3.12	2.90	2.79	2.70
45	245	3.96	3.67	3.43	3.55	3.35	3.19	2.96	2.85	2.76
45	300	4.77	4.31	4.01	4.36	4.11	3.91	3.64	3.50	3.39
45	360	5.48	4.95	4.60	5.24	4.95	4.60	4.37	4.21	4.07
45	400	5.93	5.36	4.98	5.83	5.36	4.98	4.87	4.69	4.53
75	195	3.76	3.49	3.28	3.38	3.19	3.04	2.83	2.73	2.64
75	220	4.25	3.87	3.60	3.82	3.61	3.44	3.20	3.08	2.98
75	240	4.58	4.14	3.85	4.17	3.94	3.75	3.49	3.37	3.26
75	245	4.66	4.20	3.91	4.26	4.03	3.83	3.57	3.44	3.33
75	300	5.43	4.90	4.56	5.23	4.90	4.56	4.38	4.22	4.08
75	360	6.23	5.63	5.23	6.23	5.63	5.23	5.26	5.08	4.91
75	400	6.75	6.09	5.67	6.75	6.09	5.67	5.85	5.65	5.46

● Vibration is design governing.

NOTE: The table does not replace the requirement to carry out a full, project specific structural design. The bearing support length should be calculated on a project specific basis appropriate to the proposed connection detail.

The following EN 1995-1-1:2004+A1:2008 design parameters have been used to produce these tables for service class 1 environments.

Design limits to control floor vibration are taken from the UK National Annex to BS EN 1995-1-1:2004+A1:2008: f1 ≥ 8 Hz.

The flexural rigidity of the supported floor (EI)b is set at 340765 N.m²/m.

$K_{mod,perm}$	0.6	f_1	8
$K_{mod,med}$	0.8	γ_m	1.2
K_{def}	0.6	$\gamma_{G,g}$	1.35
$K_{mod,short}$	0.9	$\gamma_{G,q}$	1.5
K_{snow}	1.05	Ψ_2	0.3
K_{dim}	1.36		
W_{limit}	L/300		
$W_{inst,fin}$	L/250		

LVL S – 2 bay continuous beam

Char. permanent load g_k		1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²
Char. live load q_k		1.5 kN/m² Category A1 Single occupancy residential			2.5 kN/m² Category B1 Office building			5.0 kN/m² Category C Public building		
b (mm)	h (mm)	Clear span (m)								
39	195	3.47	3.26	3.08	3.07	2.93	2.81	2.52	2.45	2.32
39	220	3.92	3.68	3.48	3.47	3.31	3.17	2.85	2.77	2.63
39	240	4.28	4.02	3.73	3.79	3.62	3.47	3.11	3.02	2.87
39	245	4.37	4.08	3.79	3.87	3.69	3.54	3.18	3.09	2.93
39	300	5.27	4.75	4.42	4.75	4.53	4.35	3.90	3.79	3.60
39	360	6.05	5.46	5.08	5.71	5.45	5.08	4.69	4.56	4.33
39	400	6.55	5.91	5.50	6.35	5.91	5.50	5.21	5.07	4.82
45	195	3.65	3.43	3.25	3.23	3.08	2.96	2.66	2.58	2.51
45	220	4.12	3.87	3.62	3.65	3.49	3.34	3.00	2.92	2.84
45	240	4.50	4.16	3.87	3.99	3.81	3.65	3.28	3.19	3.10
45	245	4.60	4.23	3.93	4.07	3.89	3.73	3.35	3.25	3.17
45	300	5.46	4.93	4.58	5.00	4.77	4.58	4.11	3.99	3.89
45	360	6.27	5.66	5.26	6.00	5.66	5.26	4.94	4.80	4.67
45	400	6.79	6.13	5.70	6.68	6.13	5.70	5.49	5.34	5.20
75	195	4.37	4.05	3.76	3.87	3.70	3.55	3.19	3.11	3.03
75	220	4.91	4.43	4.12	4.38	4.16	4.02	3.61	3.51	3.42
75	240	5.25	4.74	4.40	4.78	4.57	4.38	3.94	3.83	3.74
75	245	5.33	4.81	4.47	4.88	4.66	4.47	4.02	3.91	3.81
75	300	6.21	5.61	5.22	5.98	5.61	5.22	4.94	4.80	4.68
75	360	7.13	6.44	5.99	7.13	6.44	5.99	5.93	5.77	5.63
75	400	7.72	6.97	6.48	7.72	6.97	6.48	6.60	6.42	6.26

● Vibration is design governing.

NOTE: The table does not replace the requirement to carry out a full, project specific structural design. The bearing support length should be calculated on a project specific basis appropriate to the proposed connection detail.

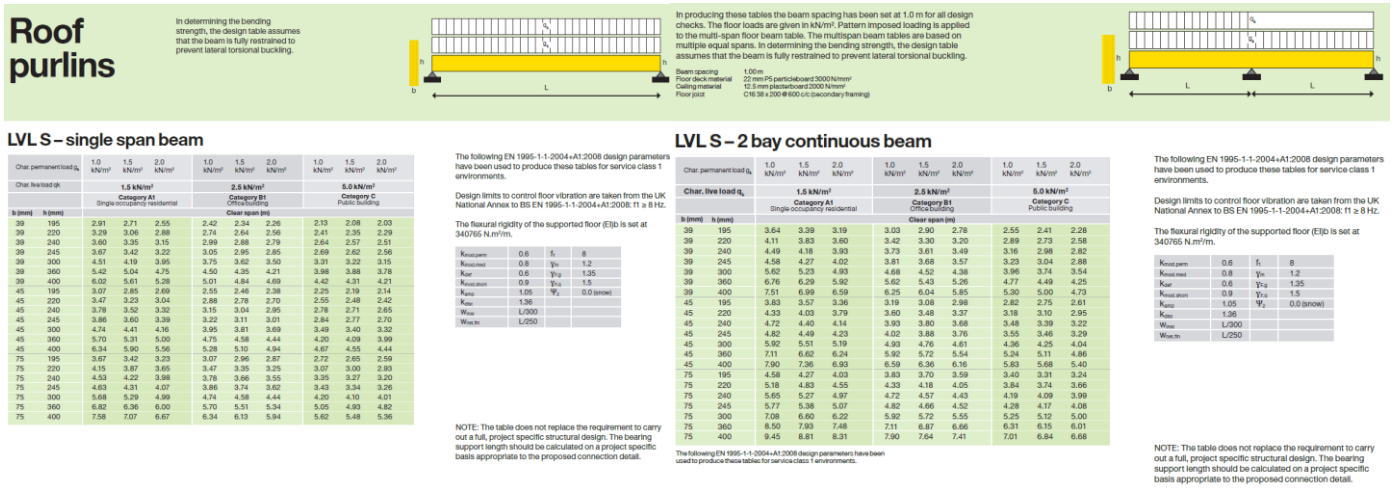
The following EN 1995-1-1:2004+A1:2008 design parameters have been used to produce these tables for service class 1 environments.

Design limits to control floor vibration are taken from the UK National Annex to BS EN 1995-1-1:2004+A1:2008: f1 ≥ 8 Hz.

The flexural rigidity of the supported floor (EI)b is set at 340765 N.m²/m.

$K_{mod,perm}$	0.6	f_1	8
$K_{mod,med}$	0.8	γ_m	1.2
K_{def}	0.6	$\gamma_{G,g}$	1.35
$K_{mod,short}$	0.9	$\gamma_{G,q}$	1.5
K_{snow}	1.05	Ψ_2	0.3
K_{dim}	1.36		
W_{limit}	L/300		
$W_{inst,fin}$	L/250		

Figuur 59 – Ontwerptabel LVL voor vloerenbalken, overgenomen van internetartikel LVL by Stora Enso Technical Brochure (p. 20/21) door Stora Enso, z.d.-b.



Roof purlins

In determing the bending strength, the design table assumes that the beam is fully restrained to prevent lateral torsional buckling.

In producing these tables the beam spacing has been set at 1.0 m for all design checks. The floor loads are given in kN/m². Pattern imposed loading is applied to the multi-span floor beam table. The multispan beam tables are based on multiple equal spans. In determining the bending strength, the design table assumes that the beam is fully restrained to prevent lateral torsional buckling.

Beam spacing 1.00 m
Floor deck material 22 mm P5 particleboard 3000 N/mm²
Ceiling material 12.5 mm plasterboard 2000 N/mm²
Floor joist C16 38 x 200 @ 600 c/c (secondary framing)

LVL S – single span beam

Char. permanent load g_k		1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²
Char. live load q_k		1.5 kN/m² Category A1 Single occupancy residential			2.5 kN/m² Category B1 Office building			5.0 kN/m² Category C Public building		
b (mm)	h (mm)	Clear span (m)								
39	195	2.91	2.71	2.55	2.42	2.34	2.26	2.13	2.08	2.03
39	220	3.29	3.06	2.88	2.74	2.64	2.56	2.41	2.35	2.29
39	240	3.60	3.35	3.15	2.99	2.88	2.79	2.64	2.57	2.51
39	245	3.67	3.42	3.22	3.05	2.95	2.85	2.69	2.62	2.56
39	300	4.51	4.19	3.95	3.75	3.62	3.50	3.31	3.22	3.15
39	360	5.42	5.04	4.75	4.50	4.35	4.21	3.98	3.88	3.78
39	400	6.02	5.61	5.28	5.01	4.84	4.69	4.42	4.31	4.21
45	195	3.07	2.85	2.69	2.55	2.46	2.38	2.25	2.19	2.14
45	220	3.47	3.23	3.04	2.88	2.78	2.70	2.55	2.48	2.42
45	240	3.78	3.52	3.32	3.15	3.04	2.95	2.78	2.71	2.65
45	245	3.86	3.60	3.39	3.22	3.11	3.01	2.84	2.77	2.70
45	300	4.74	4.41	4.16	3.95	3.81	3.69	3.49	3.40	3.32
45	360	5.70	5.31	5.00	4.75	4.58	4.44	4.20	4.09	3.99
45	400	6.34	5.90	5.56	5.28	5.10	4.94	4.67	4.55	4.44
75	195	3.67	3.42	3.23	3.07	2.96	2.87	2.72	2.65	2.59
75	220	4.15	3.87	3.65	3.47	3.35	3.25	3.07	3.00	2.93
75	240	4.53	4.22	3.98	3.78	3.66	3.55	3.35	3.27	3.20
75	245	4.63	4.31	4.07	3.86	3.74	3.62	3.43	3.34	3.26
75	300	5.68	5.29	4.99	4.74	4.58	4.44	4.20	4.10	4.01
75	360	6.82	6.36	6.00	5.70	5.51	5.34	5.05	4.93	4.82
75	400	7.58	7.07	6.67	6.34	6.13	5.94	5.62	5.48	5.36

The following EN 1995-1-1:2004+A1:2008 design parameters have been used to produce these tables for service class 1 environments.

Design limits to control floor vibration are taken from the UK National Annex to BS EN 1995-1-1:2004+A1:2008: f1 ≥ 8 Hz.

The flexural rigidity of the supported floor (EI)b is set at 340765 N.m²/m.

$K_{mod,perm}$	0.6	f_1	8
$K_{mod,med}$	0.8	γ_m	1.2
K_{def}	0.6	$\gamma_{G,g}$	1.35
$K_{mod,short}$	0.9	$\gamma_{G,q}$	1.5
K_{snow}	1.05	Ψ_2	0.0 (snow)
K_{dim}	1.36		
W_{limit}	L/300		
$W_{inst,fin}$	L/250		

NOTE: The table does not replace the requirement to carry out a full, project specific structural design. The bearing support length should be calculated on a project specific basis appropriate to the proposed connection detail.

LVL S – 2 bay continuous beam

Char. permanent load g_k		1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²	1.0 kN/m²	1.5 kN/m²	2.0 kN/m²
Char. live load q_k		1.5 kN/m² Category A1 Single occupancy residential			2.5 kN/m² Category B1 Office building			5.0 kN/m² Category C Public building		
b (mm)	h (mm)	Clear span (m)								
39	195	3.64	3.39	3.19	3.03	2.90	2.78	2.55	2.41	2.28
39	220	4.11	3.83	3.60	3.42	3.30	3.20	2.89	2.73	2.58
39	240	4.49	4.18	3.93	3.73	3.61	3.49	3.16	2.98	2.82
39	245	4.58	4.27	4.02	3.81	3.68	3.57	3.23	3.04	2.88
39	300	5.62	5.23	4.93	4.68	4.52	4.38	3.96	3.74	3.54
39	360	6.76	6.29	5.92	5.62	5.43	5.26	4.77	4.49	4.25
39	400	7.51	6.99	6.59	6.25	6.04	5.85	5.30	5.00	4.73
45	195	3.83	3.57	3.36	3.19	3.08	2.98	2.82	2.75	2.61
45	220	4.33	4.03	3.79	3.60	3.48	3.37	3.18	3.10	2.95
45	240	4.72	4.40	4.14	3.93	3.80	3.68	3.48	3.39	3.22
45	245	4.82	4.49	4.23	4.02	3.88	3.76	3.55	3.46	3.29
45	300	5.92	5.51	5.19	4.93	4.76	4.61	4.36	4.25	4.04
45	360	7.11	6.62	6.24	5.92	5.72	5.54	5.24	5.11	4.86
45	400	7.90	7.36	6.93	6.59	6.36	6.16	5.83	5.68	5.40
75	195	4.58	4.27	4.03	3.83	3.70	3.59	3.40	3.31	3.24
75	220	5.18	4.83	4.55	4.33	4.18	4.05	3.84	3.74	3.66
75	240	5.65	5.27	4.97	4.72	4.57	4.43	4.19	4.09	3.99
75	245	5.77	5.38	5.07	4.82	4.66	4.52	4.28	4.17	4.08
75	300	7.08	6.60	6.22	5.92	5.72	5.55	5.25	5.12	5.00
75	360	8.50	7.93	7.48	7.11	6.87	6.66	6.31	6.15	6.01
75	400	9.45	8.81	8.31	7.90	7.64	7.41	7.01	6.84	6.68

The following EN 1995-1-1:2004+A1:2008 design parameters have been used to produce these tables for service class 1 environments.

Figuur 59 – Ontwerptabel LVL voor dakbalken, overgenomen van internetartikel LVL by Stora Enso Technical Brochure (p. 22/23) door Stora Enso, z.d.-b.

5.1.5 Beschikbare rekenprogrammatuur

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Informatie van leveranciers, softwareproducten en verenigingen zijn terug te lezen op desbetreffende website.*

In dit hoofdstuk worden de beschikbare rekenprogramma's voor houtconstructies vermeld middels een tabel 16. Deze tabel geeft inzicht in de beschikbaarheid, toepasbaarheid en afkomst van rekenprogramma's voor houtconstructies die constructeurs kunnen toepassen in de praktijk.

Rekenprogrammatuur Houtconstructies										
Naam rekenprogrammatuur	Onderdeel	Afkomst		Toegankelijkheid			Constructie Dimensies			Opmerkingen
		Leverancier	Software-ontwikkelaar	Gratis	Studenten-licentie	Betaalde bedrijfs-licentie	1D X-as	2D X/Y-as	3D X/Y/Z-as	
Technosoft	Liggers		X		X	X	X			NEN-EN 1995
	Raamwerken							X		NEN-EN 1995
	Profielmutatie							X		NEN-EN 1995
	Construct						X	X		NEN-EN 1995
	AxisVM								X	NEN-EN 1995, XLAM (CLT)
Dlubal	RFEM		X		X	X		X	X	Add-on module: 1. RF-/Timber Pro 2. RF-Lamineted (CLT)
STRUCT4U	XFrame 2D		X		X	X		X	X	Houtmodule NEN-EN 1995
	XFrame 3D									
	Xbeam 2D									
Matrix Software	MatrixFrame		X		X	X		X	X	NEN-EN 1995
	MatrixTools						X			NEN-EN 1995
Qec	Diverse		X		X	X	X	X		NEN-EN 1995
Vereniging van Houtconstructeurs	Houten staven		X			X	X			+ brandmodule, NEN-EN 1995
	Verbindingen						X			NEN-EN 1995
	Houtcalculator						X			NEN-EN 1995
Derix	XLam Designer	X		X			X	X		CLT toetsing, NEN-EN 1995
Stora Enso*	Calculatis	X		X			X	X		Hout, CLT, LVL toetsing
TU Graz	CLTdesigner									CLT toetsing, NEN-EN 1995
MetsäWood	FINNWOOD	X		X			X	X		LVL toetsing
* Niet volgens NEN-EN 1995										

Tabel 16 – Rekenprogrammatuur Houtconstructies

5.2 Bouwfysisch rekenen

5.2.1 Thermisch

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Bouwfysica (Kuipers-van Gaalen, Zeegers & van der Linden, 2016), waarin informatie wordt beschreven over thermische berekeningen.*
- *Boek Handboek houtskeletbouw (Groot, Banga, Graaf & de Groot, 2000), waarin uitleg wordt gegeven over thermische eigenschappen van HSB.*
- *Website warmtegeleidingscoëfficiënt lambda (Joost de Vree, z.d.), waarop lambda-waardes zijn vermeld van verschillende materialen.*
- *Internetartikel Therimal Conductivity Value for Laminated Strand Lumber (Tripathi & Rice , 2017), waarin lambda-waardes zijn vermeld van verschillende materialen.*

Gemodificeerde houtbouw

Thermische weerstand

Eisen nieuwbouw (BENG eis 2021):

Bouwonderdeel	R_c [m^2K/W]
Vloer	3,7
Gevel	4,7
Dak	6,3

Tabel 17 – Eisen nieuwbouw BENG 2021 overgenomen van de website van Kingspan, 2020.

De thermische weerstand van materialen met een bekende dikte wordt aan de hand van onderstaande formule berekend.

$$R_m = \frac{d}{\lambda}$$

R_m = thermische weerstand van één constructielaag [m^2K/W]
d = dikte constructielaag [m]
λ = lambda-waarde van het materiaal [W/mK]

Voor de thermische weerstand van alle lagen wordt de R_c-waarde gebruikt. Deze waarde is als volgt te berekenen.

$R_c = R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} + \ldots.$

Om de thermische weerstand van de totale constructie, ook wel R_T genoemd, te bepalen dienen de warmteovergangsweerstanden bij de R_c-waarde te worden opgeteld.

$R_T = R_{si} + R_c + R_{se}$

R_{si} = warmteovergangsweerstand inwendig oppervlak [m^2K/W]
R_{se} = warmteovergangsweerstand uitwendig oppervlak [m^2K/W]

In onderstaand voorbeeld wordt berekend wat de thermische weerstand (R_m) per gemodificeerd houten materiaal component van 200 mm dik is in vergelijking met traditionele constructiematerialen en isolatie.

Functie	Materiaal	Lambda-waarde	Dikte	Thermische weerstand
		λ [W/mK]	d [m]	R_m [m2K/W]
Traditioneel constructie-materiaal	Beton	1,7	0,1	0,06
	Kalkzandsteen	0,9	0,1	0,11
	Porisosteen	0,5	0,1	0,20
Isolatie	Steenwol	0,04	0,1	2,50
Bio-based constructie-materiaal	Hout (zacht)	0,14	0,1	0,71
	Cross Laminated Timber (CLT)	0,11	0,1	0,91
	Laminated Veneer Lumber (LVL)	0,13	0,1	0,77
	Parallel Strand Lumber (PSL)	0,11	0,1	0,91
	Laminted Strand Lumber (LSL)	0,11	0,1	0,91

Tabel 18 – Lambda-waardes per materiaal, gebaseerd op informatie van internetartikel van Tripathi & Rice , 2017 & de website van Joost de Vree, z.d.

Uit bovenstaande tabel is gebleken dat wanneer gemodificeerde houten materialen worden toegepast, een aanzienlijk deel van de R_c-waarde behaald kan worden. Hierdoor kunnen dunnere isolatieplaten worden toegepast wat kan leiden tot een reductie van de kosten en de wandikte. Echter is dit zeer projectafhankelijk.

Warmteaccumulatie

Op het gebied van comfort is warmteaccumulatie een belangrijk onderdeel. Met dit fenomeen wordt het vasthouden van temperaturen in de constructie bedoeld. Het voordeel hiervan is dat temperatuurswisselingen kunnen worden opgevangen. Vaak wordt hierbij de term ´massa is kassa´ gebruikt. Een relatief zwaar materiaal, zoals beton, kan veel warmte opslaan. Echter spelen meerdere factoren meer dan alleen de dichtheid van het materiaal. De soortelijke warmte, de dikte en het temperatuurverschil bepalen ook de mate waarin warmteaccumulatie op zal treden. Ondanks de relatief lage massa van gemodificeerde houtbouw, is deze materiaaltoepassing toch gunstig voor warmteaccumulatie. De verklaring hiervoor is de relatief hoge soortelijke warmte waardoor de volumieke warmtecapaciteit (soortelijke dichtheid*soortelijke warmte) wordt verhoogd.

Condensatie

Bij een constructie bestaande uit meerdere lagen kan interne condensatie ontstaan. Deze ontstaat bij een laag waar de dampdruk hoger dan de op daar heersende temperatuur mogelijk is. Dit wordt gecontroleerd aan de hand van een tabel met bijbehorende grafiek. Deze tabel en grafiek geven bij elke laag aan wat de maximale damp mag zijn en wat de optredende dampdruk is. Deze maximale dampdruk wordt uitgerekend aan de hand van het temperatuurverloop. Door het op de juiste plaats toepassen van een dampremmende laag kan interne condensatie worden voorkomen.

Houtskeletbouw

Thermische weerstand

Bij het berekenen van de thermische weerstand bij houtskeletbouwelementen wordt dezelfde methode aangehouden als bij de traditionele en homogene wandopbouw. Elke laag wordt apart berekend en tot slot bij elkaar opgeteld in combinatie met de nodige correctiefactoren.

Echter, de R_m-waarde voor de laag waarin de isolatie en de stijlen zich bevinden dienen op een andere manier te worden bepaald. Door de stijlen wordt de R_m-waarde van deze laag gereduceerd. Deze reductie hangt van het percentage hout in het element af. Hiervoor zijn diverse manieren. Bij onderstaande manier wordt een effectieve lambda-waarde uitgerekend.

$\lambda_{eff} = (A_a * \lambda_a + A_b * \lambda_b) : A_{totaal}$

A = oppervlakte
λ = lambda-waarde
a = aandeel hout
b = aandeel isolatie

Warmteaccumulatie

Door de relatief lage massa van houtskeletbouwsystemen en door de holle wanden, zal het systeem gevoeliger reageren op warmtewisselingen dan steenachtige- of gemodificeerd houten constructies.

Condensatie

Voor houtskeletbouwelementen geldt dezelfde informatie over inwendige condensatie als bij gemodificeerde houtbouw.

5.2.2 Akoestisch

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Bouwfysica (Kuipers-van Gaalen, Zeegers & van der Linden, 2016), waarin informatie wordt beschreven over akoestische berekeningen.*
- *Internetartikel The CLT Handbook (Borgström & Fröbel, 2019), waarin uitleg gegeven wordt over akoestische eigenschappen van CLT.*
- *Internetartikel Aansturingstabel 3.15 (Rijksoverheid, 2012), waarin grenswaarden zijn vermeld met betrekking op akoestische eisen in het bouwbesluit.*
- *Website ROCKWOOL (ROCKWOOL, z.d.), waarop informatie wordt verteld over de akoestische eisen van het bouwbesluit.*

Eisen

Bij nieuwbouwwoningen (hoogste eis, woonfunctie) moet voldaan worden aan onderstaande geluidseisen:

- Buitenwanden
  - Weg- en spoorweg: resulterend max. 33 dB → $D_{nT,A,k} \geq 20$ dB
  - Industrie: resulterend max. 35 dB → $D_{nT,A,k} \geq 20$ dB
  - Luchtvaart (burgers): resulterend max. 28 dB → $D_{nT,A,k} \geq 20$ dB
- Tussen verblijfsgebieden
  - Luchtgeluid: $D_{nT,A,k} \geq 52$ dB
  - Contactgeluid: $L_{nT,A,k} \leq 54$ dB

Praktijk

Bij steenachtige constructies wordt de geluidsisolatie voornamelijk uit massa gehaald. De relatief lichte constructiematerialen bij houtbouw kunnen geluidsproblemen veroorzaken op het gebied van geluid. Zoals in de voorstudie *´Hoofdstuk 4.1.1´* beschreven zijn diverse mogelijk om dit probleem op te lossen:

- Akoestische ontkoppeling
- Toepassen akoestische isolatie
- Verhogen massa

Bij gemodificeerde houtbouw kan geluidsisolatie in de spouw of onder/op de vloer worden toegepast. Ook kan voor een hybride systeem gekozen worden waarbij voor een betonnen (of ander zwaar materiaal) dekvloer op de gemodificeerde houten vloer wordt toegepast. Bij wanden worden ook vaak gipsplaten toegepast om tot de benodigde geluidswering te komen.

Bij houtskeletbouw kan de geluidsisolatie verwerkt worden in de holle ruimtes van de wanden en vloeren. Daarnaast kan ook bij deze bouwmethode gebruik gemaakt worden van voorzet wanden (inclusief gipsplaten) of dekvloeren en plafonds.

Rekenen

Om de eisen te kunnen toetsen, dient de geluidsweerstand berekend te worden.

Dit kan op diverse manieren worden bepaald:

- Met behulp van testen en berekeningen, waarbij de NEN 5077 aangehouden dient te worden.
- Aan de hand van producteigenschappen van leveranciers.

Aan het eind van dit hoofdstuk zijn diverse vloer- en wandopbouwen weergeven met bijbehorende fysische eigenschappen, waaronder geluidswering.

5.3 Brand-technisch rekenen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Internetartikel The CLT Handbook (Borgström & Fröbel, 2019), waarin uitleg gegeven wordt over constructieve berekeningen in CLT.*
- *Boek Handboek houtskeletbouw (Groot, Banga, Graaf & de Groot, 2000), waarin brand-technische eigenschappen van houtskeletbouw opbouwen staan beschreven.*
- *Overige informatie: formules, onderzoekconclusies en brand-technische uitgangspunten zijn in het betreffende onderdeel voorzien van broncitaten.*

Op het gebied van brandwerendheid moet een bouwwerk voldoen aan de eisen. In onderstaande tabel staan de strengste eisen met betrekking op de brandeisen voor constructies voor een utiliteitsgebouw. Hierbij wordt nieuwbouw zonder reductie van de vuurbelasting aangehouden.

Eisen utiliteitsbouw

Hoogte vloer verblijfsgebied [m]	Brandwerendheid tot bezwijken [min]
Onder 5	60
Tussen 5 en 13	90
Boven 13	120

Tabel 19 – Brandeisen hoofddraagconstructie, afkomstig uit het BouwBesluit, tabel 2.9.2. door Rijksoverheid, 2003.

Gemodificeerd houtconstructies

De toetsing van gemodificeerd houten constructies aan bovenstaande eisen kan worden uitgevoerd aan de hand van onderstaande twee methodes.

- Gereduceerde doorsnede methode, waarin wordt berekend aan de hand van formules en tabellen welk deel van de doorsnede effectief overblijft om belastingen op te nemen. Deze methode zal hieronder verder toegelicht worden.
- Gereduceerde materiaaleigenschappen methode, waarbij de sterkte van het hout door middel van de k_{mod} gereduceerd. Deze methode is complex en zal niet verder worden toegelicht.

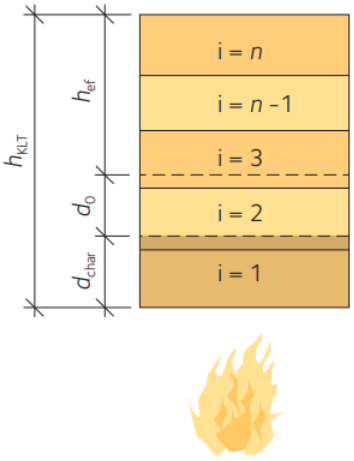
In onderstaande informatie wordt toegelicht hoe de brandwerendheid van constructies wordt bepaald aan de hand van de gereduceerde doorsnede methode.

Verloop brand

Ten eerste is de invloed van hoge temperaturen op houten constructie elementen van belang. Dit zal als volgt plaatsvinden. De buitenste laag, ook wel de d_{char} genoemd, is de verkoolde laag die constructief niet meer meegerekend mag worden. Achter deze buitenste laag bevindt zich de 'pyrolysis zone', ook wel bekend als de d_0 zone. Deze laag is aan dusdanig hoge temperaturen blootgesteld dat deze laag beschouwd dient te worden zonder mechanische eigenschappen. Dit betekent dat deze laag geen sterkte of stijfheid heeft. Dit geld voor zowel gezaagd als (kruislaags) gelamineerd hout.

Tijdens een brand dient de constructie, afhankelijk van de geëiste brandtijd, te voldoen aan de belastingcombinatie bij brand. De overgebleven effectieve doorsnede (met h_{ef}) wordt hierbij getoetst.

Voor deze berekening wordt eerst toegelicht hoe de effectieve profieldoorsnede bepaald dient te worden.



Figuur 60 – Overzicht brandverloop hout, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook figuur 7.4 (p. 138) door Borgström & Fröbel, 2019.

Inbrandsnelheden

Materiaal	B_0 [mm/min]*	B_n [mm/min]**
Gezaagd hout	*0,65*	*0,80*
CLT	0,65	0,80
Glulam	0,65	0,70
LVL	0,65	0,70

Tabel 20 – Overzicht brandverloop hout, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook figuur 7.4 (p. 138) door Borgström & Fröbel, 2019.

*inbrandsnelheid rechthoekige doorsnede ééndimensionaal blootgesteld aan vuur of wanneer gaten tussen de planken minder dan 2 mm zijn.
**inbrandsnelheid rechthoekige doorsnede 3- of 4-zijdig blootgesteld aan vuur of wanneer gaten tussen de planken tussen 2 en 6 mm zijn.

Bij PUR lijmen wordt na de eerste laag de eerste 25 mm van de laag 2x zo snel ingebrand.

Effectieve hoogte berekenen

Stap 1: berekenen inbranddiepte d_{char}

$d_{char,0} = \beta_0 * t * k_0$ of $\beta_n * t * k_0$ (zie voorwaarden is tabel 20). Bij PUR-lijmen wordt de inbrandsnelheid verdubbeld vanaf de op een na buitenste houtlaag. Vanaf 20 minuten brandwering is de k_0-waarde 1,0 en hoeft dus niet meer meegenomen te worden. Zie tabel 20 voor β_0 en β_n.

Stap 2: berekenen beïnvloede zone d_0

Tabel 21, 22, en 23 raadplegen [1)].

Stap 3: effectieve hoogte h_{ef} bepalen

$$h_{ef} = h_{CLT} - d_{char} - d_0$$

[1)] in de normen en voorschriften staat een d_0 vastgesteld van 7 mm. Echter, deze waarde blijkt alleen bij specifieke testen consistent te zijn. Uit diverse onderzoeken is gebleken dat deze d_0-waarde afhankelijk is van de belasting, de productopbouw, de testmethode en brandwerendheid (beschermd/onbeschermd). Volgens deze onderzoeken is de exacte bepaling van d_0 te bepalen via formules afkomstig uit een versimpeld model. Deze formules (toepasbaar voor CLT) staan in tabellen 21, 22 en 23 vermeld *(Schmid, König & Köhler, 2010, p. 10)*.

Een overig onderzoek toont aan dat de d_0-waarde van 7 mm ook bij Glulam leidt tot inconsistente resultaten. Dit onderzoek concludeert een gemiddelde d_0-waarde van 16 mm en een conservatieve 95procentielwaarde van 23 mm *(Quiquero, Chorlton & Gales, 2018, p. 310/311)*.

Daarnaast beweert een ander onderzoek dat de minimale d_0-waarde 11,7 mm dient te zijn bij LVL. Voor Glulam wordt een minimum van 12,3 mm aangeraden *(Chorlton & Gales, 2020, p. 17)*.

Literatuuronderzoek

Door de vele meningsverschillen van diverse experts is dit onderdeel (d_0/pyrolyses zone) van de voorstudie op een literatuurstudie gaan lijken. Wij, als afstudeerders, raden aan om voor de d_0-waarde in gesprek te gaan met de opdrachtgever omdat dit invloed heeft op de veiligheid en kosten in verband met overdimensioneren. Wanneer de opdrachtgever toestemming geeft om een meer consistente d_0-waarde toe te passen, dient voor CLT gebruik gemaakt te worden van de tabellen in het handboek. Voor Glulam en LVL is het verstandig om bovengenoemde waardes aan te houden in plaats van de standaard 7 mm. In 2025 wordt een nieuwe Eurocode verwacht. Hierin zal de d_0 herzien moeten worden om opheldering over dit onderwerp te verschaffen.

Overige informatie

- LVL wordt meestal toegepast in geringe dikte (max 75 mm). Hierbij is het gebruikelijk om een brandbescherming toe te passen.
- Er wordt verwacht dat de inbrandsnelheid negatief beïnvloed kan worden door de temperatuurgeleiding veroorzaakt door de stalen nagels. Hierdoor zal de inbrandsnelheid van Nail Laminted Timber (NLT) sneller zijn dan bijvoorbeeld CLT. Echter, duidelijke bewijzen hiervoor zijn niet gevonden. Wanneer stalen platen bij houtverbindingen worden toegepast, zorgt dit ook voor een grotere interne temperatuur.

Tabellen d_0 bepaling

CLT platen 3-laags

Houtlaag op vuur belast	vloer		wand	
	onbeschermd opp. [mm]	beschermd opp. [mm]	onbeschermd opp. [mm]	beschermd opp. [mm]
Trek	$d_0 = \frac{h_{CLT}}{30} + 3{,}7$	$d_0 = 10$	n.v.t.	n.v.t.
Druk	$d_0 = \frac{h_{CLT}}{25} + 4{,}5$	$d_0 = \min\left\{\frac{h_{CLT}}{30} + 3{,}7 \middle\vert 13{,}5\right\}$	$d_0 = \frac{h_{CLT}}{25} + 3{,}95$	$d_0 = \min\left\{\frac{h_{CLT}}{12{,}5} + 7 \middle\vert 13{,}5\right\}$

Tabel 21 – d_0 bepaling, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook tabel 7.3 (p. 139) door Borgström & Fröbel, 2019.

CLT platen 5-laags

Houtlaag op vuur belast	vloer		wand	
	onbeschermd opp. [mm]	beschermd opp. [mm]	onbeschermd opp. [mm]	beschermd opp. [mm]
Trek	$d_0 = \frac{h_{CLT}}{100} + 10$	75 mm ≤ h_{CLT} ≤ 100 mm $d_0 = 34 - \frac{h_{CLT}}{4}$ h_{CLT} > 100 mm $d_0 = \frac{h_{CLT}}{35} + 6$	n.v.t.	n.v.t.
Druk	$d_0 = \frac{h_{CLT}}{20} + 11$	$d_0 = 18$	$d_0 = \frac{h_{CLT}}{15} + 10{,}5$	$d_0 = 20$

Tabel 22 – d_0 bepaling, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook tabel 7.4 (p. 139) door Borgström & Fröbel, 2019.

CLT platen 7-laags

Houtlaag op vuur belast	vloer		wand	
	onbeschermd opp. [mm]	beschermd opp. [mm]	onbeschermd opp. [mm]	beschermd opp. [mm]
Trek	105 mm ≤ h_{CLT} ≤ 175 mm $d_0 = \frac{h_{CLT}}{6} + 2{,}5$ h_{CLT} > 175 mm $d_0 = 10$		n.v.t.	n.v.t.
Druk	105 mm ≤ h_{CLT} ≤ 175 mm $d_0 = \frac{h_{CLT}}{6} + 2{,}5$ h_{CLT} > 175 mm $d_0 = 13$		105 mm ≤ h_{CLT} ≤ 175 mm $d_0 = \frac{h_{CLT}}{6} + 4{,}0$ h_{CLT} > 175 mm $d_0 = 16$	

Tabel 23 – d_0 bepaling, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook tabel 7.5 (p. 139) door Borgström & Fröbel, 2019.

Houtskeletbouw

Ook bouwwerken waarbij houtskeletbouw is toegepast moeten voldoen aan de brandeisen. De brandeisen welke betrekking hebben op het bezwijken van de constructie staan in dit onderzoek centraal.

Bij HSB-wanden wordt de brandwerendheid voornamelijk ontleend aan minerale wol isolatie en gipsplaten. Aan de hand van onderstaande eisen worden de toe te passen wandopbouwen genoemd. Dit zijn richtlijnen en dienen nader te worden uitgerekend *(Groot, Banga, Graaf & de Groot, 2000, p. 194/195/196/197)* .

- 30 minuten
  - Enkele gipsplaat 12,5 mm (binnen en buiten)
- 60 minuten
  - Enkele gipsplaat 15 mm (binnen en buiten) + minerale wol, eventueel met spouw
  - Dubbele gipsplaat 2*12,5 mm (binnen en buiten) + minerale wol, eventueel met spouw
- 90 minuten
  - Dubbele gipsplaat 2*15 mm (binnen en buiten) + minerale wol, eventueel met spouw

Ook bij vloeren zal door middel van minerale wol en gipsplaten voldaan worden aan de brandeisen.

Door de holle ruimtes in de HSB-wanden kan een schoorsteenwerking optreden. Hierbij verspreidt brand snel in de verticale richting en kan voor brandoverslag zorgen. Om dit te voorkomen dienen onder- en bovenregels op de juiste positie te worden toegepast. Dit verschijnsel kan ook bij open spouwconstructies plaatvinden. Bij bouwwerken van meer dan 10 meter hoog kan het risico op verticale brand (via gevels) beperkt worden door de spouw te onderbreken door horizontale onbrandbare en corrosiebestendige stroken of slabben *(Berkel, z.d.) (Martin, Eeckhout, Lassoire, Winnepenninckx & Deschoolmeester)*.

Belastingcombinatie brand

Volgen de NEN 1990 wordt brand beschouwd als een buitengewone belastingcombinatie, waarbij de belastingfactoren worden gelijkgesteld aan 1.

In onderstaande tabel staat de combinatie weergeven

Combinatie	Blijvende bel.	Buitengewone bel.	Extreme ver. bel.	Gelijktijdige ver. bel.
Buitengewoon	1,0 G	+ 1,0 A_d	+ 1,0 ψ_1 of ψ_2 Q	+ 1,0 Σ ψ_2 Q

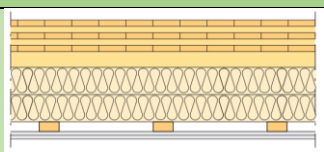
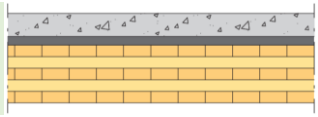
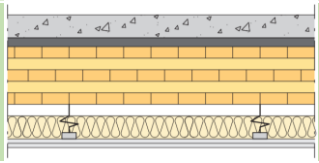
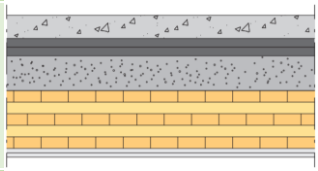
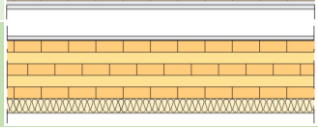
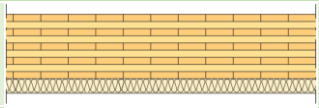
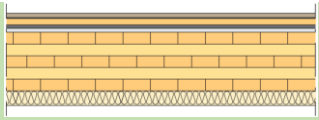
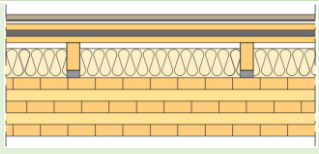
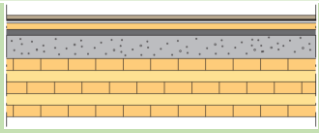
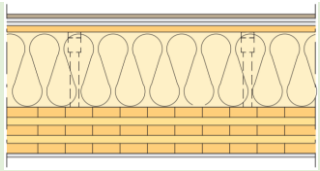
Tabel 24 – Buitegewone belastingcombinatie uit NEN-EN 1990+A1:2006+A1:2006/C2:2019 door NEN, 2019, p. 55.

Aandachtspunten:

- A_d vervalt en wordt gelijkgesteld aan 1.
- ψ_1 toepassen bij wind in combinatie met brand → maatgevend, bijeenkomst ψ_1 = 0,7
- ψ_2 overige situaties → maatgevend, bijeenkomst ψ_1 = 0,6

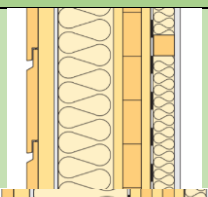
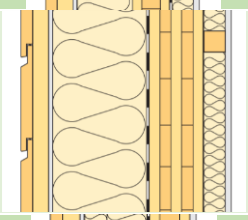
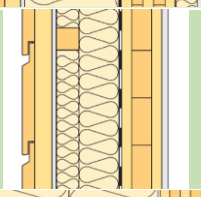
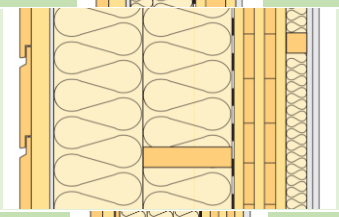
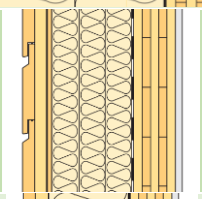
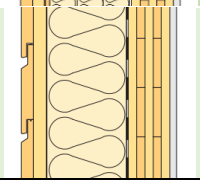
Hieronder zijn diverse vloer- en wandopbouwen, toe te passen bij gemodificeerde houtbouw, weergeven met bijbehorende eigenschappen, waaronder de brandwerendheid.

Voorbeelden wand- en vloeropbouw

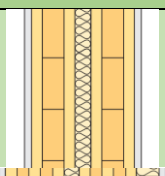
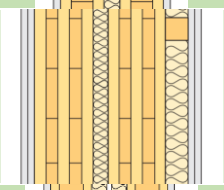
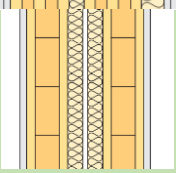
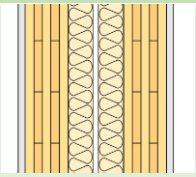
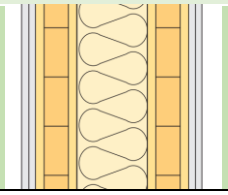
Vloeren					
Opbouw visueel	Opbouw Tekstueel [mm]	Totale dikte [mm]	Gewicht [kg/m²]	Lucht-geluid D_w [dB]	Contact-geluid $L_{n,w}$ [dB]
	110 CLT 220 plafond met isolatie (2*95) 34 regelwerk 2*13 gipsplaat	390	92	63	56
	80 beton 30 contactgeluids-isolatie 200 CLT	310	266	52	63
	80 beton 30 contactgeluids-isolatie 200 CLT 120 plafond met isolatie (80) 2*15 gispplaat	460	207	33	79
	80 beton 2*30 contactgeluids-isolatie 120 grind 200 CLT 120 plafond met isolatie (80) 2*15 gispplaat	460	450	40	75
	13 gipsplaat 3 schuim 200 CLT 50 zware isolatie ≥ 100 kg/m²	266	130	64	[1]
	200 CLT 50 zware isolatie ≥ 100 kg/m²	250	106	68	[1]
	14 vloerhout + 3 schuim 22 vezelplaat 12 contactgeluids-isolatie 13 gipsplaat 200 CLT 50 zware isolatie ≥ 100 kg/m²	334	160	60	[1]
	14 vloerhout + 3 schuim 22 vezelplaat 20 contactgeluids-isolatie 22 vezelplaat 95 plafond met 95 isolatie 25 trillingdemper 200 CLT	401	145	54	52
	14 vloerhout + 3 schuim 13 gipsplaat + 22 vezelplaat 20 contactgeluids-isolatie 13 gipsplaat 80 grind 200 CLT	352	235	44	63
	14 vloerhout 2*13 gipsplaat 22 vezelplaat 260 isolatie tussen balkenrooster 160 CLT 13 gipsplaat	493	145	56	56

Tabel 24 – vloeropbouwen met eigenschappen, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook tabel 5.4 (p. 102/103) & tabel 8.14 (p. 153) door Borgström & Fröbel, 2019.

[1)] Waardes onbekend.

Wanden (gevel)					
Opbouw visueel	Opbouw Tekstueel [mm]	Totale dikte [mm]	R_c-waarde [m^2K/W]	Lucht-geluid wering D_w [dB]	Brand-werend-heid [min]
	22 gevelbekleding 34 regelwerk 120 zware isolatie 80 CLT 45 stijl- en regelwerk + isolatie 13 gipsplaat	314	4,0	38	60
	22 gevelbekleding 34 regelwerk 120 zware isolatie 30 contactgeluids-isolatie 200 CLT 13 gipsplaat	409	6,7	41	60
	22 gevelbekleding 34 regelwerk 120 zware isolatie 200 CLT 120 isolatie 13 gipsplaat	291	4,0	51	60
	2*30 contactgeluids-isolatie 120 grind 200 CLT 120 isolatie 2*15 gispplaat	567	10,0	52	90
	13 gipsplaat 3 schuim 200 CLT 50 zware isolatie ≥ 100 kg/m^2	412	6,7	48-55	90
	200 CLT 50 zware isolatie ≥ 100 kg/m^2	384	6,7	52	90

Tabel 25 – wandopbouwen met eigenschappen, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook tabel 6.7/6.8 (p. 123/124) & tabel 8.15 (p. 155) door Borgström & Fröbel, 2019.

Wanden (interne scheidingswanden)					
Opbouw visueel	Opbouw Tekstueel [mm]	Totale dikte [mm]	R_c-waarde [m^2K/W]	Lucht-geluid wering D_w [dB]	Brand-werend-heid [min]
	13 gipsplaat 80 CLT 30 isolatie 80 mm CLT 13 gipsplaat	216	n.v.t	56	60
	2*13 gipsplaat 100 CLT 30 isolatie 100 mm CLT 45 stijl- en regelwerk + isolatie 2*13 gipsplaat	327	n.v.t	62	90
	15 gipsplaat 80 CLT 45-70 isolatie 20 spouw 45-70 isolatie 80 CLT 15 gipsplaat	300-350	n.v.t	≥ 52 - 58	60
	13 gipsplaat 120 CLT 45 isolatie 20 spouw 45 isolatie 120 CLT 13 gipsplaat	376	n.v.t	≥ 55 - 61	60
	2*15 gipsplaat 70 CLT 170 isolatie 70 CLT 2*15 gipsplaat	370	n.v.t	≥ 60	60

Tabel 26 – wandopbouwen met eigenschappen, overgenomen uit internetartikel The CLT Handbook tabel 6.7/6.8 (p. 123/124) & tabel 8.15 (p. 155) door Borgström & Fröbel, 2019.

6.0 Conclusie/ samenvatting

1.0 Wat is de relatie tussen houtbouw en milieu?

Door menselijke handelingen op aarde komen er broeikasgassen vrij in de atmosfeer. Door het vrijkomen van deze gassen ontstaat er een klimaatverandering (impact op het milieu), waardoor de zeespiegel en de temperatuut stijgt op aarde. Kooldioxide (CO_2) is hiervan een belangrijke factor. Om de klimaatveranderingen te beheersen heeft Nederland naast vele andere landen het VN-klimaatakkoord ondertekend in Parijs. Het doel van Nederland is hierdoor om in 2050 95% minder CO_2 uit te stoten ten opzichte van 1990. Om dit doel te behalen zal de huidige bouwwijze in de bouw- en infrasector moeten veranderen. De winning van beton en staal veroorzaakt namelijk een aanzienlijk aandeel, 14% van de totale CO_2 uitstoot door de mens.

Ook zal in de loop van tijd metalen grondstoffen opraken. Door de doelstellingen in 2050 van het klimaatakkoord is vanaf begin dit jaar 2021 een CO_2-heffing geïntroduceerd op productieprocessen in Nederland. Hierdoor zal de kostprijs van gewapend beton stijgen tot 34 % en staal met 14% in 2030. Ook heeft de woningcrisis invloed op de CO_2 uitstoot. Door deze crisis zullen in de komende jaren meer huizen gebouwd moeten worden, met minder uitstoot.

Door deze ontwikkelingen biedt houtbouw de mogelijkheid om de milieu impact van de bouw en infra sector te verlagen. Dit komt omdat bomen CO_2 opslaan tijdens het groeiproces. Door de opslag van CO_2, zal naar verwachting nauwelijks CO_2-heffing op houten materialen worden toegepast. Dit kan zelfs lijden tot een negatieve waarde op de MPG-berekening. Echter, de capaciteit en de kwaliteit van het bosbeheer dient geanalyseerd te worden als een houtenrevolutie ontstaat in de sector. Factoren van het capaciteit en de kwaliteit van het bosbeheer zijn afhankelijk van: duurzaam bosbeheer, materiaalstromen hout en het gebruik van hoogwaardige houtproducten.

2.0 Welke gemodificeerde houtbouw materialen/ producten zijn beschikbaar op de markt en welke eigenschappen zijn hieraan verbonden?

Om een overzichtelijk antwoord op bovenstaande vraag te leveren, is gebruik gemaakt van een tabelvorm. Deze tabel is hieronder weergegeven:

Massieve houtproducten				
materiaalsoort				
afk.	naam	constructieve toepassing	volumieke massa	eigenschappen
Glulam	Glue Laminated Timber (gelamineerd hout)	• kolommen • liggers • spanten	380 t/m 450 kg/m³	•Glulam is sterker en stijver dan massief hout, dit komt door het lamineren. •Glulam richt zich op krachten evenwijdig aan de vezelrichting, hierdoor is dit goed belastbaar op buiging en normaalkracht. •De sterkte neemt af als het vochtgehalte stijgt.
CLT	Cross Laminated Timber (kruislaags hout)	• vloeren • daken • (stabiliteits)wanden	420 kg/m³	•CLT-panelen kunnen in twee richtingen krachten afdragen. •CLT heeft bijna geen last van krimp, uitzet of vervorming, dit komt doordat hout in tangentiële richting het meest wil vervormen. Bij CLT zijn de lagen kruislings verlijmd waardoor de tangentiële richting divers is. Daarnaast houdt vezelrichting loodrecht op de tangentiële richting, welke zeer sterk is, de vervorming tegen. •In sterkte en stijfheid kan CLT vergeleken worden met beton. •De sterkte is afhankelijk van de hoek tussen de spanningen en de vezelrichting, hierdoor is het een orthotroop materiaal. •De sterkte neemt af als het vochtgehalte stijgt.
NLT	Nail Laminated Timber	• vloeren • daken • wanden	420 kg/m³	•NLT richt zich op krachten evenwijdig aan de vezelrichting, hierdoor is het goed belastbaar op buiging en normaalkracht. •NLT is niet geschrikt voor constructiecomponenten welke laterale krachten dienen op te nemen (schijfwerking). •De spreiding van krachten haaks op de vezel dienen extra gecontroleerd te worden, bijvoorbeeld bij sparingen en puntlasten. •Door het variëren van balkhoogtes kan akoestiek voordeel behaald worden. •De lengte kan vergroot worden door de houten balken in verband aan elkaar te geschroeven of gespijkeren. De kopse kanten van de balken worden niet aan elkaar verbonden.
DLT	Dowel Laminated Timber	• vloeren • daken • wanden	420 kg/m³	•DLT richt zich op krachten evenwijdig aan de vezelrichting, hierdoor is het goed belastbaar op buiging en normaalkracht. •DLT is niet geschrikt voor constructiecomponenten welke laterale krachten dienen op te nemen (schijfwerking). •De spreiding van krachten haaks op de vezel dient extra gecontroleerd te worden, bijvoorbeeld bij sparingen en puntlasten •Door het frezen van sleuven in de balken kan akoestiek voordeel behaald worden. •De kopse kanten van de houten balken worden door middel van vingerlassen verbonden als lange elementen vereist zijn. •Kleine uitkragingen in de zwakke richting zijn mogelijk indien het paneel wordt versterkt met schroeven. Het paneel wordt getoetst door middel van vakwerkanalogie.
LVL	Laminated Veneer Lumber	• kolommen (LVL-P) • liggers (LVL-P) • spanten (LVL-P) • vloeren (LVL-C) • daken (LVL-C) • (stabiliteits)wanden (LVL-C)	510 kg/m³	•LVL heeft homogene eigenschappen, dit komt door kwaliteitscontrole van de fineerlagen en door het effect van de verlijming. Door de strenge controle is ook de sterkteklasse van de fineerlagen constant. •LVP-P heeft hogere sterkte en stijfheidseigenschappen dan LVL-C. Dit komt doordat bij LVL-C enkele gekruiste lagen niet meegenomen kunnen worden. •Bij overige massieve houtmaterialen bijvoorbeeld Glulam, is de variatie van sterkte- en stijfheidseigenschappen tussen de 12-20% en bij LVL is dit lager dan 10%. Hierdoor is de veiligheidsfactor van LVL lager dan bij Glulam. •Ondanks het hoge percentage lijm, valt LVL onder houtafvalcategorie. Dit moet gecontroleerd worden per producent van LVL. •LVL kan door zijn hoge sterkte relatief dun worden uitgevoerd. De verkoolsnelheid van LVL is vergelijkbaar met overige massieve houtproducten. Hierdoor dienen extra maatregelen worden getroffen in verband met brandwerendheid. •LVL wordt voornamelijk geproduceerd van zachte houtsoorten, als een hogere sterkte gewenst is, kan LVL ook geproduceerd worden van hardhout.
PSL	Parallel Strand Lumber	• kolommen • liggers	720 kg/m³	•Door de kwaliteitscontrole tijdens de productie van de fineerstroken, heeft PSL net als LVL voorspelbare sterkte- en stijfheidseigenschappen. •PSL heeft geen gemeenschappelijke productiestandaard/ ontwerpwaardes, hierdoor moet in een vroeg stadium in het ontwerpproces voor een leverancier gekozen worden. •PSL wordt voornamelijk toegepast in lichte houtbouw. •PSL kan niet als gebogen constructiecomponenten worden toegepast.
LSL	Laminated Strand Lumber	• stijlen (HSB-wanden) • Balken	720 kg/m³	•Door de kwaliteitscontrole tijdens de productie van de strengen, heeft LSL net als LVL voorspelbare sterkte- en stijfheidseigenschappen. •LSL wordt voornamelijk toegepast in lichte houtbouw. •LSL kan niet als gebogen constructiecomponenten worden toegepast. •LSL is een kosteneffectieve oplossing voor stijl en regelwerk en houtenvloerbalken. De sterke- en stijfheidseigenschappen zijn over het algemeen lager dan bij LVL.
HSB*	Houtskeletbouw	• balken • stijlen • wanden • vloeren • daken	380 t/m 450 kg/m³	•Wanden, vloeren en daken kunnen figureren als schijfvormige elementen. Om een schijfvormig element te realiseren zorgt de beplating voor de schijfwerking in het vlak en de balken stijlen en sporen voor sterkte en stijfheid uit het vlak. •Houten stijlen, balken en regels worden met sterkte klasse C en D aangegeven. Klasse C is voor naaldhoutsoorten (meest voorkomend) en klasse D is voor loofhoutsoorten. •Houtskeletbouw heeft een laag eigen gewicht. •De totale wandopbouw van HSB-wanden is relatief slank en opzichte van traditionele- en massieve houtbouw. Dit komt doordat de isolatie in de constructieve wand verwerkt kan worden. Wel dient aandacht te worden besteed aan dampremmende en dampopen lagen. •De isolatiewaarde dient gereduceerd te worden door de onderbrekingen ter plaatse van de houten stijlen en regels. •Gevelopeningen worden gerealiseerd door middel van interne lateien (houten regels).
* HSB is geen massief houtbouw product. HSB is meegenomen voor de vergelijking.				

Binnen Europa wordt tot op heden de volgende houtbouwproducten toegepast:

- Glulam (gelamineerd hout)
- CLT (Kruislaags hout)
- LVL (Laminated Veneer Lumber)
- HSB (Houtskeletbouw/ gezaagd hout)

3.0 Welke referentieprojecten op gebied van houtbouw zijn beschikbaar en welke ontwikkeling/ kennis is relevant voor het onderzoek?

Er zijn talloze diverse referentieprojecten op het gebied van houtbouw ter beschikking. De gebruikte referentieprojecten in dit onderzoek zijn: HAUT, Patch 22, Mjøstårnet, WOODIE Hamburg, Kea Boumanstraat, Triodos Bank, Wood Innovation and Design Centre en Klein Amsterdam. Deze projecten fluctueren van het gebied van: gebouw afmetingen, bouwmethode, constructie elementen, materialisatie en gebruiksfunctie.

Binnen het onderzoek naar referentieprojecten zijn diverse onderdelen opgevallen. Deze zijn hieronder gesommeerd en toegelicht:

- Over de hele wereld worden houtbouwprojecten uitgevoerd. De koplopers hiervan zijn: Noord-Amerika, Scandinavische landen en Duitsland.
- Uit de referentieprojecten is gebleken dat bouwwerken waar houtconstructies worden toegepast als volgt zijn opgebouwd: onderbouw en eventuele plint uitgevoerd in beton en de bovenbouw is uitgevoerd in hout met eventuele stabiliteitsvoorzieningen van beton en/of staal.
- Voor laagbouw tot 5 bouwlagen worden veelvuldig geprefabriceerde elementen of gehele modules van houtconstructies toegepast. Dit heeft een positieve invloed op de bouwtijd op locatie. Bij modulaire bouwconstructies wordt de stabiliteit ontleend aan de modules zelf of aan externe stabiliteitsvoorzieningen (windverbanden of kernen).
- Reguliere hoogbouw tot 90 m kan door middel van houtconstructies worden uitgevoerd. Ten behoeve van de stabiliteit wordt vaak een betonnen kern toegepast. In enkele gevallen wordt de stabiliteit ontleend aan een volledige houtconstructie. Echter, de profiel grootte welke hierbij toegepast dient te worden is dusdanig groot dat de efficiëntie en haalbaarheid ter discussie kan komen te staan.
- Zeer hoge hoogbouw 100m +, is nog niet te bereiken met houtconstructies. Hier zijn wel plannen voor in de toekomst, maar de technische uitwerking ontbreekt.
- Op het gebied van verbindingen worden voornamelijk stalen koppelingen (schetsplaten, hoekstalen en kopplaten) toegepast.

4.0 Hoe wordt geconstrueerd met houtconstructies?

Uit de referentieprojecten, boeken en internetartikelen is informatie gewonnen op het gebied van construeren met hout. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen gemodificeerde houtbouw en houtskeletbouw.

In het hoofdstuk is gemodificeerde houtbouw eerst behandeld. Hieronder is puntsgewijs belangrijke informatie gesommeerd over construeren met gemodificeerde houtbouw:

- In een beknopt onderzoek is onderzocht waarom constructieve platen alleen worden uitgevoerd in CLT en LVL-C en waarom liggers, kolommen en portalen worden uitgevoerd in Glulam, LVL-P en gezaagd hout. Dit heeft te maken met de tangentiele krimp- en uitzettingsrichting, sterkte eigenschappen hout en de geometrie.
- Portalen kunnen worden ingezet ten behoeve van verticale afdracht en als stabiliserend element. Tijdens het construeren van portalen in hout dient gekeken te worden naar de verbindingsmogelijkheden tussen kolom en ligger. De verschillende mogelijkheden zijn vermeld in hoofdstuk 4.1.2.
- De constructieve uitvoering van balkons kan bij gemodificeerde houtbouw op verschillende manieren worden ontworpen. Dit verschilt van uitkragen, ophangen tot externe constructies. De thermische ontkoppeling dient als belangrijk aandachtspunten tijdens het construeren van het balkon.
- De stabiliteit in gemodificeerde houtbouw constructies kan ontleend worden aan CLT, LVL-C of door het gebruik van hybride systemen. De uitwerking van de stabiliserende elementen is erg project afhankelijk. De verschillende mogelijkheden zijn vermeld in hoofdstuk 4.1.3.
- Verbindingen worden vaak uitgevoerd met behulp van stalen platen. In hoofdstuk 4.1.4 wordt per soort verbinding aangegeven welke mogelijkheden de markt te bieden heeft.

Vervolgens is houtskeletbouw onderzocht. Hieronder is puntsgewijs belangrijke informatie gesommeerd over construeren met houtskeletbouw:

- HSB wordt voornamelijk toegepast bij lage woningbouw tot 6 bouwlagen, verbouwingen en optoppingen.
- Houtbouw staat bekend als een lichte bouwmethode. Houtskeletbouw is lichter dan gemodificeerde houtbouw constructies.
- Bij HSB worden relatief kleine overspanning toegepast. Als grotere overspanningen gewenst zijn, is de overweging om gemodificeerde houtbouwelementen toe te passen.
- Gemodificeerde houtbouw en HSB zijn minder gunstig voor de warmteaccumulatie. HSB elementen zijn relatief gevoeliger voor temperatuurwisselingen dan gemodificeerde houtbouw. Dit heeft invloed op het thermisch comfort.
- De stabiliteit bij houtskeletbouw wordt voornamelijk ontleend aan de plaatmaterialen die bouwwerken van schijfwerking voorziet. Echter, er dient aandacht besteed te worden aan de berekening met de verbinding tussen het plaatmateriaal en het stijl- en regelwerk.

5.0 Hoe wordt gerekend aan houtconstructies?

In hoofdstuk 5 staat het rekenen aan houtconstructies centraal. Het hoofdstuk is opgedeeld in het constructief, bouwfysisch en brand-technisch rekenen.

Constructief rekenen:

- Eurocode 5 is de leidraad voor het constructief rekenen aan houtconstructies, echter is CLT niet volledig opgenomen in de huidige Eurocode. Hedendaags wordt gebruik gemaakt van ontwerptabellen en doorsnede eigenschappen van CLT. Om aan Eurocode 5 te voldoen met het rekenen van CLT constructies wordt gebruik gemaakt van de mechanisch verbonden ligger methode.
- De mechanische eigenschappen zijn afhankelijk van factoren: vochtgehalte, materiaalsoort, tijd en afmetingen van hout.
- De mechanische eigenschappen van hout zijn per (vezel) richting verschillend. Per materiaalsoort zijn de mechanische eigenschappen terug te lezen in hoofdstuk 5.1.2.
- Voor kruislaagshout worden enkel de lagen evenwijdig aan de vezel meegenomen.

Bouwfysisch rekenen:

- Thermisch
  - De Rc-waarde van gemodificeerde houtconstructies zijn te bepalen doormiddel van de formule $R_m = d/\lambda$. Bij houtskeletbouw dienen de koudebruggen van de houtstijlen meegerekend te worden.
  - Gemodificeerde houtbouw heeft een redelijke warmteaccumulatie door de hoge soortelijke warmte van hout. Bij houtskeletbouw is dit niet het geval.
- Akoestisch
  - De relatieve lichte houtconstructies zijn gevoelig voor geluidshinder.
  - Akoestische problemen kunnen opgelost worden door ontkoppelingen, isolatie en het verhogen van massa.
  - Akoestische weerstanden zijn te bepalen door middel van testen en berekeningen (NEN 5077) of aan de hand van producteigenschappen van leveranciers.

Brand-technisch rekenen:

- Brand-technische eigenschappen kunnen worden bepaald aan de hand van twee methodes:
  - 1. Gereduceerde materiaaleigenschappen methoden. Deze methode is complex en wordt niet verder toegelicht.
  - 2. Gereduceerde doorsnede methode. Waarbij de effectieve doorsnede na brandtijd bepaald wordt.
- De inbranddieptes d_{char} wordt bepaald aan de hand van de inbrandsnelheid.
- De bepaling van de 'pyrolysed zone' d_0 staat ter discussie in verschillende onderzoeken. In de norm (NEN 1995-1-2) wordt 7 mm aangehouden, terwijl onderzoeken en testen hebben uitgewezen dat deze waarden niet conservatief en te gunstig is.
- Door de holle wand opbouw bij houtskeletbouw kan brandoverslag in verticale richting plaatsvinden door de schoorsteenwerking. Door middel van horizontale onderbrekingen zal dit risico gereduceerd worden.
- Bij brand geldt een buitengewone belastingcombinatie, welke staat vermeld in hoofdstuk 5.3.

7.0 Literatuurlijst

Abrahamsen, R. (2017). *Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building.* Geraadpleegd op 28 januari 2021, van https://www.forum-holzbau.ch/pdf/31_IHF2017_Abrahamsen.pdf

Adviesbureau Lüning. (z.d.). *Hoofdkantoor Triodos bank Driebergen-Rijsenburg | Lüning - Ingenieurs in houtconstructies.* Geraadpleegd op 29 januari 2021, van https://www.luning.nl/projecten/kantoren/hoofdkantoor-triodos-bank-driebergen-rijsenburg.aspx

Berkel, A. (z.d.). *Houtskeletbouw: Bouwkundig detailleren - details bouwkunde.* Geraadpleegd op 28 februari 2021, van https://berkela.home.xs4all.nl/draagstructuur/houtskeletbouw.html

Blok, R. (2014). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen* (10 herzien editie). Amersfoort, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Bouten, L. (2020, 17 augustus). *Forse groei huisvestingstekort; een analyse van oorzaken en oplossingen.* Geraadpleegd op 4 februari 2021, van https://kafrahousing.com/blog/2020/04/24/forse-groei-huisvestingstekort-een-analyse-van-oorzaken-en-oplossingen/#top

Bouw Magazine. (2020, 19 mei). *55% minder milieulast door demontabel bouwen.* Geraadpleegd op 4 februari 2021, van https://www.bouwmagazine.nl/55-minder-milieulast-door-demontabel-bouwen/

Bronsvoort, E., Veldboer, T., te Slaa, A., & Kaptein, T. (2020*). Bouwen aan een houten.* Geraadpleegd op 28 februari 2021, van https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5fdb7e3e69a4b8a7cc2c7203_20201217%20-%20COP%20Houtbouw%20-%20report%20-%20210x297mm.pdf

Canadian Wood Council. (z.d.). *Wood Innovation and Design Centr.* Geraadpleegd op 26 januari 2021, van http://www.wooddesignandbuilding.com/wp-content/uploads/2017/04/WoodInnovationandDesignCentre-WEB.pdf

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2019, 28 november). *Meeste oppervlakteleegstand bij kantoren en winkels.* Geraadpleegd op 5 februari 2021, van https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/48/meeste-oppervlakteleegstand-bij-kantoren-en-winkels#:%7E:text=In%202019%20was%20de%20leegstand,neer%20op%20ongeveer%20vijfhonderd%20voetbalvelden.

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021, 28 januari). *Ruim 69 duizend nieuwbouwwoningen in 2020.* Geraadpleegd op 4 februari 2021, van https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/04/ruim-69-duizend-nieuwbouwwoningen-in-2020#:%7E:text=In%202020%2C%202019%20en%202018,en%207%20530%20nieuwbouwwoningen%20gebouwd

Centrum Hout. (2013 december). *Bos & milieu.* Geraadpleegd op 2 januari 2021, van https://www.houtinfo.nl/sites/default/files/Bos-en-Milieu_Bomen_dec2013_0.pdf

Chorlton, B., & Gales, J. (2020). *Mechanical Performance of Laminated Veneer Lumber and Glulam Beams after Short-Term Incident Heat Exposure.* Geraadpleegd op 5 februari 2021, van https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120129

De Architect. (2016, 8 september). *ARC16: PATCH22 – FRANTZEN et al.* Geraadpleegd op 27 januari 2021, van https://www.dearchitect.nl/projecten/arc16-patch22-frantzen-et-al-2

De Ceukelaire, E., & van Peer, W. (2016, april). *Hout 6.2 Houtskeletbouw. Constructiv.* Geraadpleegd op 5 februari 2021, van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiVzMarh_buAhUYP-wKHXe5BfMQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fservice.buildingyourlearning.be%2Fapi%2Fv1%2FDownloadFiles%3FlearningObjectVersionId%3D21111%26directoryName%3D22_4633_21111%26fileName%3DN247HO_Houtskeletbouw_for_web.pdf%26isReferrer%3Dtrue&usg=AOvVaw251RE8lUVCx3EmlEmgpVwj

De Groot Vroomshoop Groep. (z.d.). *Modulinn® Het modulaire huisvestingsconcept van De Groot Vroomshoop.* Geraadpleegd op 29 januari 2021, van https://degrootvroomshoop.nl/wp-content/uploads/2020/11/DGV_Brochure_Modulinn_Online.pdf

Derix. (z.d.). *Gelamineerde houtconstructies – Toepassing van het materiaal voor grote overspanningen.* Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.derix.de/data/Gelamineerde_houtconstructies_Derix_NL.pdf

Derix. (2017). *Verleimte Ingenieurholz-Produkte.* Derix. Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjbmr2tm_buAhXH2qQKHY-hAsQQFjAKegQIBhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.derix.de%2Fdata%2FDerix_Produktbr._2017_RZ_WEB.pdf&usg=AOvVaw2mYDYYMBKAGCtkXyXXhGCX

Derix. (2020). *X-LAM - kruislaaghout.* Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.derix.de/data/DERIX_X_Lam_Brosch_NL_2020_02_WEB.pdf

Duurzaam Gebouwd. (2015, 1 december). *"Kies voor flexibel, gezond en comfortabel".* Geraadpleegd op 4 februari 2021, van https://www.duurzaamgebouwd.nl/expertpost/20151201-kies-voor-flexibel-gezond-en-comfortabel

European Commission. (2016, 23 november). *Climate strategies & targets.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en

Fourth door. (z.d.). *Unstructured 9 extra.* Geraadpleegd op 28 januari 2021, van http://www.fourthdoor.co.uk/unstructured/unstructured_09/extra/x_box.php

Hannema, K. (2016, 26 oktober). *Woon-werkgebouw Patch22.* Geraadpleegd op 27 januari 2021, van https://www.architectuur.nl/project/woon-werkgebouw-patch22/

Hooper, E. (2015, 24 april). *Innovative Detail: Wood Innovation and Design Centre.* Architect Magazine. https://www.architectmagazine.com/technology/detail/innovative-detail-wood-innovation-and-design-centre

iF World Design Guide. (z.d.). *WOODIE Hamburg.* Geraadpleegd op 28 februari 2021, van https://ifworlddesignguide.com/entry/232848-woodiehamburg

International Energy Agency and the United Nations Environment Programme. (2018). *2018 Global Status Report: towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector (978-92-807-3729-5). Auteur*. Geraadpleegd op 28 februari 2021, van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi04cn-kfPuAhXE-qQKHW6eADcQFjABegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.worldgbc.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2018%2520GlobalABC%2520Global%2520Status%2520Report.pdf&usg=AOvVaw1EZg97s1YMkQELdG2rIzsw

Joost de Vree. (z.d.). *warmtegeleidingscoefficient lambda.* Geraadpleegd op 16 februari 2021, van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/warmtegeleidingscoefficient.htm

Kingspan. (2020, 11 november). *BENG, BbL en NTA8800: nieuwe bepalingsmethode voor energieprestatie van gebouwen per 1 januari. Kingspan | Nederland.* https://www.kingspan.com/nl/nl-nl/producten/geisoleerde-sandwichpanelen/nieuws/2020/beng-bbl-en-nta8800-nieuwe-bepalingsmethode-voor

J.P. van Eesteren. (2018, 18 december). *Houthoogbouw HAUT van start.* Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.jpvaneesteren.nl/nl/actueel/houthoogbouw-haut-van-start

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). (z.d.). *KNMI - Broeikaseffect.* Geraadpleegd op 1 februari 2021, van https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/broeikaseffect

Kuipers-van Gaalen, I. M., Zeegers, A., & van der Linden, A. C. (2016). *Bouwfysica (8e druk).* Amersfoort, Nederland: ThiemeMeulenhoff.

Leys, A. J. (z.d.). *How is carbon stored in trees and wood products?* Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi40aSRi_PuAhUI_6QKHd7iAlEQFjABegQICBAD&url=http%3A%2F%2Fforestlearning.edu.au%2Fimages%2Fresources%2FHow%2520carbon%2520is%2520stored%2520in%2520trees%2520and%2520wood%2520products.pdf&usg=AOvVaw0XTopA-Qy5locKuXJXuyoi

Martin, Y., Eeckhout, S., Lassoire, L., Winnepenninckx, E., & Deschoolmeester, B. (2017). *Brandveiligheid van gevels van gebouwen met meerdere verdiepingen.* Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=BRANDVEILIGHEID_VAN_GEVELS.pdf&lang=nl%20

Mayr Melnhof Holz. (z.d.-a). *MM Crosslam. ARCON houtconstructies.* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van https://arcon-houtconstructies.nl/wp-content/uploads/ARCON-MM-crosslam_ENG.compressed_V2.pdf

Mayr Melnhof Holz. (z.d.-b*). MM Masterline. MM Holz.* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/202003_Produktbroschueren/101__MMmasterline__ENG__2020__01__digital.pdf

MEESVISSER. (2019, 31 oktober). *Kea Boumanstraat.* Geraadpleegd op 29 januari 2021, van https://www.meesvisser.com/portfolio-item/kea-boumanstraat/

MetsäWood. (z.d.-a). *Carbon storage*. Geraadpleegd op 2 februari 2021, van https://www.metsawood.com/global/news-media/articles/Pages/carbon-storage.aspx

MetsäWood. (z.d.-b). *The world's tallest wooden building.* Geraadpleegd op 28 januari 2021, van https://www.metsawood.com/global/news-media/references/Pages/Mjosa-Tower-worlds-tallest-wood-building.aspx

MetsäWood. (z.d.-c). *The world's tallest wooden building.* Geraadpleegd op 28 januari 2021, van https://www.metsawood.com/global/news-media/references/Pages/Mjosa-Tower-worlds-tallest-wood-building.aspx

MetsäWood. (z.d.-d). *Wood products.* Geraadpleegd op 4 februari 2021, van https://www.metsawood.com/global/Products/Pages/Products.aspx

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2021, 8 februari). *55% minder uitstoot: Vele routes met 'Bestemming Parijs'.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://www.klimaatakkoord.nl/actueel/nieuws/2021/02/05/55-minder-uitstoot-vele-routes-met-%E2%80%98bestemming-parijs%E2%80%99

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2018*). Transitieagenda Bouw. Rijksoverheid.* Geraadpleegd van https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/01/15/bijlage-4-transitieagenda-bouw/bijlage-4-transitieagenda-bouw.pdf

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020a, 22 januari). *Klimaatverandering en gevolgen.* Geraadpleegd op 1 februari 2021, van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/gevolgen-klimaatverandering

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020b, 16 september). *Klimaatbeleid.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020c, 21 september). *Nederland circulair in 2050.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050

Naturally Wood. (z.d.). *Mass Timber's Mass Appeal.* Geraadpleegd op 26 januari 2021, van https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/Wood-in-Commercial-and-Industrial-Buildings.pdf

NEN. (2011). NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011. NEN Connect, 1–144. https://www.nen.nl/nen-en-1995-1-1-c1-a1-2011-nb-2013-nl-183519

NEN. (2019). NEN-EN 1990+A1:2006+A1:2006/C2:2019 Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp. NEN, 1–122. https://www.nen.nl/nen-en-1990-a1-a1-c2-2019-nb-2019-nl-252522

NENMagazine. (2020). Herziening Eurocodes voor constructieve veiligheid. Geraadpleegd op 26 januari 2021, van https://nenmagazine.nen.nl/nenmagazine-2-2020/eurocodes/?_ga=2.264121870.362846364.1613116237-276957727.1568119856

Oldenburger, J., Reichgelt, A., Boosten, M., Penninkhof, Y., Teeuwen, S., Kemers, J., & van Benthem, M. (2020). *Meer hoogwaardig gebruik van Nederlands hout. Probos.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://probos.nl/images/pdf/rapporten/hoogwaardig-houtgebruik.pdf

Pieters Bouwtechniek. (z.d.). *Patch22.* Geraadpleegd op 26 januari 2021, van https://www.pietersbouwtechniek.nl/projecten/patch22

Platform CB'23. (z.d.). *Documenten*. Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://platformcb23.nl/aan-de-slag/2019-documenten

Quiqureo, H., Chorlton, B., & Gales, J. (2018). *Performance of Adhesive in Glulam after Short Term Fire Exposure.* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/4031-performance-of-adhesives-in-glulam-after-short-term-fire-exposure.pdf

RAU architecten. (2020, 28 mei). *Triodos Bank Nederland.* Geraadpleegd op 26 januari 2021, van https://www.rau.eu/portfolio/triodos-bank-nederland/

Redactie ArchitectuurNL. (2019, 21 maart). *Hoogste houten gebouw staat in Noorwegen.* Geraadpleegd op 28 januari 2021, van https://www.architectuur.nl/nieuws/hoogste-houten-gebouw-staat-in-noorwegen/

Schmid, J., König, J., & Köhler, J. (2010). F*IRE-EXPOSED CROSS-LAMINATED TIMBER – MODELLING AND TESTS.* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van https://www.researchgate.net/publication/228445300_Fire-exposed_cross-laminated_timber-modelling_and_tests

SeARCH. (z.d.). *Klein Amsterdam.* Geraadpleegd op 29 januari 2021, van https://search.nl/#!content/klein-amsterdam

Sherpa. (z.d.). *Design guide timber connection systems.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://www.sherpa-connector.com/data/Sherpa/download/032020_Bemessungsguide_EN_web.pdf

Solid Timber. (2017, 28 april). *Overspanningstabel CLT*. Geraadpleegd op 3 februari2021, vanhttp://solidtimber.nl/wp-content/uploads/2019/09/Overspanningstabel-CLT-2017-04-28.pdf

Spierings, T., & Amerongen, P. R. (2011). Jellema - Draagstructuur Deel 3 (3de editie). Amersfoort, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Steurer, A. (2006). *Developments in Timber Engineering: The Swiss Contribution (1ste editie).* Basel, Zwitserland: Birkhäuser Architecture.

Stora Enso. (z.d.-a). *CLT by Stora Enso Technical brochure.* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf

Stora Enso. (z.d.-b). *LVL by Stora Enso Technical brochure.* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/lvl-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf

Silva, V. (2020, 16 november). *Universal Design Quarter in Hamburg/ Sauerbruch Hutton.* Geraadpleegd op 28 januari 2021, van https://www.archdaily.com/944258/universal-design-quarter-in-hamburg-sauerbruch-hutton?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev

Team V Architectuur. (2020, 23 november). *Haut.* Geraadpleegd op 26 januari 2021, van https://teamv.nl/projecten/haut/

Tripathi, J., & Rice, W. (2017, oktober). *Thermal Condutivity Values for Laminated Stand Lumber and Spruce for Use in Hybrid Cross-laminated Timber Panals. Bio Resources.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2017/10/BioRes_12_4_8827_Tripathi_Rice_Therm_Conduct_Values_Laminat_Spruce_CLT_Panel_12246.pdf

van der Lugt, P., & Harsta, A. (2020). *Tommorrow's Timber*. Nederland: MaterialDistrict.

van der Velde, O., & van Leeuwen, M. (2019). *Potentie van biobased materialen in de bouw (148.0001.19.06.011). NIBE Research bv.* Geraadpleegd van https://www.nibe.org/assets/images/content/user/files/148.0001%20-%20Tekst%20potentie%20biobased%20materialen%20in%20de%20bouw%20def.pdf

Vos, M., Yildiz, B., Jackson, G., & van den Berg, J. (2021, januari). *Handleiding CLT voor architecten en bouwkundigen. Inbo.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://www.inbo.com/uploads/nieuws/clt_handleiding_voor_architecten_en_bouwkundigen_1.pdf

Wageningen University & Research. (z.d.). *Oorzaken klimaatverandering.* Geraadpleegd op 1 februari 2021, van https://www.wur.nl/nl/artikel/Oorzaken-klimaatverandering-1.htm

Wallner-Novak, M., Koppelhuber, J., & Pock, K. (2014, november). *Cross-Laminated Timber Structural Design. pro Holz.* Geraadpleegd op 3 februari 2021, van http://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/crosslaminatedtimber/files/assets/common/downloads/publication.pdf

Wonen in Hout. (2020, 18 juni). P*refab CLT panelen (Cross Laminated Timber)*. Geraadpleegd op 3 februari 2021, van https://woneninhout.nl/prefab-clt-panelen-cross-laminated-timber/

Bijlage 2: Plan van Aanpak

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Plan van Aanpak

Bijlage 2



In het plan van aanpak wordt de grondslag gelegd voor het afstudeeronderzoek.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inleiding

In het plan van aanpak staat vermeld waar wij, de afstudeerstudenten, ons het komend halfjaar mee bezig zullen houden. Het plan geeft houvast aan het totaalproces en geeft de doelstelling helder weer. Het geeft een chronologisch inzicht in de taken, activiteiten, afbakening, kwaliteitsbewaking en de projectorganisatie.

Het plan van aanpak is opgesteld aan de hand van het boek 'Projectmanagement'.

Dit plan van aanpak wordt opgesteld in samenwerking met Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau, hierna te noemen 'Croes' en begeleiders van de Hogeschool Arnhem en Nijmegen, hierna te noemen 'HAN'.

Arnhem, april 2021

Bob van Alst & Stijn van den Broek

Inhoudsopgave

Inleiding 2
1.0 Achtergrond 4
1.1 Aanleiding van het onderzoek 4
1.2 Voorstudie 6
1.3 Definiëren probleemstelling 7
2.0 Projectresultaat 8
2.1 Doel van het onderzoek 8
2.2 Omschrijving van het onderzoeksresultaat 8
2.3 Deelvragen 9
3.0 Onderzoeksmethode en activiteiten 10
4.0 Onderzoek grenzen 11
4.1 Onderzoek lengte 11
4.2 Projectbreedte 11
4.3 Competenties 12
5.0 Tussenresultaten 12
6.0 Kwaliteit 13
6.1 Uniformiteit 13
6.2 Controle/Terugkoppeling 13
6.3 Extern advies 13
6.4 Normen en technieken 14
7.0 Projectorganisatie 14
7.1 Organisatie 14
7.2 Informatie 15
7.3 Coördinatie 15
8.0 Planning 16
9.0 Kosten en baten 16
9.1 Kosten 16
9.2 Baten 16
10.0 Risico's 17
10.1 Interne risico's 17
10.2 Externe risico's 17
11.0 Literatuurlijst 18
Bijlagen 20
Bijlage 1: Template Word 20
Bijlage 2: Template PowerPoint 21
Bijlage 3: Persoonlijk ontwikkelingsplan 22
Bijlage 4: Urenstaat 36
Bijlage 5: Planning course 15 en 16 37
Bijlage 6: Recente cijferlijst uit Alluris 39

1.0 Achtergrond

In dit hoofdstuk wordt georiënteerd op het probleem voor het onderzoek. Hierin komt de aanleiding van het onderzoek, voorstudie en definiëren probleemstelling aan bod.

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Klimaatontwikkelingen in relatie met houtbouw

Door menselijke handelingen op aarde komen broeikasgassen vrij in de atmosfeer. Door het vrijkomen van deze gassen ontstaat een klimaatverandering (impact op het milieu), waardoor de zeespiegel en de temperatuut stijgt op aarde. Kooldioxide (CO_2) is hiervan een belangrijke factor. Om de klimaatveranderingen te beheersen heeft Nederland naast vele andere landen het VN-klimaatakkoord ondertekend in Parijs. Het doel van Nederland is hierdoor om in 2050 95% minder CO_2 uit te stoten ten opzichte van 1990. Om dit doel te behalen zal de huidige bouwwijze in de bouw- en infrasector moeten veranderen. De winning van beton en staal veroorzaakt namelijk een aanzienlijk aandeel, 14% van de totale CO_2 uitstoot door de mens.

Ook zal in de loop van tijd metalen grondstoffen opraken. Door de doelstellingen in 2050 van het klimaatakkoord is vanaf begin dit jaar 2021 een CO_2-heffing geïntroduceerd op productieprocessen in Nederland. Hierdoor zal de kostprijs van gewapend beton stijgen tot 34 % en staal met 14% in 2030. Ook heeft de woningcrisis invloed op de CO_2 uitstoot. Door deze crisis zullen in de komende jaren meer huizen gebouwd moeten worden, met minder uitstoot.

Door deze ontwikkelingen biedt houtbouw de mogelijkheid om de milieu impact van de bouw en infra sector te verlagen. Dit komt omdat bomen CO_2 opslaan tijdens het groeiproces. Door de opslag van CO_2, zal naar verwachting nauwelijks CO_2-heffing op houten materialen worden toegepast. Dit kan zelfs lijden tot een negatieve waarde op de MPG-berekening. Echter, de capaciteit en de kwaliteit van het bosbeheer dient geanalyseerd te worden als een houtenrevolutie ontstaat in de sector. Factoren van het capaciteit en de kwaliteit van het bosbeheer zijn afhankelijk van: duurzaam bosbeheer, materiaalstromen hout en het gebruik van hoogwaardige houtproducten.

Toekomstbestendig ontwerpen

Om de doelstellingen van het klimaatakkoord in 2050 te behalen zal er een transitie gemaakt moeten worden naar een circulaire economie. Dit gaat gepaard met circulaire ontwerpprincipes voor het ontwerpproces van projecten. Een van de circulaire ontwerpprincipes is ‘ontwerp voor meerdere levenscycli’. De handelingsperspectieven voor ontwerpers bij dit ontwerpprincipe zijn *(Rijkswaterstaat & Witteveen Bos, 2018)*:

- Ontwerp voor deconstructie op object- of componentniveau en/of recycling op materiaalniveau
- Ontwerp modulair voor de uitwisselbaarheid van objecten, componenten en materialen (standaardisatie en harmonisatie)
- Ontwerp voor verplaatsbaarheid
- Ontwerp voor toepassing in andere functies

In Nederland speelt er sinds de laatste jaren een leegstand van panden. Dit geldt voornamelijk voor kantoorpanden waarbij 3,3 miljoen vierkante meter of te wel 6% administratief leeg staan. Ook 6% van de bouwwerken met een winkelfunctie staan leeg. Het ombouwen van de leegstaande panden naar woningen blijkt in praktijk vaak lastig. De panden blijken niet geschikt voor de woonfunctie of de projecten zijn financieel niet haalbaar. Dit vraagt naar een toekomstbestendige ontwerpmethodiek.

Binnen de betonketen is er een Betonakkoord getekend met partners binnen de organisatie. Het Betonakkoord houdt zich sector breed bezig voor de verduurzaming van beton. Om dit doel te behalen hebben partners van het Betonakkoord een Bouwwaardemodel opgesteld. Binnen het Bouwwaardemodel wordt er nagedacht over Circulair Ontwerpen. Jack van der Palen, architect bij Archiview en Regisseur Uitvoeringsteam Circulair Ontwerpen *(Palen, 2020)* zegt hierover: ''Gebouwen moeten zodanig worden ontworpen dat na het eerste gebruik ook andere functies mogelijk zijn. Dit bereik je door simpeler en functievrij te ontwerpen, verleng je de levensduur van een gebouw. Sloop een gebouw pas wanneer je er geen functie meer kunt onderbrengen''.

Industrialisatie van de bouwsector

Door ontwikkelingen in de samenleving is de bouwsector aan het industrialiseren. De ontwikkelingen zijn:

<u>Vraag en aanbod:</u>
De bouwproductie is zeer afhankelijk van de conjunctuur. Uit eerdere crises in de bouw is gebleken dat de werkgelegenheid sterkt daalt en vervolgens bij een stijgende economie personeel te kort is voor de vraag naar bouwproductie. In 2021 wordt verwacht dat de werkgelegenheid daalt door de stikstofcrisis. Echter, de EIB (Economisch Instituut voor de Bouw) verwacht in 2022-2024 een sterkte groei in de werkgelegenheid doordat de stikstofmaatregelen geïmplementeerd zullen zijn in de dan heersende manier van bouwen.

<u>Woningnood:</u>
Nederland kampt met een woningnood. Dit probleem is ontstaan tijdens de dotcomcrisis in 2002, waarbij het aantal nieuwbouwwoningen daalde van de gestreefde 100 duizend per jaar naar 66 duizend. Ook had de bevolkingsgroei en het stijgende gebrek aan bouwlocaties een negatieve invloed op het aantal beschikbare woningen. Om in 2022 het woningentekort op te lossen dienen 625 duizend woningen te worden gebouwd. Komende jaren zal dit verder oplopen tot zeker 1 miljoen nieuwe woningen.

Om de industrialisatie van de bouwsector mogelijke te maken, zijn verschillende partijen elementen- en/of moduleconcepten aan het ontwikkelen.

Utiliteitsbouw

Tot op heden wordt de hoofdraagconstructie van utilitaire gebouwen uitgevoerd in beton en staal. Door de doelstellingen van het klimaatakkoord en de vraag vanuit ontwikkelaars en opdrachtgevers zal het materiaalgebruik aangepast moeten worden om de CO_2 uitstoot te reduceren. Het bouwen met biobased materialen biedt toekomst voor de vraag van ontwikkelaars/opdrachtgevers en voor de doelstellingen van het klimaatakkoord.

Hout is een biobased materiaal. Echter, er blijkt binnen de Nederlandse bouwsector een kennisachterstand aanwezig met betrekking tot houtbouw.

1.2 Voorstudie

Het concretiseren van de hoofdvraag werd als zeer lastig ervaren. De geringe kennis met betrekking tot houtbouw was hier een grote oorzaak van. Met deze reden is besloten om, voorafgaande aan het afstudeeronderzoek, een relatief uitgebreide voorstudie op te zetten.

Het doel van deze voorstudie is het opdoen van beschikbare kennis welke toepasbaar en bruikbaar is voor het afstudeeronderzoek. Met deze opgedane kennis werd verwacht dat het opstellen van een concrete onderzoeksvraag voorspoediger zal verlopen.

Voorafgaande aan de voorstudie zijn deelvragen opgesteld waarover de afstudeerders meer kennis wilde vergaren. Hieronder staan de deelvragen vermeld met de bijbehorende conclusies welke relevant zijn voor het algehele onderzoek.

Deelvragen voorstudie/literatuuronderzoek:

- Wat is de relatie tussen houtbouw en het milieu?
- Welke houtbouw materialen/producten zijn beschikbaar op de markt en welke eigenschappen zijn hieraan verbonden?
- Welke referentieprojecten op gebied van houtbouw zijn beschikbaar en welke ontwikkeling/ kennis is relevant voor het onderzoek?
- Hoe wordt geconstrueerd met houtconstructies?
- Hoe wordt gerekend aan houtconstructies?

Aan de hand van de voorstudie is veel algemene kennis over houtbouw opgedaan en is meer inzicht gekregen in de onderzoeksmogelijkheden. Daarnaast is tijdens het maken van het vooronderzoek een deelvraag ontstaan welke cruciaal is voor het afbakenen van onderzoeksvraag:

Welke geïndustrialiseerde bouwmethode in combinatie met gemodificeerd of gezaagd hout is het best geschikt voor de utilitaire houtbouw met betrekking tot de bouw- en exploitatiefase en de levensduur?

Deze vraag diende voorafgaande aan het afstudeeronderzoek beantwoord te worden. Dit is gedaan met de kennis welke is opgedaan gedurende de voorstudie.

Het antwoord van de afstudeerders op de vraag is verwoord als een visie gebaseerd op feitelijke informatie:

Gezaagd hout is toepasbaar en financieel aantrekkelijk bij kleine overspanningen en kleine bouwwerken. Het kan bijvoorbeeld goed worden toegepast bij woningbouw. Dit kan unieke architectuur beslaan of als modulus worden toegepast voor kleine woonbouwwerken.

Voor de utiliteitsbouw is ontwerpen met behulp van modulus minder praktisch. De grootte van de modules is namelijk afhankelijk van het transport. Hierdoor kunnen geen grote overspanningen worden toegepast wat ten koste van de vrij-indeelbaarheid kan gaan. Daarnaast is een utiliteitsgebouw lastig te beperkten tot een moduleconcept door de projectspecificatie. Bij utiliteitsbouw zijn losse elementen met grotere overspanningen uitgevoerd in gemodificeerd hout beter toepasbaar, ook ten behoeve van hogere bouwwerken. Het toepassen van elementen zal ook een gunstige invloed hebben op het aantal transportbewegingen.

Verder is het financieel en met het oog op de milieu-impact aantrekkelijk om voornamelijk, waar mogelijk, te ontwerpen in holle houtbouw elementen of modules. Deze holle constructieve elementen kunnen bestaande uit gezaagd en gemodificeerd hout.

Besluiten voor de afbakening van het onderzoek aan de hand van de, gedurende het vooronderzoek, opgedane kennis:

Het afstudeeronderzoek zal zich richten op een geïndustrialiseerd houten elementenconcept, met een maximale vloerhoogte van 13 meter *t.o.v. maaiveld,* voor de utiliteitsbouw waarbij functie-flexibiliteit centraal staat.

Toelichting:

De eis van de maximale vloerhoogte van 13 meter t.o.v. maaiveld is afkomstig van brandeisen. Wanneer aan deze hoogte wordt voldaan, dient het bouwwerk te voldoen aan 90 minuten brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de constructie. Bij hogere bouwwerken wordt 120 minuten aangehouden.

De vragen of remontabel of functie-flexibel ontwerpen en of modulebouw of elementenbouw beter toekomstbestendig is, zijn tijdens de voorstudie niet beantwoord. De voornamelijk reden hiervoor is het ontbreken van relevante literatuur. Tijdens de afbakening is besloten om voor functie-flexibel elementenconcept te kiezen. Deze keuze zal worden geverifieerd met de gedachtegang van de bouwsector middels een enquête en interviews in het veldonderzoek.

1.3 Definiëren probleemstelling

Utiliteitsbouw wordt hedendaags voornamelijk uitgevoerd in beton en staal. In de afgelopen tijd speelt de milieu-impact (stikstof en CO_2) een steeds belangrijkere rol door het klimaatakkoord in de Europese Unie. Door het gebrek aan kennis en ervaring binnen onder andere het construeren met hout, loopt Nederland achter op het gebied van houtbouw ten opzichte van landen met een grote houtproductie bijvoorbeeld: Duitsland, Oostenrijk en Scandinavische landen. Daarnaast ligt de traditionele manier van ontwerpen en bouwen in Nederland onder de loep. Dit komt door het klimaatakkoord, de woningnood en door leegstaande panden. Tevens is de markt bezig met het industrialiseren en prefabriceren van de bouwsector door het gebrek aan uitvoerend personeel en ten behoeve van snel en betaalbaar bouwen. Door deze ontwikkelingen in de bouwsector wordt een ontwerp- en bouwmethode gezocht waarbij de uitvoering, het gebruik en de fase na einde levensduur in relatie met toekomstbestendigheid en duurzaamheid centraal staat.

Hieruit volgt de volgende hoofdonderzoeksvraag van het afstudeeronderzoek:

‘Welke realistische mogelijkheden met betrekking tot de hoofddraagconstructie voor bouwwerken uitgevoerd in hout zijn toepasbaar voor een utilitair functie-flexibel geïndustrialiseerd elementenconcept?’

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden is een concrete afbakening noodzakelijk. De afbakening wordt beschreven in hoofdstuk: *4.0 Projectgrenzen.*

2.0 Projectresultaat

2.1 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is het ontwerpen van een houtbouw elementenconcept waarbij functievrijheid centraal staat voor bouwwerken tot een vloerhoogte van 13 meter. Dit doel wordt bereikt door een constructief en installatietechnisch concept op te stellen binnen een tijdsbestek van circa 16 weken. Binnen dit ontwerp wordt voornamelijk gekeken naar de constructieve eigenschappen van het elementenconcept. Het doel wordt meetbaar door zowel constructieve en bouwbesluit-technische eisen. Het doel is opgesteld door de hierboven in hoofdstuk 1.1: *Aanleiding* genoemde probleemstelling en aandachtspunten voor de bouw in Nederland. Daarnaast is het doel realistisch omdat er voldoende kennis is over houtbouw om dit concept te realiseren. Het doel is verdeeld in taken die over de circa 14 weken zijn verdeeld, zie hoofdstuk: *8.0 Planning*.

2.2 Omschrijving van het onderzoeksresultaat

Het projectresultaat zal het proces naar en het antwoord op de hoofdvraag weergeven. Dit resultaat wordt opgeleverd in de vorm van een onderzoeksrapport inclusief bijlages. Dit onderzoeksrapport zal ongeveer 12500 woorden omvatten, wat overeenkomt met circa 30 pagina's bevatten, exclusief bijlages. De bijlages zullen geformuleerd worden conform onderstaande toelichting. Hieronder worden de bijlages van het rapport beschreven:

- Voorstudie
- Veldonderzoek toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodiek
- Eisen voor een functie-flexibele ontwerpmethodiek
- Stramienmaten van utilitaire gebouwen
- Installatieconcept
- Constructieve uitwerking van het elementenconcept
- Brochure met realistische varianten

Bovenstaande bijlages worden verder toegelicht in hoofdstuk *5.0 Tussenresultaten*.

2.3 Deelvragen

Hieronder worden de deelvragen van het onderzoek beschreven. Deze worden beantwoord door middel van het uitvoeren van de projectactiviteiten en worden beschreven in de eindrapportage van het afstudeeronderzoek. De hoofdvraag is vastgesteld in hoofdstuk 1.3. Definiëren probleemstelling.

Om de hoofdvraag goed te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

Fase 1: Voorstudie

Zie 1.2 Voorstudie voor de deelvragen die zijn opgesteld en beantwoord ter voorbereiding van het concretiseren van het afstudeeronderzoek.

Fase 2: Veldonderzoek (Literatuuronderzoek)

Tijdens het opstellen van de hoofdvraag heeft een afbakening plaatsgevonden aan de hand van opgedane kennis gedurende de voorstudie. Deze afbakening bestaat uit aannames welke aan de hand van deelvragen worden geëvalueerd en ter discussie worden gesteld.

2.1 Welke conclusie kan getrokken worden met betrekking tot het besluit om een functie-flexibele ontwerpmethodiek en een elementenconcept bouwmethode toe te passen in relatie met de resultaten van het veldonderzoek?

2.2 Welke conclusie kan getrokken worden met betrekking tot de aanname van de toegepaste gebruiksfuncties in relatie met de resultaten van het veldonderzoek?

Fase 3: Ontwerpen concept

3.1 Aan welke eisen dient een utilitair bouwwerk te voldoen bij een functie-flexibele ontwerpmethodiek?

3.2 Welke stramienmaten dienen toegepast te worden om aan de functie-flexibiliteit voor utilitaire bouw te voldoen?

3.3 Welk installatieconcept dient toegepast te worden om aan de functie-flexibiliteit voor utilitaire bouw te voldoen?

3.4 Welke constructieve overzichtsvarianten inclusief materialisatie en dimensionering zijn toepasbaar voor een utilitair functie-flexibel geïndustrialiseerd elementenconcept?

3.0 Onderzoeksmethode en activiteiten

In onderstaande tabel wordt per deelvraag beschreven welke onderzoeksmethode wordt toegepast en welke activiteiten daarbij uitgevoerd worden.

Deel-vraag	Onderzoeksmethode	Activiteiten
1.1	Literatuuronderzoek *(Exploratief onderzoek)*	Aan de hand van een voorstudie met deelvragen.
2.1	Veldonderzoek *(Massaonderzoek)*	Aan de hand van een enquête en interviews wordt de gedachtegang van de bouwsector inzichtelijk gemaakt. Binnen dit veldonderzoek worden de volgende onderdelen opgenomen: • Vooronderzoek naar onderzoeksmethodieken. • Enquête opstellen voor gedachtegang van de bouwsector over het onderwerp en resultaten verwerken • Interview opstellen en interviews verwerken • Genomen besluiten evalueren ten aanzien van resultaten veldonderzoek
2.2	Veldonderzoek *(Massaonderzoek)*	
3.1	Literatuuronderzoek *(Exploratief onderzoek)*	Onderzoek naar bouwbesluiteisen van verschillende functies, zoeken naar onderzoeken over functie-flexibel bouwen
3.2	Literatuuronderzoek *(Inventarisatieonderzoek)*	Een onderzoek waarin referentieprojecten met verschillende gebruiksfuncties worden geïnventariseerd met betrekking tot de stramienmaten
3.3	Literatuuronderzoek *(Exploratief en toetsend onderzoek)*	Installatieconcepten inventariseren en beoordelen op bruikbaarheid. Bepalen installatielocatie reservering.
3.4	Literatuuronderzoek *(Toegepast onderzoek)*	Opstellen en beoordelen van constructieve overzichtsvarianten (longlist→shortlist). Constructief uitwerken inclusief toetsen op sterkte en stijfheid mogelijke varianten. Doormiddel van een waardeanalyse keuze bepalen 'beste' opties. Uiteindelijk gekozen varianten toetsen aan verbindingen en mogelijke sparingen/ verjongingen.

Tabel 1 – Onderzoeksmethodieken en activiteiten, (1).

4.0 Onderzoek grenzen

4.1 Onderzoek lengte

Het onderzoek zal gedurende de periode 1 februari 2021 tot en met 18 juni 2021 worden uitgevoerd. Hierbij wordt fulltime (40 uur per week) aan het onderzoek gewerkt. Hieronder vallen de voorstudie, veldonderzoeken, onderzoeksactiviteiten, het rapporteren en het verdedigen van het onderzoek.

4.2 Projectbreedte

Dit onderzoek kan als breed worden omschreven. Hierbij is een duidelijk afbakening noodzakelijk. Dit onderzoek beperkt zich tot de constructieve en deels bouwtechnische uitwerking van het elementenconcept. Hieronder wordt verder toegelicht wat de grenzen van het onderzoek zijn:

- Elementenconcept:
  - Het elementen concept beperkt zich tot een maximale vloerhoogte van 13 meter t.o.v. maaiveld.
  - Het concept wordt niet getoetst op brand. De aanname is dat de constructie 90 min. brandwerend wordt bekleed.
  - Binnen het onderzoek vallen onderstaande onderdelen:
    - Bouwbesluit: Hoofdstuk 2: 2.1 algemene sterkte bouwconstructie
      - Niet hierboven benoemde onderdelen van het bouwbesluit worden niet meegenomen in het onderzoek.
  - De brochure voor het elementenconcept beperkt zich tot:
    - Welke functies toepasbaar zijn, dimensies concept, ontwerpmogelijkheden en de randvoorwaardes van het concept.
- Functie-flexibel ontwerpen:
  - Binnen de functieflexibiliteit worden onderstaande gebruiksfuncties toegepast: woonfunctie, bijeenkomstfunctie, gezondheidszorgfunctie, kantoorfunctie, logiesfunctie, onderwijsfunctie, sportfunctie en winkelfunctie.
  - De gebruiksfuncties die geen deel uitmaken van dit onderzoek zijn: celfunctie, industriefunctie, overige gebruiksfunctie en bouwwerk geen gebouw zijnde.
  - In het deelonderzoek: *Toekomstbestendig ontwerp- en bouwmethodieken* worden de gebruiksfuncties ter discussie gesteld.
- Constructieve aspecten:
  - De varianten worden getoetst op sterkte en stijfheid.
  - Bij 'realistische' varianten worden de verbindingen tussen ligger-vloer, kolom-kolom en ligger-kolom constructief beschouwd.
  - Bij de 'realistische' varianten worden horizontale sparingsmogelijkheden beschouwd.
  - De stabiliteitsmogelijkheden worden beschreven in de rapportage in hoofdstuk 4.5 *Stabiliteit* en vervolgens in de brochure. Dit wordt verder niet constructief getoetst.
  - De fundering wordt niet beschouwd in dit onderzoek. In de brochure wordt enkel vermeld hoeveel belasting op de onderbouw wordt afgedragen per bouwlaageenheid. Het uitgangspunt is dat het concept op een stabiele ondergrond gefundeerd kan worden. Hiermee wordt ook de begane grondvloer bedoeld.
  - De aannames die worden gedaan voor de constructieve toetsing dienen tijdens de toetsing toegelicht te worden. Bijvoorbeeld: belastingen en beperkingen van de constructie.
- Installatietechnische aspecten:

- Het onderzoek beperkt zich tot een conceptgedachte waarbij de hoogte en positie beschikbaar voor installaties worden bepaald.

4.3 Competenties

Binnen dit afstudeeronderzoek wordt verwacht dat drie opleiding-specifieke competenties en twee algemene HBO competenties worden afgerond op niveau drie bachelor. Hieronder staat beschreven welke competenties worden afgerond binnen dit afstudeeronderzoek:

Opleiding specifieke competenties:

- C01: Initiëren en sturen
- C02: Ontwerpen
- CO3: Specificeren
- C06: Monitoren, toetsen en evalueren

Algemene HBO competenties:

- C07: Onderzoeken
- C08: Communiceren en samenwerken
- C09: Managen en innoveren

Binnen hoofdstuk 3: *Onderzoeksmethode en activiteiten* wordt vermeld welke activiteiten er worden uitgevoerd voor de bepaalde competenties. Binnen Bijlage 3: *Persoonlijk ontwikkelingsplan* wordt per afstudeerder vermeld welke competenties op niveau drie behaald dienen te worden en wordt vermeld hoe dit behaald wordt.

5.0 Tussenresultaten

Tijdens het onderzoek worden diverse deelresultaten behaald. Deze worden in dit kopje benoemd en toegelicht.

- Voorstudie
  - In deze bijlage wordt informatie vermeld met betrekking tot de omgestelde deelvragen
- Veldonderzoek toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodiek
  - Resultaat van het veldonderzoek
  - Evaluatie genomen besluiten
- Eisen voor een functie-flexibele ontwerpmethodiek
  - Een eisentabel waaraan het elementenconcept moet voldoen
- Stramienmaten van utilitaire gebouwen
  - Het resultaat is een stramienplan voor functie-flexibel ontwerpen
- Installatieconcept
  - Een installatieconcept voor het elementconcept
- Constructieve uitwerking van het elementenconcept
  - Toe te passen constructieve varianten inclusief materialisatie, dimensionering, verbindingen en sparingsmogelijkheden
- Brochure
  - Brochure met realistische mogelijkheden voor het elementenconcept

6.0 Kwaliteit

6.1 Uniformiteit

Voor een verzorgt rapportage speelt de uniformiteit van het opstellen en verwerken van gegevens/tekeningen een grote rol. Ook hangt dit indirect samen met de kwaliteit van het rapportage. Met deze reden zullen afspraken gemaakt worden over de kwaliteit en de manier van weergeven van informatie en het tekenwerk. Deze afspraken worden hieronder beschreven.

Template: voor Word- en PowerPoint bestanden zijn basisbestanden aangemaakt met titels, koppen, kopteksten, namen, logo's en andere basisinformatie. Deze dienen bij elke bijlagen rapportage of presentatie gebruikt te worden. In *bijlage 1: Template Word* en *bijlage 2: Template PowerPoint* staan de basisbestanden weergegeven.

6.2 Controle/Terugkoppeling

Al het werk dient door de afstudeerpartner kritisch te worden bekeken en beoordeeld. Hierbij kunnen opmerkingen gemaakt worden waar beide afstudeerstudenten achter staan. Dit zal leiden tot een betere kwaliteit van de producten.

6.3 Extern advies

HAN

Tijdens het afstudeeronderzoek zal per 2 weken met de afstudeerbegeleider(s) worden overlegd. Hierin wordt de voorgang van het onderzoek besproken en kan advies gevraagd worden.

Croes

Tijdens het afstudeeronderzoek zal per 2 weken contact worden gelegd met de bedrijfsbegeleider(s). Ook hierin wordt de voorgang van het onderzoek besproken en kunnen vragen gesteld worden.

Overige instanties

Mocht het van toepassing zijn om overige instanties te contacteren, zal dit ook worden gedocumenteerd. Dit kan bijvoorbeeld verdiepende informatie betreffen welke van belang is voor het onderzoek.

Algemene afspraken t.b.v. extern advies

- Afhankelijk van de coronamaatregelen dient bepaald te worden of bovengenoemde activiteiten op locatie mogelijk is of dat dit digitaal plaats zal vinden.
- Deze gesprekken worden vastgelegd middels een notulen.
- Het ontvangen advies zal, wanneer relevant, worden verwerkt tijdens het onderzoek en zal beschreven worden in de procesmap.

6.4 Normen en technieken

Tijdens het onderzoek worden gebruik gemaakt van diverse normen, eisen en technieken.

Onder de normen worden het Bouwbesluit en de Eurocodes verstaan. Indien andere normen van toepassing zijn, wordt dit expliciet vermeld in het rapport.

Onder de technieken wordt de documentatie-, teken- en rekensoftware verstaan. Hieronder wordt vermeld met welke software verwacht gewerkt te worden. Indien andere software van toepassing is, wordt dit expliciet vermeld in het rapport.

Documentatiesoftware:
- Word
- PowerPoint
- Excel
- BlueBeam
- Adobe Acrobat
- PDF-XChange Editor

Tekensoftware:
- AutoCAD
- Revit
- WhiteBoard
- SketchUp

Rekensoftware:
- Excel
- Xframe 2D
- Technosoft
- RFEM/AxisVM
- QEC
- CLT designer
- FinnWood

7.0 Projectorganisatie

7.1 Organisatie

De organisatie binnen het onderzoek bestaat uit afstudeerders en afstudeerbegeleiders. Hieronder is weergegeven wat de taakverdeling is van de betrokken personen en partijen.

Studenten:

Naam:	Bob van Alst	Stijn van den Broek
Studentnmr.:	619803	600216
E-mailadres:	BGJ.vanAlst@student.han.nl	S.vandenBroek4@student.han.nl

Begeleiders HAN

Naam:	Ellen Rutgers	Ruben Onstein
Afkorting:	RGSE	OSNRC
E-mailadres:	Ellen.rutgers@han.nl	Ruben.onstein@han.nl
Functie:	Docent Bouwkunde	Docent Bouwkunde/ Civiel
Taak:	Afstudeerbegeleider 1	Afstudeerbegeleider 2

Begeleiders Croes

Naam:	Maarten Braem	Friso Janssen
E-mailadres:	mbr@croes.nl	fj@croes.nl
Functie:	Constructeur	Register Constructeur

7.2 Informatie

Bronvermelding

Bronnen vermelden volgens APA richtlijnen. Deze worden verwerkt in het rapportage met behulp van de site Scribbr.nl. De wijze van vermelden is verwerk in bijlage 1: *Template Word*

Rapporteren

Om het onderzoeksrapport tijdig te rapporteren is de visie van de afstudeerders dat er na elk tussenresultaat het benodigde stuk binnen het rapport wordt uitgewerkt en gerapporteerd. Hierdoor loopt het onderzoek en rapportage parallel en zal de afrondende fase spoediger verlopen om tot een goed eindresultaat te komen. Beide afstudeerders maken deel uit van de rapportage. Om deze rapportage tot een goed einde te leiden is ook per week op de vrijdag een moment ingedeeld om deelopdrachten en rapporteren van tussenresultaten uit te werken. Hierdoor houden de afstudeerders de balans tussen onderzoeken en informatie verwerken op peil.

Het rapport zal worden geschreven volgens de volgende schijfwijze:

- Actieve tegenwoordige tijd
- Lijdende vorm

Archiveren

De opslag van de gemaakte producten zal worden gerealiseerd in een OneDrive-omgeving verkregen door het account van de HAN. Hierbij is het van belang dat de versies goed beheerd worden zodat altijd in de meest recente versie gewerkt wordt. Hierin zal de communicatie tussen groepsgenoten via Whatsapp ook een grote rol spelen.

Het onderzoeksrapport wordt ingeleverd door deze te uploaden op de site ephorus.com. Vervolgens wordt het eindrapport verstrekt aan de afstudeerbegeleiders en een externe beoordelaar.

7.3 Coördinatie

Vergaderen

Binnen hoofdstuk: *6.3 Extern advies* staat vermeld dat elke 2 weken een overleg plaatsvindt tussen de afstudeerstudenten en Croes en tussen de afstudeerstudenten en de HAN. Deze gesprekken zullen om en om plaatvinden, waardoor er per week een voortgangsgesprek wordt gehouden. Deze zullen middels een notulen worden vastgelegd. De afstudeerstudenten zullen deze vergaderingen voorbereiden middels een agenda en ingezonden stukken.

Urenstaat

De afstudeerstudenten zullen een urenstaat bijhouden per week. Deze zal conform bijlage 3: *Urenstaat*. Binnen deze bijlage staat vermeld hoeveel gewerkte uren en welke werkzaamheden er plaatsgevonden hebben per week per afstudeerder.

Procesmap

Binnen het afstudeeronderzoek wordt er een procesmap bijgehouden. Hierin zowel onderzoek-gerelateerd als persoonlijk-gerelateerd proces vermeld en toegelicht. De procesmap moet de volgende bijlages bevatten:

- Agenda's en notulen vergaderingen
- Tijdplanning en urenstaten
- Groepsreflectie
- POP reflecties individueel
- Bedrijfsbeoordeling
- Projectsamenvatting voor ABC-jaarboek

Absentie
Wanneer een afstudeerder niet aanwezig kan zijn bij een bepaalde activiteit dient dit tijdig medegedeeld en besproken met de afstudeerbegeleiders. In enkele gevallen kunnen hier uitzonderingen voor worden gemaakt.

Persoonlijk Ontwikkelings Plan (POP)
Per afstudeerder dient er voor het plan van aanpak een persoonlijk ontwikkelingsplan beschreven te worden. Door gezamenlijke interesses zijn deze samen opgenomen binnen één POP. Binnen de POP worden de beoogde leerdoelen in combinatie met bijbehorende competenties toegelicht, daarbij wordt ook beschreven hoe deze leerdoelen behaald gaan worden. Dit wordt vermeld in bijlage 3: *Persoonlijk Ontwikkelingsplan.*

8.0 Planning
Om een indicatie te krijgen in de beschikbare tijd voor het afstudeeronderzoek is een planning opgesteld. Deze is vermeld in bijlage 5: *Planning course 15 en 16.* Hierin wordt toegelicht welke activiteiten worden uitgevoerd en wordt er een tijdsperiode aan toegekend. Deze planning is gemaakt vanaf het definitieve plan van aanpak.

9.0 Kosten en baten
9.1 Kosten
Uren
Per afstudeerder wordt er ongeveer 40 per week gewerkt aan het afstudeeronderzoek. Deze uren zijn gebaseerd op de volgende activiteiten: projectactiviteiten, vergaderingen, rapporten, presenteren, procesmap en overige zaken.

Materiaal
Voor het afstudeeronderzoek is een juiste literatuurstudie van noodzaak. Dit gaat gepaard met correcte bronnen. Voor het afstudeeronderzoek zijn diverse boeken beoogd die het resultaat van het onderzoek positief kan beïnvloeden. Binnen deze boeken is actuele houtbouw informatie beschreven en worden houtbouwmethodieken toegelicht. Om te voorkomen dat in dit onderzoek soortgelijke onderwerpen worden onderzocht als in de beschikbare literatuur, wordt relevante informatie verwerkt in het vooronderzoek. De boeken zullen geleend worden bij de bibliotheek van de HAN. Ontbrekende relevante boeken kunnen eventueel besteld worden via de HAN.

9.2 Baten
Kennis en ervaring
Na dit afstudeeronderzoek is de kennis over houtconstructies, gebruiksfunctievrij ontwerpen en modulen en elementen gericht bouwen vergroot. Binnen de opleiding bouwkunde wordt weinig aandacht besteed aan houtconstructies. Door middel van dit afstudeeronderzoek wordt deze kennis aangevuld. Binnen de politieke en ecologische ontwikkelingen in Nederland en wereldwijd zal deze opgedane kennis en ervaring van pas komen nabijgelegen toekomst.

Studiepunten
Naast de opgedane kennis en ervaring levert dit afstudeeronderzoek ook de benodigde 30 studiepunten op om de HBO bachelor bouwkunde te behalen.

10.0 Risico’s

10.1 Interne risico’s

Hieronder worden de interne risico’s beschreven die voor kunnen komen binnen het onderzoek:

- Te weinig diepgang binnen het onderzoek;
- Te weinig tijd voor het onderzoek;
- Onvoldoende relevante bronnen;
- Internationale bronnen;
- In-concreet eindresultaat;
- Afwezigheid betrokken personen of partijen;
- Onervarenheid in houtbouwconstructies;
- Onervarenheid op het gebied van installatiemodule concepten;
- Verschillende ambities binnen de afstudeergroep.

10.2 Externe risico’s

Hieronder worden de externe risico’s beschreven die voor kunnen komen binnen het onderzoek:

- Onvoorziene omstandigheden;
- Thuiswerken en dergelijke beperkingen i.v.m. Covid-19;
- Eventuele herkansingen Minor Creatief Construeren;
- Onduidelijke projectgrenzen/afbakening.

11.0 Literatuurlijst

Betonakkoord. (z.d.). *Het Betonakkoord*. Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.betonakkoord.nl/betonakkoord/

Bouten, L. (2020, 17 augustus). *Forse groei huisvestingstekort; een analyse van oorzaken en oplossingen.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://kafrahousing.com/blog/2020/04/24/forse-groei-huisvestingstekort-een-analyse-van-oorzaken-en-oplossingen/

Capelleveen, D. (2019, 28 maart). *Meer houtbouw nodig om CO2-uitstoot te reduceren.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/duurzaamheid/meer-houtbouw-nodig-co2-uitstoot-te-reduceren/

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2019, 28 november). *Meeste oppervlakteleegstand bij kantoren en winkels.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/48/meeste-oppervlakteleegstand-bij-kantoren-en-winkels#:%7E:text=In%202019%20was%20de%20leegstand,neer%20op%20ongeveer%20vijfhonderd%20voetbalvelden.

De Bouwcampus. (2020, 24 juni). *Verkenningsbijeenkomst Hout in Utiliteitsbouw.* Geraadpleegd op 8 maart 2021, van https://debouwcampus.nl/bestanden/transitietrajecten/Hout_in_Hoogbouw/documenten/verslag_materialenmettoekomst-houtinutiliteit_24062020.pdf

Grit, R. (2014). *Projectmanagement incl. toegang tot Prepzone* (7de editie). Groningen, Nederland: Noordhoff.

Hoogendoorn, M. L. (2020, 5 augustus). *Kantoren steeds vaker oplossing voor woningnood: 'zonde hoeveel er leegstaat'.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.ad.nl/wonen/kantoren-steeds-vaker-oplossing-voor-woningnood-zonde-hoeveel-er-leegstaat~ad74f362/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Koster, K. (2020, 12 oktober). *Industrialisatie: kant-en-klare oplossing voor maatschappelijke vraagstukken?* Geraadpleegd op 8 maart 2021, van https://www.bouwendnederland.nl/actueel/nieuws/14473/industrialisatie-kant-en-klare-oplossing-voor-maatschappelijke-vraagstukken

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2018, 16 januari). *Transitieagenda Bouw.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/01/15/bijlage-4-transitieagenda-bouw

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020, 21 september). *Nederland circulair in 2050.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050

Paling, R. (2020, 2 april). *Woningnood: 'Nederland heeft nog een Rotterdam nodig'.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.vastgoedmarkt.nl/projectontwikkeling/nieuws/2020/04/woningnood-nederland-heeft-nog-een-rotterdam-nodig-101152968?io_source=www.google.com&_ga=2.183561766.1089190453.1609668367-1784811264.1578841997

Probos. (z.d.). *Meer houtbouw in Nederland.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.probos.nl/projecten/duurzame-ketens/1625-meer-houtbouw-in-nederland

Redactie content marketing. (2020, 20 oktober). *Bouwwaardemodel helpt betonketen bij circulair denken.* Geraadpleegd op 3 januari 2021, van https://www.dearchitect.nl/techniek/artikel/2020/10/bouwwaardemodel-helpt-betonketen-bij-circulair-denken-101254299

Stichting Economisch Instituut voor de Bouw. (2020 november). *Trends op de bouwarbeidsmarkt.* Geraadpleegd op 8 maart 2021, van https://www.eib.nl/pdf/Trends%20op%20de%20bouwarbeidsmarkt%20%202020-2024.pdf

Stichting Economisch Instituut voor de Bouw & Metabolic. (2020 januari). *Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw.* Geraadpleegd op 8 maart 2021, van https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2020/02/Rapport-Materiaalstromen-in-de-woning-en-utiliteitsbouw-klein.pdf

Tissink, A. (2020, 23 september). *Kruislaaghout genoeg, maar wie weet hoe je ermee moet bouwen?* Geraadpleegd op 8 maart 2021, van https://www.cobouw.nl/duurzaamheid/nieuws/2020/03/hout-is-er-genoeg-maar-wie-weet-hoe-je-er-mee-moet-ontwerpen-en-bouwen-101282370

Vollebregt, B. (2020, 23 januari). *De bouwsector maakt een pas op de plaats.* Geraadpleegd op 8 maart 2021, van https://www.trouw.nl/nieuws/de-bouwsector-maakt-een-pas-op-de-plaats~b1d0d78e/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Bijlagen

Bijlage 1: Template Word

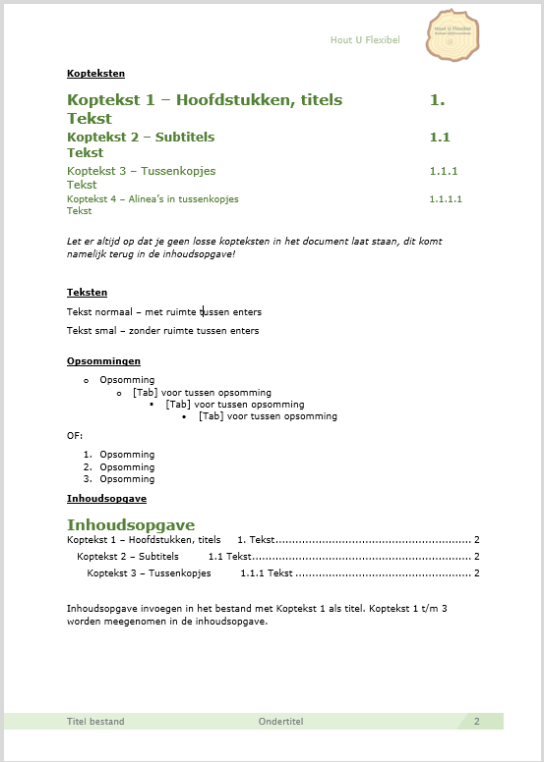

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 3-3-2021

Titel bestand

Ondertitel

Toelichting bestand
Toelichting bestand

Namen	Bob van Alst Stijn van den Broek	619803 600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein	
Begeleiders Croes	Maarten Braem, Friso Janssen	


Hout U Flexibel

Kopteksten

Koptekst 1 – Hoofdstukken, titels 1.
Tekst
Koptekst 2 – Subtitels 1.1
Tekst
Koptekst 3 – Tussenkopjes 1.1.1
Tekst
Koptekst 4 – Alinea's in tussenkopjes 1.1.1.1
Tekst

Let er altijd op dat je geen losse kopteksten in het document laat staan, dit komt namelijk terug in de inhoudsopgave!

Teksten

Tekst normaal – met ruimte tussen enters

Tekst smal – zonder ruimte tussen enters

Opsommingen

- Opsomming
  - [Tab] voor tussen opsomming
    - [Tab] voor tussen opsomming
      - [Tab] voor tussen opsomming

OF:

1. Opsomming
2. Opsomming
3. Opsomming

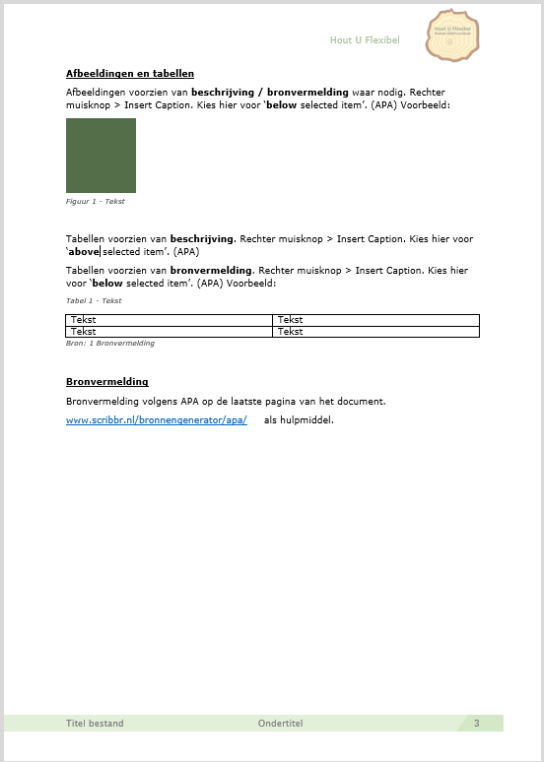
Inhoudsopgave

Inhoudsopgave

Koptekst 1 – Hoofdstukken, titels 1. Tekst 2
Koptekst 2 – Subtitels 1.1 Tekst 2
Koptekst 3 – Tussenkopjes 1.1.1 Tekst 2

Inhoudsopgave invoegen in het bestand met Koptekst 1 als titel. Koptekst 1 t/m 3 worden meegenomen in de inhoudsopgave.

Titel bestand Ondertitel 2


Hout U Flexibel

Afbeeldingen en tabellen

Afbeeldingen voorzien van **beschrijving / bronvermelding** waar nodig. Rechter muisknop > Insert Caption. Kies hier voor '**below** selected item'. (APA) Voorbeeld:

Figuur 1 - Tekst

Tabellen voorzien van **beschrijving**. Rechter muisknop > Insert Caption. Kies hier voor '**above** selected item'. (APA)

Tabellen voorzien van **bronvermelding**. Rechter muisknop > Insert Caption. Kies hier voor '**below** selected item'. (APA) Voorbeeld:

Tabel 1 - Tekst

Tekst	Tekst
Tekst	Tekst

Bron: 1 Bronvermelding

Bronvermelding

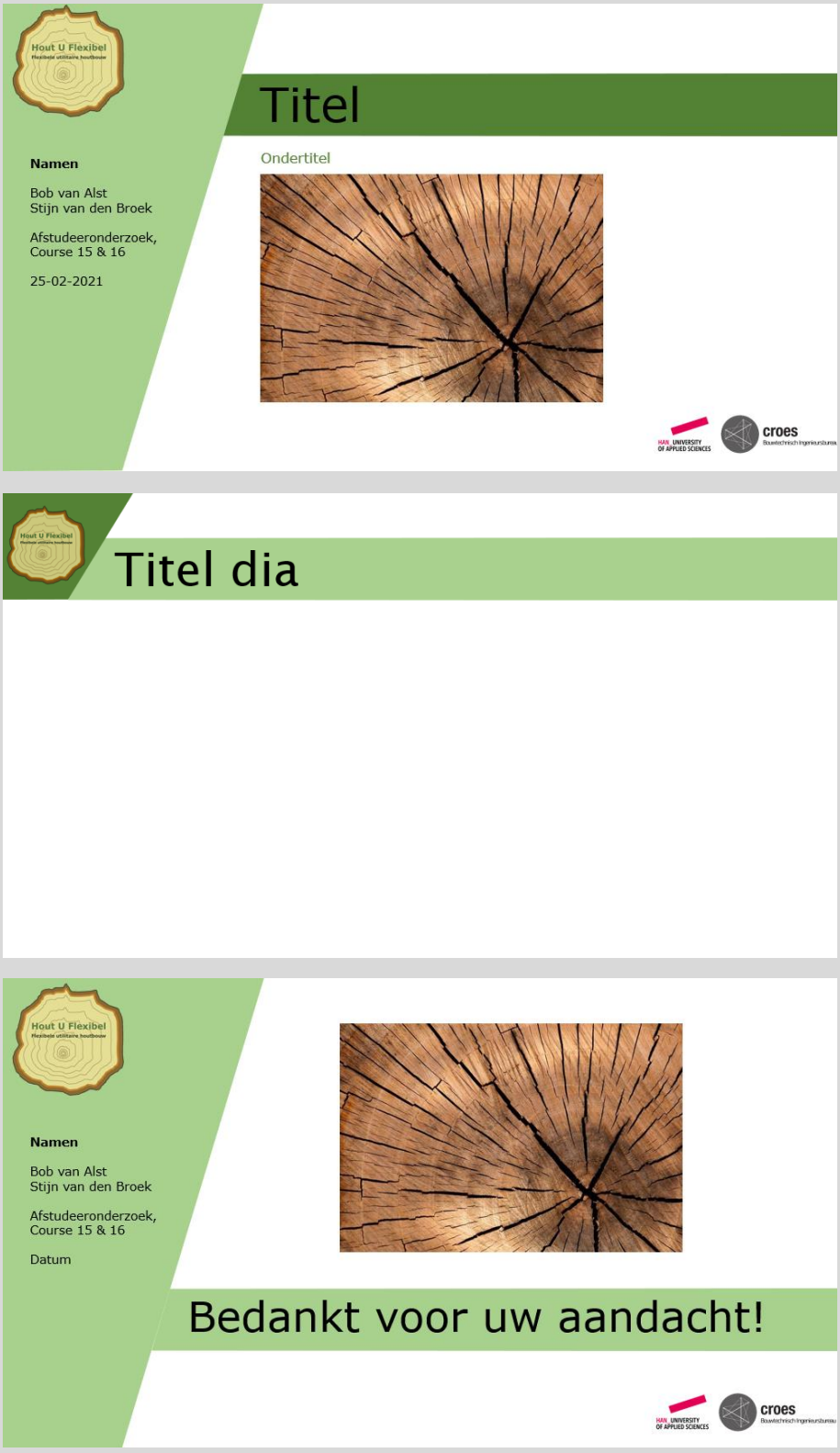
Bronvermelding volgens APA op de laatste pagina van het document.

www.scribbr.nl/bronnengenerator/apa/ als hulpmiddel.

Titel bestand Ondertitel 3

Figuur 1 – Template Word, (1).

Bijlage 2: Template PowerPoint



Figuur 2 – Template PowerPoint, (1).

Bijlage 3: Persoonlijk ontwikkelingsplan

Zie volgende pagina het persoonlijk ontwikkelingsplan.

POP

Persoonlijk Ontwikkelingsplan



Binnen dit document worden de leerdoelen van beide afstudeerders gedurende de afstudeerperiode beschreven.

Namen	Bob van Alst Stijn van den Broek	619803 600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein	
Begeleiders Croes	Maarten Braem, Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN_UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

Leeswijzer 3
Leerdoelen 4
Leerdoel 1: Internationaal technisch jargon 4
Leerdoel 2: Communiceren met derden 6
Leerdoel 3: Hoofdvraag concretiseren 8
Leerdoel 4: Onderzoeken 10
Leerdoel 5: Ontwerpen- en keuzeproces elementenconcept 11
Leerdoel 6: Constructief toetsen 12
Competentietabel 13

Leeswijzer

Het persoonlijke ontwikkelingsplan is opgesteld aan de hand van interesses, ontwikkelpunten en het afstudeerdonderwerp.

De leerdoelen zijn toegelicht aan de hand van onderstaande opzet:

- Titel, inleiding en toelichting leerdoel:
  - De lezer wordt in contact gebracht met het leerdoel.
- Huidige situatie:
  - De persoonlijke huidige situatie met betrekking tot het leerdoel.
- Gewenste situatie:
  - De persoonlijke gewenste situatie met betrekking tot het leerdoel.
- Activiteiten:
  - De activiteiten welke uitgevoerd dienen te worden om het leerdoel/de gewenste situatie te behalen.
- Producten/resultaten:
  - De producten en/of resultaten welke tot stand komen tijdens het werken aan het leerdoel. Deze producten/resultaten zijn tevens bewijzen voor het bereiken van het gewenste resultaat.
- Tijd:
  - Hieronder wordt verstaan in welke fase gedurende het afstuderen gewerkt zal worden aan het leerdoel.
- Competenties:
  - Tot slot wordt aangegeven welke competentie(s) het leerdoel valt. Deze competenties staan tevens overzichtelijk vermeld onder het hoofdstuk *'Competentietabel'*. De afstudeerders zullen de benoemde competenties tot niveau 3 brengen.

Ondanks dat de leerdoelen gezamenlijk zijn opgesteld, worden enkele onderdelen individueel behandeld. Dit heeft betrekking tot de huidige en gewenste situatie van de afstudeerders en in veel gevallen ook op de activiteiten en de producten/resultaten. De betreffende competenties zullen voornamelijk voor beide afstudeerders gelden. Echter, de bewijzen van competentieniveau en de algehele leerdoelen dienen persoonlijk te worden geëvalueerd.

Wanneer de afstudeerders los bij naam worden benoemd, zal dit persoonsgebonden ervaringen of informatie bevatten. In de overige situaties wordt het ontwikkelingsplan gezamenlijk als afstudeergroep geschreven.

Leerdoelen

Leerdoel 1: Internationaal technisch jargon

Tijdens het uitvoeren van het vooronderzoek is gebleken dat Nederlandse literatuur beperkt beschikbaar is met betrekking tot innovatie onderzoeken en documenten. Dit kwam voornamelijk voor op het gebied van innovatieve houtbouwproducten. Hierbij bleek dat relevante literatuur in het Engels en Duits werd aangeboden.

Leerdoel:
Wij, Bob en Stijn, willen onze kennis en ervaring op het gebied van internationale technische jargon ontwikkelen.

Huidige situatie:

- Bob: De Engelse taal wordt redelijk beheerst. Het lezen van Engelstalige literatuur kost mij veel moeite om te begrijpen en wordt meestal vertaald door middel van vertaalprogramma's. Het begrijpen van technische vaktermen wordt alsnog lastig ervaren. Op het gebied van de Duitse taal is mijn kennis lager dan bij de Engelse taal. Dit komt omdat ik mij hierin na de middelbare school niet meer heb verdiept. Wanneer relevante Duitse literatuur geraadpleegd dient te worden, wordt een vertaalprogramma gebruikt en kunnen enkele woorden herkend overkomen in het Nederlands.
- Stijn: De basis van de Engelse taal wordt beheerst. In Engelstalige literatuur wordt de boodschap aan de hand van context min of meer duidelijk. Echter, concrete losstaande technische vaktermen worden regelmatig opgezocht door middel van vertaalprogramma's. Engelstalig schrijven is voor mij lastiger dan lezen. Ik ben in staat om redelijk Engelstalig te schrijven, maar wanneer het een technisch stuk met jargon betreft, wordt dit complexer. Op het gebied van Duitse literatuur worden enkele woorden herkend. Wanneer relevante Duitse literatuur geraadpleegd dient te worden, wordt een vertaalprogramma gebruikt.

Gewenste situatie:

- Bob: Mijn prioriteit ligt bij het vertalen van Engelstalig jargon. De vaktermen dienen met enkele hulp van vertaalprogramma's begrepen te worden. Wanneer deze situatie is behaald zal het lezen en begrijpen van Engelstalige literatuur sneller en op een meer efficiënte manier verlopen. Tijdens de voorstudie wil ik in staat zijn om technische informatie vanuit Engelse Eurocodes te kunnen vertalen naar de Nederlandse Eurocodes zodat de juiste begrippen met elkaar overeenkomen. De internationale literatuur richt zich voornamelijk op de Engelse taal. Met deze reden is gekozen om mij daarop te richten en Duitse literatuur voornamelijk links te laten liggen. Eventuele ervaringen op het gebied van Duitse literatuur zijn mooi meegenomen.
- Stijn: Mijn prioriteit ligt voornamelijk bij Engelstalig jargon. De vaktermen dienen met enkele hulp van vertaalprogramma's begrepen te worden. Wanneer deze situatie is behaald zal het lezen en begrijpen van Engelstalige literatuur sneller en op een meer efficiënte manier verlopen. Aan het eind van het afstuderen wil ik in staat zijn om met behulp van enkele hulpmiddelen de Engelstalige samenvatting te schrijven. De internationale literatuur richt zich voornamelijk op de Engelse taal. Met deze reden is gekozen om mij daarop te richten en Duitse literatuur voornamelijk links te laten liggen. Eventuele ervaringen op het gebied van Duitse literatuur zijn mooi meegenomen.

Activiteiten:
De activiteiten betreffende dit leerdoel gelden voor beide afstudeerders.

- Voorstudie: Tijdens het uitvoeren van de voorstudie wordt verwacht dat meerdere internationale bronnen geraadpleegd en verwerkt zullen worden. De internationale literatuur zal Engelstalige en Duitse bronnen bevatten.
- Engelstalige samenvatting: Een verplicht opleverproduct tijdens het afstuderen is een Engelstalige samenvatting. Deze 'summary' zal aantonen dat de studenten naast het begrijpen en kunnen toepassen van internationale literatuur ook competent zijn met de schrijfvaardigheid van de Engelse taal.

Producten/resultaten:

- Voorstudie: De relevante informatie staat vermeld in de diverse onderdelen van de voorstudie. De bronnen staan vermeld in de tekst en in de bibliografie.
- Bibliografie: in de bilbiografie staan alle geraadpleegde bronnen. Deze bronnen bevatten diverse vormen van literatuur zoals boeken, internetpagina's, webinars en dergelijke.
- Engelstalige samenvatting: In de Engelstalige uittreksel staat samengevat wat in het eindrapport van het afstudeeronderzoek behandeld is.

Tijd:

- Voorstudie: de voorstudie zal voornamelijk in de eerste paar weken van het afstuderen plaats vinden. Verder is het mogelijk dat tussentijds internationale bronnen worden geraadpleegd wanneer dit gewenst is.
- Bibliografie: de bibliografie zal gedurende het gehele afstudeerproces worden aangevuld en bijgewerkt.
- Engelstalige samenvatting: de samenvatting zal aan het eind van het afstuderen worden behandeld. Hier kan pas aan gewerkt worden wanneer het afstudeeronderzoek tegen zijn eind loopt.

Competenties:

- C01: initiëren en sturen
    - Deze competentie past bij dit leerdoel omdat de afstudeerders literatuur inventariseren en beoordelen op relevantie. Wanneer geen Nederlandse literatuur beschikbaar is, zal informatie uit internationale bronnen behaald moeten worden. Ook kan het voorkomen dat de afstudeerders met voorbedachten rade expliciet internationale zoektermen gebruiken. Tot slot zal de samenvatting van de eindrapportage in het Engels worden geschreven. Hierbij staat het beschrijven van het proces centraal.

Leerdoel 2: Communiceren met derden

Door de steeds meer gespecificeerde kennispartijen binnen de bouwsector is communiceren van groot belang om tot benodigde informatie te komen. De manier van communiceren dient aangepast te worden aan de ontvangen en het doel van de communicatie. Dit betreft het communicatiemiddel en het taal- en jargongebruik.

Leerdoel:
Wij, Bob en Stijn, willen op een professionele en gepaste manier communiceren met derden.

Huidige situatie:
Onze communicatieve vaardigheden zijn middels groepsprojecten, stages, excursies en verdere activiteiten waar communicatie een rol speel, op een voldoende niveau. Wij weten de manier van communiceren aan te passen aan de ontvanger en aan het doel van de communicatie. Echter, op het gebied van interviews hebben wij weinig ervaring. Hier gaan wij tijdens het afstuderen aan werken.

Gewenste situatie:
Zoals hierboven vermeld zijn onze communicatieve vaardigheden op een voldoende niveau. Aan het einde van het afstuderen willen wij ervaring hebben opgedaan op het gebied van interviews. Het doel is om de benodigde informatie te verkrijgen uit een gesprek met experts.

Activiteiten:

- Binnen de afstudeergroep: communiceren binnen de afstudeergroep lijkt vanzelfsprekend maar dit is zeker relevant om te benoemen. Dit betreft de manier van discussiëren, complimenten en feedback geven en de voortgang van het project bespreken.
- HAN: minstens eenmaal per twee weken zal een vergadering tussen de afstudeerders en de begeleider van de HAN plaatsvinden.
- Croes: zie toelichting HAN.
- Derde partijen: wanneer het relevant is om derde partijen te benaderen zal dit gedaan worden. Bijvoorbeeld bij het opvragen van informatie, het verspreiden van enquêtes en het organiseren van een interview. De manier van communiceren kan diverse vormen aanhouden zoals: mailen, bellen, interviews, enquêteren, vergaderen.

Producten/resultaten:
Gedurende het afstuderen zal veel gecommuniceerd worden. Het merendeel van de communicatie zal niet gedocumenteerd worden. Echter, van elke vergadering zal een notulen geschreven worden en van de interviews zal de verkregen informatie genoteerd en verwerkt worden.

Tijd:
Tijdens de hele afstudeerperiode komt dit leerdoel aan bod. Enkele activiteiten zijn tijdsgebonden zoals de enquêtes en de interviews.

Competenties:

- C08: communiceren en samenwerken
    - Het is vanzelfsprekend dat competentie 08 dit leerdoel beslaat. Bij dit leerdoel staat namelijk de manier van communiceren met verschillende partijen centraal. Daarnaast zal de begeleiding vanuit de HAN en Croes naast ons staan in plaat van boven ons. Dit betekent dat deze partijen met ons meedenken en op een vragende wijze feedback geven.

Leerdoel 3: Hoofdvraag concretiseren

Voorafgaande aan en gedurende de beginfase van het afstudeeronderzoek stond het bedenken en formuleren van een onderzoeksonderwerp centraal. Bij dit onderwerp diende een concrete hoofdvraag geformuleerd te worden. Echter, dit bleek lastig door geringe kennis van het onderzoekonderwerp. Uit deze uitdaging is onderstaand leerdoel opgesteld.

Leerdoel:
Wij, Bob en Stijn, willen aan de hand van een onderzoeksonderwerp een concrete hoofdvraag op kunnen stellen. Hierbij staat het afbakenen centraal.

Huidige situatie:

- Bob: Ik heb weinig last met onzekerheden over het einddoel van het onderzoek. Ik vind het leuk om eerst globale kennis op te doen en vervolgens te specificeren. Echter kan ik hierdoor soms te veel informatie gaan opzoeken omdat het doel niet concreet en afgebakend is. Het te veel informatie opzoeken is voor mij een leerpunt. Daarnaast kan mijn enthousiasme om veel nieuwe kennis op te doen leiden tot een te brede onderzoeksvraag wat ten koste van de diepgang kan gaan.
- Stijn: Onzekerheden over het einddoel van het onderzoek vind ik lastig. Het liefst is het doel concreet en afgebakend voorafgaande aan het onderzoek. Echter is dit niet mogelijk tijdens het afstuderen. Dit is een leerpunt voor mij. Daarnaast kan mijn enthousiasme om veel nieuwe kennis op te doen leiden tot een te brede onderzoeksvraag wat ten koste van de diepgang kan gaan.

Gewenste situatie:

- Bob: Aan het eind van het afstuderen wil ik gerichter kunnen zoeken naar literatuur om een hoofdvraag beter te kunnen concretiseren. Daarnaast wil ik een structuur vinden binnen een onderzoekend project.
- Stijn: Aan het eind van het afstuderen wil ik beter om kunnen gaan met onzekerheden gedurende onderzoeken. Daarnaast wil ik op de juiste wijze structuur vinden tijdens werkzaamheden waarvan het einddoel nog niet concreet is.

Activiteiten:

- Voorstudie: tijdens het uitvoeren van de voorstudie zal meer kennis vergaard worden over het afstudeeronderzoek. Hierdoor kan het opstellen en het afbaken van de hoofdvraag gemakkelijker verlopen.
- Plan van Aanpak: tijdens het opstellen van het concept Plan van Aanpak wordt al nagedacht over de hoofdvraag. Echter zal blijken dat deze hoofdvraag gedurende meer kennis wordt opgedaan zal wijzigen en steeds concreter gemaakt kan worden. Feedback van en vergadering met begeleider zullen ook een positieve bijdrage leveren aan het concretiseren van de hoofdvraag.
- Inhoudsopgave: het advies van begeleiders was om in een vroeg stadium van het afstuderen na te denken over de opzet van de hoofdrapportage. Door middel van het opstellen van de inhoudsopgave worden de afstudeerders gestimuleerd om actief na te denken over het doel de resultaten en de hoofdvraag van het onderzoek.

Producten/resultaten:

- Voorstudie: in de voorstudie staat de opgedane kennis en relevante informatie welke zal leiden tot een afgebakende hoofdvraag.
- Plan van Aanpak: in het Plan van Aanpak staat de hoofdvraag en het doel van het onderzoek expliciet vermeld. Het Plan van Aanpak is een levend document. Dit betekent dat het bestand regelmatig wordt aangepast door nieuwe inzichten.
- Hoofdrapportage: door de eerder opgestelde inhoudsopgave wordt de opzet van de hoofdrapportage al vroeg duidelijk. De hoofdrapportage is gebaseerd op de hoofdvraag.

Tijd:
Het concretiseren van de hoofdvraag zal voornamelijk na de eerste paar weken (week 3-6) van het afstuderen plaats vinden. In deze periode is de achtergrondinformatie bekend en wordt het doel van het onderzoek steeds duidelijker.

Competenties:

- C01: initiëren en sturen
    - Vanuit een helikopterview is het probleem bekeken en geïdentificeerd. Door middel van een brede marktoriëntatie zijn diverse aspecten van het onderzocht belicht en behandeld. Aan de hand van de aanleiding is dit als een maatschappelijke relevante opgave bestempeld. Tot slot zullen de afstudeerders het proces beschrijven, bewaken (afbakenen)/bijsturen en zullen zij doelstellingen formuleren.
- C09: managen en innoveren
    - Het concretiseren van de hoofdvraag gaat gepaard met geven van richting en sturing aan het proces. Wij, als afstudeerders, hebben een proactieve houding aangenomen door zelf een onderzoeksonderwerp aan te dragen en contact op te nemen met bedrijven om ons te begeleiden.
    - Richting en sturing aan het proces. Proactief en initiatief door zelf een onderwerp aan te dragen en bedrijven te benaderen. Tot slot denken we buiten de kaders door het innovatieve onderzoeksonderwerp.

Leerdoel 4: Onderzoeken

Tijdens het afstuderen staat het onderzoek doen centraal. Dit belangrijke onderdeel is omvat in een afgebakend leerdoel waarbij het kiezen van de juiste onderzoeksmethode en het verwerken van de resultaten centraal staan.

Leerdoel:
Wij, Bob en Stijn, willen aan de hand van een vraagstuk de juiste onderzoeksmethodiek toepassen en de resultaten verwerken.

Huidige situatie:
De kennis op het gebied van onderzoeken op dit niveau is gering. Tot op heden hebben wij weinig ervaring met diverse onderzoeksmethodes. De kennis van ons aan het begin van het afstuderen beperkt zich tot kleine literatuuronderzoeken binnen de opleiding. Dit betreft voornamelijk deskresearch.

Gewenste situatie:
Wij willen onze kennis over diverse onderzoeksmethodieken verbreden en kunnen toepassen binnen het afstudeeronderzoek. Tot slot willen wij de resultaten uit deze onderzoeken op waarde kunnen schatten en mogelijk vervolgstappen kunnen opstellen.

Activiteiten:
Gedurende het afstuderen zal het totale onderzoek opgedeeld worden in deelonderzoeken (deelvragen). Ten eerste wordt een voorstudie gedaan naar de beschikbare informatie.

Tijdens uiteenlopende onderzoeken binnen het afstudeeronderzoek zullen bepaalde onderzoeksmethodieken aangehouden worden. Ook de manier van informatie verwerken en mogelijk integreren in het beantwoorden van de hoofdvraag zal in dit onderdeel plaatsvinden.

Producten/resultaten:
Voor elk deelonderzoek is een onderzoeksmethode bepaald en toegepast om de vraagstukken te kunnen beantwoorden. Voorbeelden van deze deelonderzoeken zijn:

- Voorstudie
- Literatuuronderzoeken: installatieconcepten, stramienmaten, geluidswering en stabiliteitsvoorzieningen
- Veldonderzoek: enquête en interviews
- Variantenstudie elementenconcept

Tijd:
Gedurende de hele afstudeerfase krijgen wij te maken met diverse onderzoeksmethodieken.

Competenties:

- C06: monitoren, toetsen en evalueren
    - Resultaten afkomstig van diverse deelonderzoeken worden objectief bewaakt en beoordeeld. Aan de hand van deze resultaten worden conclusies en mogelijke verbeteringen aangekaart.
- C07: onderzoeken
    - Bij elk deelonderzoek wordt het vraagstuk geanalyseerd en geïdentificeerd. Ook wordt praktijkgericht onderzoek opgezet en uitgevoerd indien dit van toepassing is.

Leerdoel 5: Ontwerpen- en keuzeproces elementenconcept

Om een goed element concept te ontwikkelen dienen varianten opgesteld en tegen elkaar afgewogen te worden. Dit proces is de rode draad binnen het ontwerpproces van het elementenconcept.

Leerdoel:
Wij, Bob en Stijn, willen in staat zijn om een goed onderbouwde variantenkeuze te kunnen maken met betrekking tot het elementenconcept.

Huidige situatie:
Tot op heden hebben wij redelijk wat ervaring met het maken van variantenstudies. Dit is namelijk gedurende onze opleiding meerdere keren aan bod gekomen. Vaak was het einddoel van de variantenstudie duidelijk en werd hier naartoe gewerkt. Dit ging ten koste van een objectieve keuze.

Gewenste situatie:
gedurende het afstudeeronderzoek willen wij op een objectieve wijze varianten beoordelen en de meest geschikte variant kiezen middels een waardeanalyse.

Activiteiten:

Om tot een best geschikte variant te komen wordt onderstaand stappenplan aangehouden:

1. Opstellen mechanische varianten vanuit richtlijnen
2. Toetsingscriteria/ waardeanalyse opstellen
3. Opties beperken tot relevante opties (Longlist naar Shortlist)
4. Rekenen aan houtconstructies overgebleven opties
5. Best toepasbare variant kiezen aan de hand van toetsingscriteria/ waardeanalyse

Producten/resultaten:
Zie resultaten bij bovenstaande activiteiten.

Tijd:
Dit leerdoel zal voornamelijk halverwege het afstuderen aan bod komen. In deze periode vindt het uitvoeren van de variantenstudie plaats.

Competenties:

- C02: ontwerpen
    - Het opstellen van mechanische varianten en het uitrekenen van optredende krachten. Binnen het maken van keuzes worden criteria en randvoorwaarden opgesteld en van waarde voorzien.

Leerdoel 6: Constructief toetsen

Wanneer constructieve varianten zijn opgesteld in het afstudeeronderzoek dienen deze te worden gedimensioneerd. Dit wordt gedaan aan de hand van constructieve berekeningen. Diverse houten materialen resulteren in diverse rekenmethodieken.

Leerdoel:
Wij, Bob en Stijn, willen verdiepende ervaring opdoen op het gebied van rekenen aan houtconstructies naast de algemene kennis.

Huidige situatie:
Wij zijn bekend met de 'standaard' formules van sterkte en stijfheid binnen gezaagde houtconstructies. Met het toepassen van correcties en veiligheden van gezaagd hout hebbe wij ook redelijke ervaring. Echter, deze ervaringen beperken zich tot berekeningen van houten balklagen, liggers en kolommen. Wij hebben geen ervaring met het rekenen aan gemodificeerd hout, diverse vezelrichtingen, houten verbindingen en bezwijken constructie door brand.

Gewenste situatie:

Gedurende de afstudeerperiode willen wij ervaring opdoen op het gebied van het rekenen aan gemodificeerd hout, diverse vezelrichtingen, houten verbindingen en bezwijken constructie door brand. Dit zal zich beperken tot sterkte, stijfheid en de doorsnede methode bij bezwijken door brand.

Activiteiten:
De constructieve varianten die overblijven in de 'shortlist' (zie leerdoel 5) worden constructief uitgewerkt op het gebied van sterkte en stijfheid. Ook wordt de effectieve doorsnede bepaald bij brand en getoetst aan de bijbehorende belastingcombinatie.

Producten/resultaten:

De resultaten is de documentatie van de hierboven benoemde activiteiten. In het hoofdrapport worden enkele berekening toegevoegd, de rest zal vermeld zijn in de bijlagen.

Tijd:
Dit leerdoel zal voornamelijk halverwege het afstuderen aan bod komen. In deze periode vindt het constructief toetsen van de variantenstudie plaats.

Competenties:

- C03: specificeren
    - Gedurende de activiteiten worden de varianten getoetst aan de hand van randvoorwaarden en de haalbaarheid. Daarnaast uit de specificatie zich ook in de verschillende houten producten waarbij voor ieder een eigen rekenmethode is voorgeschreven.

Competentietabel

Competentietabel		Competenties[2]								
		C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09
Leerdoelen[1]	LD 1	X								
	LD 2								X	
	LD 3	X								X
	LD 4						X	X		
	LD 5		X							
	LD 6		X	X						

[1]Beknopte beschrijving leerdoelen:

LD 1: Internationaal jargon
LD 2: Communiceren met derden
LD 3: Hoofdvraag concretiseren
LD 4: Onderzoeken
LD 5: Construeren elementenconcept
LD 6: Constructief toetsen

[2]Hieronder wordt toegelicht wat wij, de afstudeerders, verstaan onder de competenties. Vanuit deze visie zijn de competenties gekoppeld aan leerdoelen/producten.

C1 Initiëren en sturen: Het signaleren van knelpunten en tijdig communiceren met andere betrokken partijen. Dit leidt tot het vanuit een helikopterview bewaken en bijsturen van het projectproces.

C2 Ontwerpen: Het ontwerpen en rekening houden met ontwerpen van bouwwerken en constructieve onderdelen. Ook het maken van variantenstudies valt onder deze competenties.

C3 Specificeren: Het specificeren op een bepaald vakgebied en hierbij de kwaliteitseisen van het op te leveren product toepassen/toetsen.

C4 Realiseren: Het participeren, voorbereiden, bewaken en bijsturen van de realisatie van een bouwwerk.

C5 Beheren: Het beheren, bewaken en bijsturen van eisen die voornamelijk betrekking hebben op de exploitatiefase, het comfort en de kwaliteit.

C6 Monitoren, toetsen en evalueren: Opgeleverde resultaten bewaren en beoordelen. Ook komt het evalueren en het bepalen van mogelijke gevolgstappen aan de hand van opgedane kennis en resultaten aan bod.

C7 Onderzoeken: vraagstuk(ken) herkennen, analyseren en identificeren. Hierbij staat het opzetten en uitvoeren van praktijkgericht onderzoek centraal.

C8 Communiceren en samenwerken: Het communiceren met collega's en andere partijen. Dit contact kan via diverse voorzieningen worden opgezocht. Het doel van de communicatie kan divers zijn en beslaat het geven en ontvangen van informatie.

C9 Managen en innoveren: Hierbij wordt het managen van het onderzoeksproces bedoeld. Ook komt het inbrengen en toepassen van innovatieve ideeën aan bod. Daarnaast hoort het nemen van initiatief en het buiten kaders denken en werken bij deze competentie.

Bijlage 4: Urenstaat

Uren week 1			
datum	**aantal uren**	**wie**	**omschrijving werkzaamheden**
maandag 1 februari 2021		BVA	
		SVDB	
dinsdag 2 februari 2021		BVA	
		SVDB	
woensdag 3 februari 2021		BVA	
		SVDB	
donderdag 4 februari 2021		BVA	
		SVDB	
vrijdag 5 februari 2021		BVA	
		SVDB	
zaterdag 6 februari 2021		BVA	
		SVDB	
zondag 7 februari 2021		BVA	
		SVDB	

Uren subtotaal week 1		
Naam	Initialen	Uren
Bob van Alst	BVA	0,00
Stijn van den Broek	SVDB	0,00

Tabel 2 – Urenstaat, (1).

Bijlage 5: Planning course 15 en 16

Zie volgende pagina de planning.

Afstudeeronderzoek Hout U Flexibel, course 15 en 16

Begin project: di, 22-12-2020

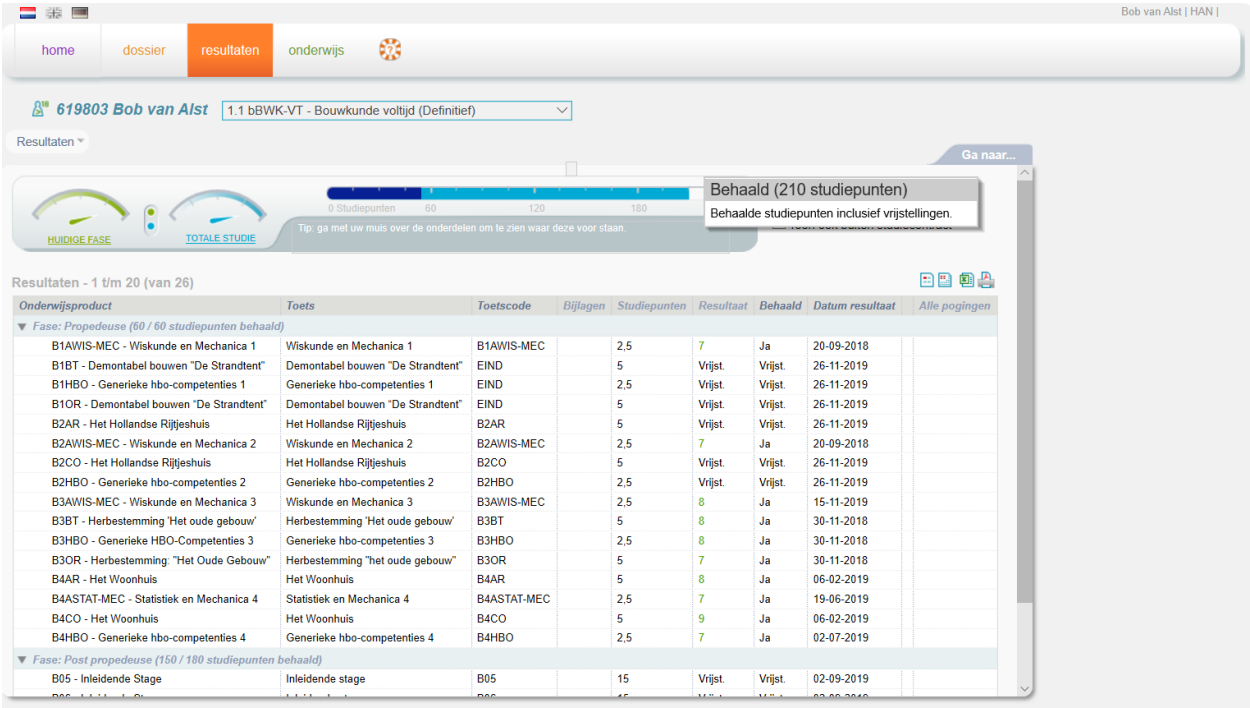
Weergeven week: 1

NR.	TAAK	TOEGEWIJZEN AAN	VOORTGANG	START	EINDE
1.0	**Plan van aanpak**	BVA/SVDB	0%	22-12-20	7-04-21
1.1	Maken basis bestanden (templates)	BVA/SVDB	0%	22-12-20	22-12-20
1.2	Opzet plan van aanpak	BVA/SVDB	0%	22-12-20	22-12-20
1.3	Maken concept Plan van Aanpak	BVA/SVDB	0%	22-12-20	4-01-21
1.4	Feedback ontvangen concept PVA	RGSE/OSNRC/MBR/FJ	0%	4-01-21	17-01-21
1.5	Feedback verwerken concept PVA	BVA/SVDB	0%	2-03-21	9-03-21
1.6	POP maken	BVA/SVDB	0%	8-03-21	9-03-21
1.7	Opleveren Definitief PVA	RGSE/OSNRC/MBR/FJ	0%	10-03-21	16-03-21
1.8	*(Optioneel) feedback verwerken PVA def.	BVA/SVDB	0%	7-04-21	7-04-21
2.0	**Projectactiviteiten**		0%	25-01-21	7-05-21
2.1	**Fase 1: Voorstudie Houtbouw**		0%	25-01-21	23-02-21
2.1.1	Houtbouw en Milieu	BVA/SVDB	0%	2-02-21	10-02-21
2.1.2	Houtbouwmaterialen	BVA	0%	25-01-21	1-02-21
2.1.3	Referentieprojecten	SVDB	0%	25-01-21	28-01-21
2.1.4	Constructieve opbouw houtconstructies	SVDB	0%	29-01-21	4-02-21
2.1.5	Rekenen aan houtconstructies	BVA/SVDB	0%	10-02-21	17-02-21
2.1.6	Conclusie, APA, inleiding, voorwoord en leeswijzer	BVA/SVDB	0%	17-02-21	23-02-21
2.1.7	Feedback verwerken	BVA/SVDB	0%	12-04-21	16-04-21
2.2	**Fase 2: Veldonderzoek toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodiek**		0%	16-02-21	18-04-21
2.2.1	Voorstudie enquête	BVA/SVDB	0%	16-02-21	17-02-21
2.2.1	Opzetten enquête	BVA/SVDB	0%	25-02-21	1-03-21
2.2.2	Feedback verwerken	BVA/SVDB	0%	5-03-21	12-03-21
2.2.3	Resultaten enquête verwerken	BVA/SVDB	0%	29-03-21	2-04-21
2.2.4	Maken interview vragen	BVA/SVDB	0%	29-03-21	7-04-21
2.2.5	Intervieuwen	BVA/SVDB	0%	8-04-21	8-04-21
2.2.6	Resultaten verwerken intervieuws	BVA/SVDB	0%	8-04-21	13-04-21
2.2.7	Afmaken opdracht veldonderzoek	BVA/SVDB	0%	13-04-21	16-04-21
2.3	**Fase 3: Ontwerpen concept**		0%	10-03-21	7-05-21
2.3.1	Literatuuronderzoek stramienmaten in utiliteitsbouw	BVA/SVDB	0%	10-03-21	12-03-21
2.3.2	Installatieconcept	BVA/SVDB	0%	15-03-21	17-03-21
2.3.4	Constructieve variant(en) incl. CLT 2 richtingen	BVA/SVDB	0%	18-03-21	15-04-21
2.3.5	Uitwerking constructieve varianten Sterkte en stijfheid	BVA/SVDB	0%	18-03-21	15-04-21
2.3.7	Keuze maken 'realistische' varianten waardeanalyse	BVA/SVDB	0%	16-04-21	16-04-21
2.3.7	Beschouwing verbindingen ligger-kolom/ ligger-vloer	BVA/SVDB	0%	19-04-21	23-04-21
2.3.7	Beschouwing sparings-, verjoningsmogelijkheden en stabiliteit	BVA/SVDB	0%	26-04-21	30-04-21
2.3.8	Feedback verwerken	BVA/SVDB	0%	3-05-21	7-05-21
4.0	**Rapportage afstudeeronderzoek[1]**		0%	1-03-21	24-05-21
4.1	Inhoudsopgave hoofdrapport	BVA/SVDB	0%	12-03-21	16-05-21
4.2	Colofoon, voorwoord, , leeswijzer en onderzoeksopzet/inleiding	BVA/SVDB	0%	22-03-21	16-05-21
4.3	Veldonderzoek toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodiek	BVA/SVDB	0%	13-04-21	16-04-21
4.4	Fase 3: Ontwerpen concept	BVA/SVDB	0%	5-04-21	16-05-21
4.5	Conclusie(s) en discussie	BVA/SVDB	0%	10-05-21	16-05-21
4.6	Brochure maken	BVA/SVDB	0%	10-05-21	16-05-21
4.7	Samenvatting/ Summary	BVA/SVDB	0%	10-05-21	16-05-21
4.8	Begrippen-, figuren- en tabellenlijst	BVA/SVDB	0%	10-05-21	16-05-21
4.9	Procesmap en reflecties POP	BVA/SVDB	0%	17-05-21	23-05-21
4.10	Literatuurlijst	BVA/SVDB	0%	10-05-21	16-05-21
4.11	Bijlage invoegen	BVA/SVDB	0%	17-05-21	23-05-21
4.12	Feedback verwerken	BVA/SVDB	0%	17-05-21	23-05-21
5.0	**Belangrijke data**		0%	-	-
5.1	Definitief PVA (geen vaste deadline)		0%	8-03-21	12-03-21
5.2	Tussenpeiling		0%	19-04-21	23-04-21
5.3	Inleveren verslag		0%	25-05-21	25-05-21
5.4	Afstudeerzitting		0%	7-06-21	18-06-21

[1] elke vrijdagochtend zal tijd vrij gemaakt worden om tussenresultaten te verwerken in het hoofdrapportage.

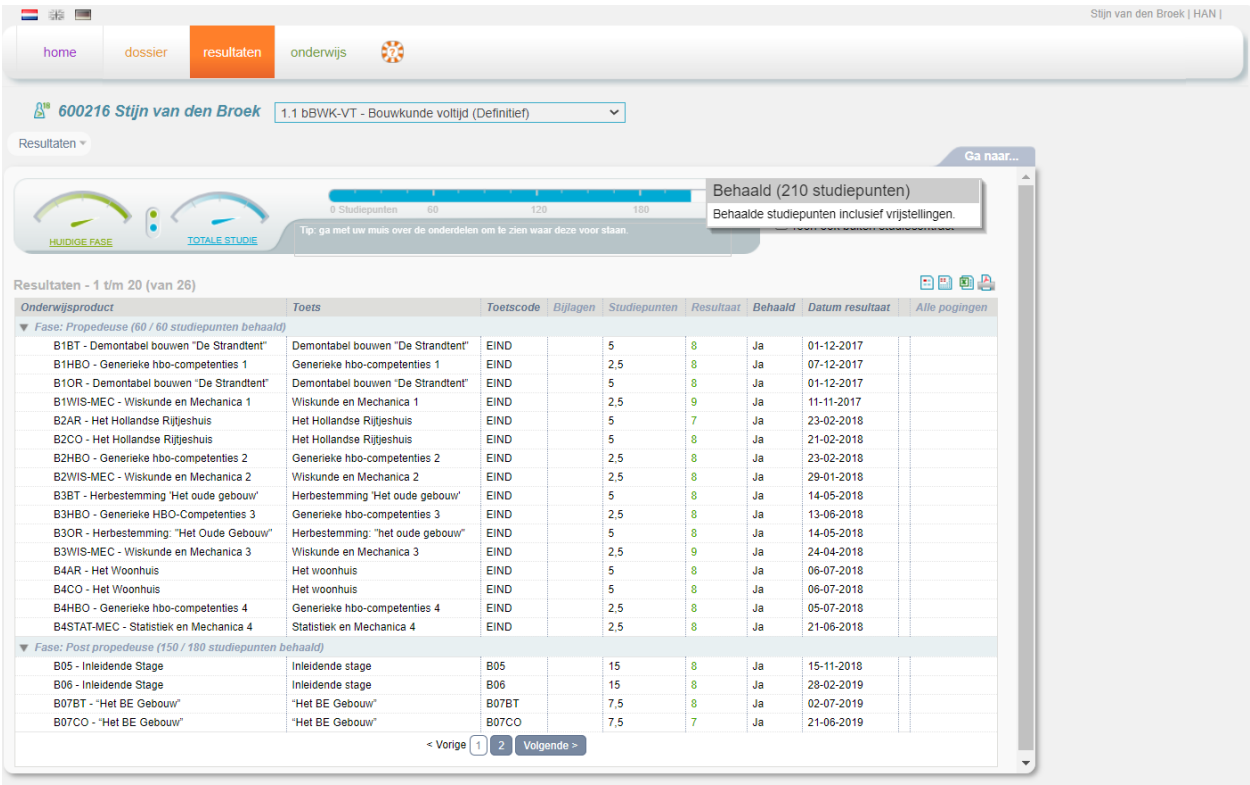
Bijlage 6: Recente cijferlijst uit Alluris

Bob van Alst 619803:



Figuur 3 – Cijferlijst Bob van Alst, (overgenomen van Alluris)

Stijn van den Broek 600216:



Figuur 4 – Cijferlijst Stijn van den Broek, (overgenomen van Alluris)

Bijlage 3: Veldonderzoek Toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodiek

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Veldonderzoek

Bijlage 3



In dit document wordt een veldonderzoek opgesteld, uitgevoerd en geanalyseerd binnen toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodieken.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

1.0 Inleiding 3
1.1 Probleemstelling/Doelstelling 3
1.2 Deelproblemen/indicatoren 3
1.3 Deelvragen veldonderzoek 4
2.0 Onderzoeksmethode 4
2.1 Soort onderzoek 4
2.2 Opzet onderzoek 5
2.3 Populatie 5
3.0 Enquête 5
3.1 Soort enquête 5
3.2 Enquête 6
3.3 Relevantie enquête vragen 11
3.4 Teksten bekendmaking enquête 13
3.5 Enquête testen 14
3.6 Resultaten enquête 15
4.0 Interviews 28
4.1 Interview Architect NarrativA 28
4.2 Interview moduleconcept ontwikkelaar FLETTS 33
5.0 Conclusie veldonderzoek 40
6.0 Discussie veldonderzoek 42
7.0 Literatuurlijst 43

1.0 Inleiding

1.1 Probleemstelling/Doelstelling

De onderzoeksvraag voor het afstudeeronderzoek stond in het beginstadium nog niet vast. Door de voorstudie in houtbouw en de transformatie die de bouwsector moet ondergaan naar aanleiding van het klimaatakkoord zal gekeken moeten worden naar de ontwerpmethodieken en bouwmethodieken. De methodieken die naar voren komen binnen de vakbladen in de sector en door pioniers in circulair bouwen zijn functie-flexibel bouwen, remontabel bouwen, moduleconcepten en elementenconcepten. Echter worden de betekenissen door diverse partijen binnen de sector op verschillende manieren opgevat en zijn er onduidelijkheden over de toepasbaarheid van de methodieken. Hierdoor is een veldonderzoek van noodzaak.

De benaming van dit onderzoek wordt door verschillende partijen anders geïnterpreteerd. De literatuurstudie is gebaseerd op meningen en standpunten. In dit geval is de benaming veldonderzoek beter geschikt voor deze aanpak. Het veldonderzoek, hierna te noemen 'onderzoek', betreft data afkomstig van enquêtes en interviews welke geanalyseerd en geïnterpreteerd worden.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de bekendheid van begrippen: functie-flexibel bouwen, remontabel bouwen, moduleconcepten en elementen concepten in de bouwsector en om inzicht te geven over welke manier van bouwen meer toekomst bestendig is om de bouw te verduurzamen. Ook heeft het voor de afstudeerstudenten als doel om genomen besluiten met betrekking tot het afstudeeronderzoek: een elementenconcept uitgevoerd in hout uitwerken waarbij functie-flexibiliteit centraal staat, te evalueren en ter discussie te stellen. De studenten hebben een hypothese opgesteld met betrekking tot de voor functie-flexibele bouwwerken, toepasbare gebruiksfuncties opgesteld: Woon-, bijeenkomst-, gezondheidszorg-, kantoor-, logies-, onderwijs-, sport- en winkel- (exclusief opslag) functie.

1.2 Deelproblemen/indicatoren

De deelproblemen/indicatoren van de probleemstelling zijn:

- De beperkt beschikbare informatie van de methodieken:
  - Middels een deskresearch is getracht om informatie over deze onderwerpen inzichtelijk te krijgen. Echter, de beschikbare informatie bleek onvoldoende in grootte en kwaliteit. Hieruit volgt de vraag: Heeft de bouwsector weinig ervaring op het gebied van de methodieken of is de sector niet transparant i.v.m. nieuwe innovatie ideeën voor de toekomst?
- De vraag naar wisselingen binnen de ontwerpmethodieken:
  - Dit probleem betreft functiewisselingen en remontabel bouwen. Voordat een innovatief ontwerp voor verduurzaming rendabel blijkt te zijn, moet onderzocht worden of er voldoende vraag is naar wisselingen van functies en remontabel bouwen in relatie met de levensduur van bouwwerken en componenten.
- De toepasbaarheid van diverse functies voor functie-flexibel bouwen en bouwconcepten:
  - De bouwsector maakt gebouwen voor de gebruiker. Zowel voor functie-flexibel bouwen als voor module- en elementenconcepten is het onduidelijk voor welke gebruiksfuncties deze toepasbaar zijn.
- De architectonische vrijheid bij het industrialiseren van de bouwsector:
  - Het industrialiseren van de sector kan als gevolg hebben dat gebouwen en gebieden monotoon worden. Dit komt door de repetitie waar gebruik van wordt gemaakt bij industrialiseren.

- Gedachten over de toekomstbestendigheid van utiliteitsbouw met betrekking tot de ontwerp- en bouwmethodieken:
  - Wij als afstudeerders zijn geïnteresseerd in de mening van diverse partijen binnen de bouwsector op het gebied van de dilemma's tussen de ontwerp- en bouwmethodieken.

1.3 Deelvragen veldonderzoek

Aan de hand van de hierboven benoemde probleemstelling, doelstelling, deelproblemen en indicatoren zijn de volgende deelvragen opgesteld van het onderzoek:

- 2.1: Welke conclusie kan getrokken worden met betrekking tot het besluit om een functie-flexibele ontwerpmethodiek en een elementenconcept bouwmethode toe te passen in relatie met de resultaten van het veldonderzoek?
- 2.2: Welke conclusie kan getrokken worden met betrekking tot de aanname van de toegepaste gebruiksfuncties in relatie met de resultaten van het veldonderzoek?

2.0 Onderzoeksmethode

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Enquête research (Markus & Oudemans, 2011) waarin uitleg gegeven wordt over marktonderzoek voor het hoger onderwijs.*
- *Boek Dit is Onderzoek! (Baarda, 2019) waarin uitleg wordt gegeven over onderzoeksmethoden.*
- *Boek De vragenlijst (Brinkman, 2014) waarin uitleg wordt gegeven over vragenlijsten als meetinstrumenten voor toepasbaar onderzoek.*

2.1 Soort onderzoek

Eerst is een deskresearchonderzoek geprobeerd, echter bleek dat hierover weinig is geschreven/onderzocht in bestaande literatuur. Hierdoor is fieldresearch onvermijdelijk, ook door de vele verschillende partijen en experts in de bouwsector.

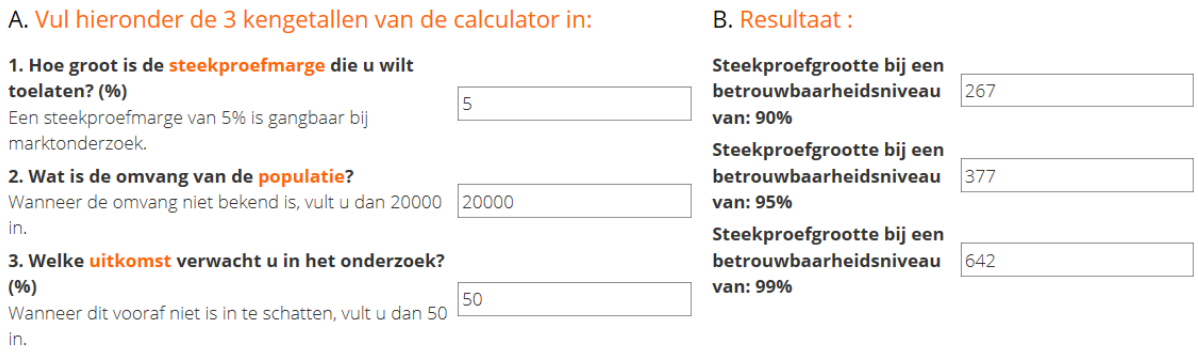
Het onderwerp van het dit veldonderzoek is niet zuiver in te delen binnen een kwalitatief of kwantitatief onderzoek. Dit wordt veroorzaakt door een relatief smalle onderzoeksvraag met weinig voorkennis. Ook maakt het ontbreken van referentieonderzoeken en onderzoekkaders in combinatie met een grote diversiteit aan belanghebbende organisaties het lastig om te kiezen tussen open en gesloten vragen. Dit vraagt om een gemengde aanpakstrategie waarbij facetten van beide onderzoekmethodes naar voren komen. Doordat voorafgaan aan het veldonderzoek een keuze is gemaakt binnen de ontwerp- en bouwmethodieken ontstaat het gevaar dat de onderzoekers niet helemaal onbevooroordeeld het onderzoek uitvoeren.

2.2 Opzet onderzoek

In overleg met de begeleiders is overeengekomen dat een onpersoonlijke enquête vorm in combinatie met interviews/discussies kan leiden tot het gewenste resultaat van dit veldonderzoek. De onpersoonlijke enquête wordt opgebouwd uit gesloten vragen, waardoor de verwerkingstijd en de steekproefgrootte positief beïnvloed worden. De beschikbare tijd en de coronamaatregelen zijn de grootste redenen om voor een onpersoonlijke enquête te kiezen. Om verdere toelichting bij de diverse gedachtegangen mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van de hierboven genoemde interviews/discussies. Hierdoor wordt zowel een persoonlijke als onpersoonlijke enquête toegepast voor een optimaal resultaat. Voor dit onderzoek kan technisch jargon toegepast worden. De doelgroep is namelijk actief in de bouwsector.

2.3 Populatie

De populatie binnen dit onderzoek zal binnen de bouwsector vallen en dient alle betrokken partijen te raken. Hierbij worden alle belangen en verwachtingen meegenomen in het onderzoek. Voorbeelden van strata: uitvoerende partijen, ontwerpers, ontwikkelaren, onderzoekers, projectvoorbereiders en gebouweigenaren. Een gelijke stratumgrootte (quotasteekproef) is tijdens dit onderzoek haast onhaalbaar. Dit komt door de manier van verspreiden. Hierbij wordt voornamelijk een open verspreiding toegepast met her en der een sneeuwbalsteekproef aspect. Het risico op non-respons is te verkleinen door mensen te benaderen in directe kringen via werk, studie, familie en vrienden. De stratumgrootte dient bepaald te worden aan de hand van de volgende rekentool:



Figuur 1 – Rekentool populatiegrootte, overgenomen van website Allesovermarktonderzoek, 2018 (De populairste steekproefcalculator van Nederland).

Er wordt een betrouwbaarheidsniveau aangehouden van 95%. Echter, uit de resultaten zal moeten blijken of deze grote respons haalbaar is. Wanneer dit niet behaald wordt, kunnen de onderzoeksresultaten alsnog bruikbaar zijn.

3.0 Enquête

3.1 Soort enquête

Binnen dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een onpersoonlijke enquêtevorm die doormiddel van internet verspreidt zal worden, zoals e-mail en LinkedIn. De enquête wordt verspreid door gebruik te maken van Google Formulieren. Het doel is om de respondenten de mogelijkheid te geven om binnen 10 minuten de enquête in te vullen. Om respondenten te stimuleren om de enquête in te vullen wordt de brochure van het onderzoeksrapport beschikbaar gesteld. Dit wordt vermeld in de aanbiedingsbrief.

3.2 Enquête

In dit hoofdstuk wordt de enquête weergegeven. Hierin is de opzet en de antwoord mogelijkheden zichtbaar.

1.0 Binnen welke betrokken partij in de bouwsector bent u werkzaam?

- ○ Overheid of Gemeente
- ○ Projectontwikkeling
- ○ Architect
- ○ Adviseur (ingenieursbureau of hoofd/onderaannemers betrokken bij ontwerptraject)
- ○ Management binnen een bedrijf
- ○ Hoofd/onderaannemers (werkvoorbereidend of uitvoerend)
- ○ Leveranciers
- ○ Onderwijs
- ○ Opdrachtgevers
- ○ Anders...

Begrippen toekomstbestendige ontwerpmethodieken
Onderstaande vragen hebben betrekking op de begrippen functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen.

2.0 Zijn de betekenissen van de begrippen functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen duidelijk voor u?

- ○ Ja, beide betekenissen zijn duidelijk
- ○ Alleen het begrip functie-flexibel bouwen is duidelijk
- ○ Alleen het begrip remontabel bouwen is duidelijk
- ○ Nee, beide betekenissen zijn niet duidelijk

Functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen.
Functie-flexibel bouwen wordt binnen de sector op verschillende manieren opgevat. Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van:

Functie-flexibel bouwen: Een manier van ontwerpen, bouwen en exploiteren van bouwwerken waarbij binnen de levensduur een functiewisseling plaats kan vinden zonder ingrijpende veranderingen aan de hoofddraagconstructie. De gevelopvulling, binnen wanden, afwerkingen en installaties kunnen (los van de hoofdraagconstructie) variëren. Met functiewisselingen wordt in dit onderzoek bedoeld:

- Een interne verandering waarbij het mogelijk is om de indeling van de plattegrond aan te passen binnen een gebruiksfunctie, zonder de hoofdraagconstructie hierop aan te hoeven passen.
- Een interne verandering waarbij het mogelijk is om de gebruiksfunctie aan te passen, zonder de hoofdraagconstructie hierop aan te hoeven passen.

3.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

	1	2	3	4	5	6	
Helemaal mee oneens	○	○	○	○	○	○	Helemaal mee eens

Remotabel bouwen wordt binnen de sector op verschillende manieren opgevat. Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van:

Een manier van bouwen waarbij verschillende componenten makkelijk te demonteren en vervolgens te verplaatsen, repareren, vervangen of her te gebruiken (binnen nieuw project) zijn.

4.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

	1	2	3	4	5	6	
Helemaal mee oneens	○	○	○	○	○	○	Helemaal mee eens

5.0 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen?

	Geen projecten	1 t/m 3 project(en)	4 t/m 6 projecten	6 of meer projecten
Functie-flexibel bou...	○	○	○	○
Remontabel bouwen	○	○	○	○

6.0 Wat is uw ervaring met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen?

	Geen ervaring	Zeer slecht	Slecht	Neutraal	Goed	Zeer goed
Functie-flexi...	○	○	○	○	○	○
Remontabel ...	○	○	○	○	○	○

7.0 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Verwacht u dat binnen de levensduur de hoofddraagconstructie verplaatst, gerepareerd, vervangen of hergebruikt gaat worden?

- ○ Geen mening
- ○ Nee, er zal geen demontage plaatsvinden binnen de levensduur
- ○ Ja, eens per 50 jaar zal een demontage plaatsvinden (1 remontage)
- ○ Ja, eens per 25 jaar zal een demontage plaatsvinden (2 remontages)
- ○ Ja, eens per 15 jaar zal een demontage plaatsvinden (3/4 remontages)
- ○ Ja, eens per 10 jaar zal een demontage plaatsvinden (5 remontages)
- ○ Ja, eens per 5 jaar zal een demontage plaatsvinden (10 remontages)

8.0 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Is het aannemelijk om een functiewijziging te verwachten?

- ○ Geen mening
- ○ Nee, er zal geen functiewisseling plaatsvinden binnen de levensduur
- ○ Ja, eens per 50 jaar zal een functiewisseling plaatsvinden (1 functiewisseling)
- ○ Ja, eens per 25 jaar zal een functiewisseling plaatsvinden (2 functiewisselingen)
- ○ Ja, eens per 15 jaar zal een functiewisseling plaatsvinden (3/4 functiewisselingen)
- ○ Ja, eens per 10 jaar zal een functiewisseling plaatsvinden (5 functiewisselingen)
- ○ Ja, eens per 5 jaar zal een functiewisseling plaatsvinden (10 functiewisselingen)

9.0 Welke gebruiksfuncties dienen volgens u opgenomen te worden in een functie-flexibel bouwplan?

	Wel	Niet
Woonfuctie	○	○
Bijeenkomstfunctie	○	○
Celfunctie	○	○
Gezondheidszorgfunctie	○	○
Industriefunctie	○	○
Kantoorfunctie	○	○
Logiesfunctie	○	○
Onderwijsfunctie	○	○
Sportfunctie	○	○
Winkelfunctie	○	○

10.0 De concluderende vraag luidt: Welke manier van ontwerpen is het meest toekomst bestendig met een oog op technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen?

- ○ Functie-flexibel bouwen
- ○ Remontabel bouwen
- ○ Anders...

Begrippen toekomstbestendige bouwmethodieken
Onderstaande vragen hebben betrekking op de begrippen moduleconcepten en elementenconcepten.

11.0 Zijn de betekenissen van de begrippen moduleconcept en elementenconcept duidelijk voor u?

- ○ Ja, beide betekenissen zijn duidelijk
- ○ Alleen het begrip moduleconcept is duidelijk
- ○ Alleen het begrip elementenconcept is duidelijk
- ○ Nee, beide betekenissen zijn niet duidelijk

Moduleconcepten en elementenconcepten
Moduleconcepten worden binnen de sector op verschillende manieren opgevat. Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van:

Geprefabriceerde modules, bestaande uit wanden, kolommen en vloeren, die als één complete unit op een vrachtwagen getransporteerd worden. De modules kunnen in de fabriek worden voorzien van installaties, afwerkingen en gevelbekledingen.

12.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

	1	2	3	4	5	6	
Helemaal mee oneens	○	○	○	○	○	○	Helemaal mee eens

Elementenconcepten worden binnen de sector op verschillende manieren opgevat. Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van:

Geprefabriceerde losse componenten, bestaande uit wanden, kolommen of vloeren, die worden gestapeld op een vrachtwagen en worden getransporteerd naar de bouwplaats. Ook kunnen de elementen in de fabriek worden voorzien van installaties, afwerkingen en gevelbekledingen.

13.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

	1	2	3	4	5	6	
Helemaal mee oneens	○	○	○	○	○	○	Helemaal mee eens

14.0 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met moduleconcepten en elementenconcepten.

	Geen projecten	1 t/m 3 project(en)	4 t/m 6 projecten	6 of meer projecten
Moduleconcepten	○	○	○	○
Elementenconcept…	○	○	○	○

15.0 Wat is uw ervaring met moduleconcepten en elementenconcepten?

	Geen ervaring	Zeer slecht	Slecht	Neutraal	Goed	Zeer goed
Moduleconc…	○	○	○	○	○	○
Elementenco…	○	○	○	○	○	○

16.0 Welke gebruiksfuncties zijn toepasbaar voor moduleconcepten en elementenconcepten? Meerdere antwoorden zijn mogelijk per gebruiksfunctie.

	Moduleconcepten	Elementenconcepten
Woonfuctie	○	○
Bijeenkomstfunctie	○	○
Celfunctie	○	○
Gezondheidszorgfunctie	○	○
Industriefunctie	○	○
Kantoorfunctie	○	○
Logiesfunctie	○	○
Onderwijsfunctie	○	○
Sportfunctie	○	○
Winkelfunctie	○	○

17.0 Wat is volgens u de invloed van beide montageconcepten op de architectonische ontwerpvrijheid?

	Moduleconcepten	Elementenconcepten
Geen mening	○	○
Zeer beperkte ontwerpvrijheid	○	○
Beperkte ontwerpvrijheid	○	○
Redelijke beperkte ontwerpvrijheid	○	○
Nauwelijks beperkte	○	○
Geen beperkte ontwerpvrijeheid	○	○

18.0 De concluderende vraag luidt: Welke geprefabriceerde bouwmethode is het meest toekomst bestendig met een oog op technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen?

- ○ Moduleconcepten
- ○ Elementenconcepten
- ○ Anders...

Bedankt voor uw bijdrage!

Als u alle vragen heeft beantwoord, mag u op ‘verzenden’ klikken.

Als u interesse heeft in de brochure over: een elementenconcept in houtconstructie waarbij functie-flexibiliteit centraal staat. Kunt u hieronder uw e-mailadres achterlaten. De verwachte opleverdatum van de brochure is rond juli 2021.

Korte antwoordtekst

3.3 Relevantie enquête vragen

In dit hoofdstuk worden de vragen van de enquête weergegeven inclusief toelichting over de relevatie van de vraag(en).

1.0 Binnen welke betrokken partij in de bouwsector bent u werkzaam?

Deze vaag is relevant omdat er wordt verwacht dat de ervaringen en de denkwijze van de diverse partijen binnen de bouw op het gebied van functie-flexibel en remontabel bouwen uitlopend zijn. Tot slot zal vraag 1.0 de verschillen en overeenkomsten van de diverse betrokken partijen binnen de bouwsector met betrekking tot deze enquête inzichtelijk maken.

2.0 Zijn de betekenissen van de begrippen functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen duidelijk voor u?

Deze vraag is relevant omdat hierbij uit zal wijzen of men de definitie van bovenstaande begrippen begrijpt zonder verdere toelichting. Daarnaast leidt deze vraag een nieuw onderwerp in waarbij de bevraagde gestimuleerd wordt om actief na te denken over het item.

3.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

Deze vraag is relevant omdat hieruit duidelijk wordt of de beschreven definitie overeenkomt met de gedachtegang van de respondenten. Daarnaast zullen de vervolgvragen gebaseerd zijn op de hierboven genoemde definitie. Het is van belang dat de volgende vragen zullen worden beantwoord aan de hand van een unanieme definitie.

4.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

Zie toelichting vraag 3.0.

5.0 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen?

Deze vraag is relevant omdat hierbij inzicht wordt verkregen over de huidige ervaring op het gebied van bovenstaande onderwerpen. Hieruit kan achterhaald worden in welke fase van innovatie de betrokken partijen zich bevinden. Ook dient deze vraag als kwaliteitsbeschouwing voor de volgende vraag. Wanneer weinig is gewerkt met bovenstaande onderdelen kan het antwoord op de volgende vraag kwalitatief minder bruikbaar zijn.

6.0 Wat is uw ervaring met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen?

De vraag is relevant omdat aan de hand van de resultaten diverse partijen met elkaar vergeleken kunnen worden. Daarnaast kan de algemene ervaring met betrekking tot de verschillende onderdelen inzicht geven in de toepasbaarheid. De vraag is pas relevant als meerdere respondenten ervaring hebben met de onderwerpen (zie vorige vraag).

7.0 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Verwacht u dat binnen de levensduur de hoofddraagconstructie verplaatst, gerepareerd, vervangen of hergebruikt gaat worden?

Uit deze vraag kan de relevantie van bepaalde onderdelen bepaald worden. Uit het resultaat van deze vraag kan bepaald worden welke manier van bouwen meer rendabel is in vergelijking met de andere ontwerpmethode.

8.0 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Is het aannemelijk om een functiewijzing te verwachten?

Zie vraag 7.0

9.0 Welke gebruiksfuncties dienen volgens u opgenomen te worden in een functie-flexibel bouwplan?

Door het stellen van deze vraag kan inzicht verkregen worden over de mogelijke functies die toepasbaar zijn voor een functie-flexibel ontwerp. Door de resultaten van vraag 16.0 kunnen de verschillen en overeenkomsten tussen ontwerpconcepten en bouwconcepten aan het licht komen.

10.0 De concluderende vraag luidt: Welke manier van ontwerpen is het meest toekomst bestendig met een oog op technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen?

Deze vraag dient als samenvattend oordeel van de respondenten m.b.t. bovenstaande onderwerpen. Hieruit kunnen conclusies getrokken worden over de toepasbaarheid van functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen.

11.0 Zijn de betekenissen van de begrippen moduleconcept en elementenconcept duidelijk voor u?

Deze vraag is relevant omdat hierbij uit zal wijzen of men de definitie van bovenstaande begrippen begrijpt zonder verdere toelichting. Daarnaast leidt deze vraag een nieuw onderwerp in waarbij de bevraagde gestimuleerd wordt om actief na te denken over het item.

12.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

Deze vraag is relevant omdat hieruit duidelijk wordt of de beschreven definitie overeenkomt met die van de respondenten. Daarnaast zullen de vervolgvragen gebaseerd zijn op de hierboven genoemde definitie. Het is van belang dat de volgende vragen zullen worden beantwoord aan de hand van een unanieme definitie.

13.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

Zie toelichting vraag 12.0.

14.0 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met moduleconcepten en elementenconcepten.

Zie toelichting vraag 5.0.

15.0 Wat is uw ervaring met moduleconcepten en elementenconcepten?

Zie toelichting vraag 6.0.

16.0 Welke gebruiksfuncties zijn toepasbaar voor moduleconcepten en elementenconcepten? Meerdere antwoorden zijn mogelijk per gebruiksfunctie.

Uit deze vraag kan de relevantie van bepaalde onderdelen bepaald worden. Uit het resultaat van deze vraag kan bepaald worden welke manier van bouwen meer rendabel is in vergelijking met de andere bouwmethode.

17.0 Wat is volgens u de invloed van beide montageconcepten op de architectonische ontwerpvrijheid?

Door industrialisering kan de ontwerpvrijheid beinvloeden. Door deze vraag te stellen kan de ernst van de mogelijke negatieve kant van het industraliseren beoordeelt worden door de respondenten. Dit kan meespelen in de waardeanalyse van een bouwwerk.

18.0 De concluderende vraag luidt: Welke geprefabriceerde bouwmethode is het meest toekomst bestendig met een oog op technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen?

Deze vraag dient als samenvattend oordeel van de respondenten m.b.t. bovenstaande onderwerpen. Hieruit kunnen conclusies getrokken worden over de toepasbaarheid van moduleconcepten en elementenconcepten.

3.4 Teksten bekendmaking enquête

Voor het versturen van de enquête zijn verschillende bekendmaking teksten geschreven. Deze worden in dit hoofdstuk vermeld.

3.4.1 Aanbiedingsbrief

Beste bouwsector,

De bouwsector ondergaat momenteel een transitie waarbij verduurzamen en industrialiseren een steeds prominentere rol gaan spelen om de klimaatdoelstellingen te behalen. Binnen deze transitie wordt er gezocht naar toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodieken. Binnen de sector wordt er gesproken over functie-flexibel- en remontabel bouwen en over geïndustrialiseerde module- en elementenconcepten.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de bekendheid van bovenstaande begrippen in de bouwsector en om inzicht te geven over welke manier van bouwen meer toekomstbestendig is om de sector te verduurzamen. Ook heeft het voor de afstudeerstudenten als doel om genomen besluiten met betrekking tot het afstudeeronderzoek te evalueren en ter discussie te stellen.

Het invullen van de enquête zal ongeveer 10 minuten van uw tijd in beslag nemen. De resultaten van het onderzoek zullen geheel anoniem verwerkt worden. Het is aan te raden om de enquête via een computer of laptop in de vullen. Het retourneren van de enquête gebeurt automatisch als u op versturen klikt. Dit is uw kans om uw mening te geven!

Het onderzoek wordt uitgevoerd door Bob van Alst en Stijn van den Broek, afstudeerstudenten van HAN, Hogeschool Arnhem en Nijmegen Bouwkunde, afstudeerrichting constructie. Als u vragen of opmerkingen heeft over de enquête, kunt u contact opnemen met Bob via bgj.vanalst@student.han.nl.

Alvast willen wij u bedanken voor de deelname aan dit onderzoek. De enquête invullen is mogelijk tot en met 28 maart 2021.

Als u geïnteresseerd bent in de brochure van het afstudeeronderzoek: een utilitair elementenconcept uitgevoerd in houtconstructie uitwerken waarbij functie-flexibiliteit centraal staat. Dan kunt u op het einde van deze enquête uw e-mailadres achterlaten en zal de brochure van het elementenconcept naar u verstuurd worden.

Met vriendelijke groet,

Bob van Alst en Stijn van den Broek

3.4.2 Aankondiging voor LinkedIn en e-mail

De tekst hieronder wordt gebruikt om de respondenten op een beknopte manier in te lichten over de enquête. Deze aankondiging zal via LinkedIn en e-mail verspreid worden. Vervolgens zal de link van de enquête worden vermeld en wordt de volledige aanbiedingsbrief in de enquête vermeld.

Enquête toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodieken!

Beste bouwsector,

De bouwsector ondergaat momenteel een transitie waarbij verduurzamen en industrialiseren een steeds prominentere rol gaan spelen om de klimaatdoelstellingen te behalen. Binnen deze transitie wordt er gezocht naar toekomstbestendige ontwerp- en bouwmethodieken. Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de bekendheid van bovenstaande begrippen in de bouwsector en om inzicht te geven over welke manier van bouwen meer toekomstbestendig is om de bouw te verduurzamen.

Dit is uw kans om uw mening te geven!

Het invullen van de enquête zal ongeveer 10 minuten van uw tijd in beslag nemen.

Gratis brochure!

Als u geïnteresseerd bent in de brochure van het afstudeeronderzoek: een utilitair elementenconcept uitgevoerd in houtconstructie uitwerken waarbij functie-flexibiliteit centraal staat. Dan kunt u op het einde van deze enquête uw e-mailadres achterlaten en zal de brochure van het elementenconcept naar u verstuurd worden.

Link: https://forms.gle/AASXjjw9xM8RtQ5D6

Alvast bedankt voor uw bijdrage!

Met vriendelijke groet,

Bob van Alst en Stijn van den Broek
Studenten HAN, afstudeerrichting constructie

3.5 Enquête testen

Om een optimale en bruikbare vragenlijst op te stellen, wordt de enquête eerst getest door een selectie van proefrespondenten voordat deze grootschalig wordt verspreid. Deze selectie bestaat uit:

- Begeleiders HAN
- Begeleiders Croes
- Familie werkzaam in bouwsector

Wanneer uit de resultaten van de proef blijkt dat de benodigde informatie niet wordt gewonnen, kon de vragenlijst aangepast worden.

3.6 Resultaten enquête

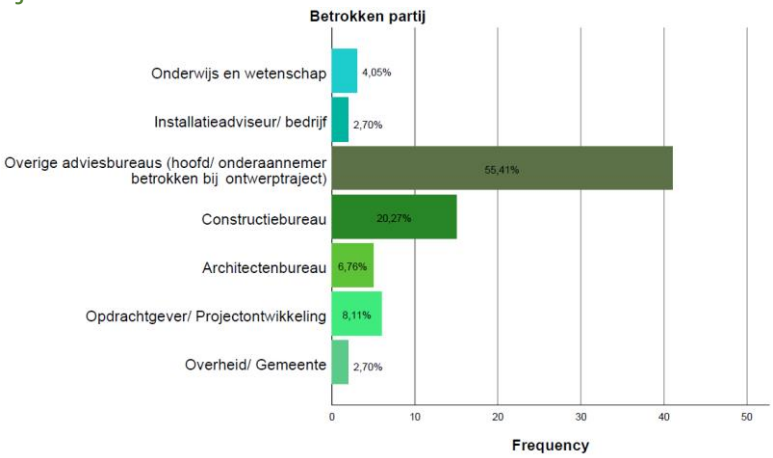
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de enquête weergeven doormiddel van tabellen en grafieken. Deze tabellen en grafieken zijn doormiddel van IMB SPSS Statistics en Excel gerealiseerd. Per vraag worden hieronder de tabel en/of de grafiek weergegeven met daarbij de bevindingen van de antwoorden op de vraag(en).

1.0 Binnen welke betrokken partij in de bouwsector bent u werkzaam?

Betrokken partij

		Frequency	Percent
Valid	Overheid/ Gemeente	2	2,7
	Opdrachtgever/ Projectontwikkeling	6	8,1
	Architectenbureau	5	6,8
	Constructiebureau	15	20,3
	Overige adviesbureaus (hoofd/ onderaannemer betrokken bij ontwerptraject)	41	55,4
	Installatieadviseur/ bedrijf	2	2,7
	Onderwijs en wetenschap	3	4,1
	Total	74	100,0

Tabel 1 – Betrokken partijen binnen de respondenten, (1).

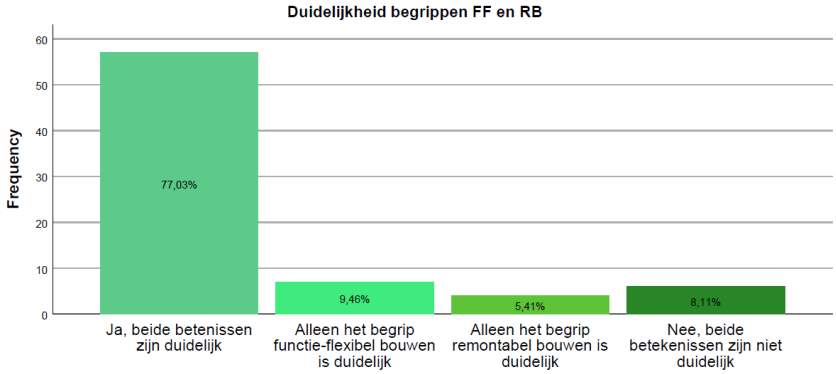


Grafiek 1 – Betrokken partijen binnen de respondenten, (1).

Bevindingen:

Totaal hebben 74 respondenten de enquête ingevuld. De steekproefgrootte van 377 personen is niet behaald. Echter, de onderzoeksresultaten zijn wel bruikbaar voor de antwoorden op de vragen van de afstudeerstudenten. Binnen de betrokken partijen zijn de meeste respondenten afkomstig uit een 'overige adviesbureau (hoofd/onderaannemer betrokken bij het ontwerptraject'. Dit komt voornamelijk door de respondenten binnen de directe kring via werk, studie, familie en vrienden.

2.0 Zijn de betekenissen van de begrippen functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen duidelijk voor u?



Grafiek 2– Duidelijkheid begrippen functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen bij de respondenten, (1).

Bevindingen:

Vanuit de respondenten wist 77,03% wat de begrippen functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen inhielden. Dit betekent dat de meeste personen binnen de sector weten wat de begrippen zijn en inhouden.

3.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

FF vinden in betekenis

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Grotendeels mee oneens	2	2,7	2,7	2,7
	Eens	5	6,8	6,8	9,5
	Grotendeels mee eens	40	54,1	54,1	63,5
	Helemaal mee eens	27	36,5	36,5	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 2 – Definitie functie-flexibel bouwen van afstudeerstudenten, (1).

Statistics

FF vinden in betekenis

N	Valid	74
	Missing	0
Mean		5,22

Tabel 3 – Gemiddelde antwoord van definitie functie-flexibel bouwen van de respondenten, (1).

Bevindingen:

De definitie die door de afstudeerstudenten is geformuleerd van functie-flexibel bouwen wordt door het grootste deel van de respondenten herkend. Dit is terug te zien in de tabellen hierboven. 90,6% van de respondenten is het grotendeels mee eens/ helemaal mee eens. Het gemiddelde ligt op 5,22 (5= Grotendeels mee eens en 6= Helemaal mee eens).

4.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

RB vinden in betekenis

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Grotendeels mee oneens	1	1,4	1,4	1,4
	Eens	8	10,8	10,8	12,2
	Grotendeels mee eens	35	47,3	47,3	59,5
	Helemaal mee eens	30	40,5	40,5	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 2 – Definitie remontabel bouwen van afstudeerstudenten, (1).

Statistics

RB vinden in betekenis

N	Valid	74
	Missing	0
Mean		5,26

Tabel 3 – Gemiddelde antwoord van definitie remontabel bouwen van de respondenten, (1).

Bevindingen:

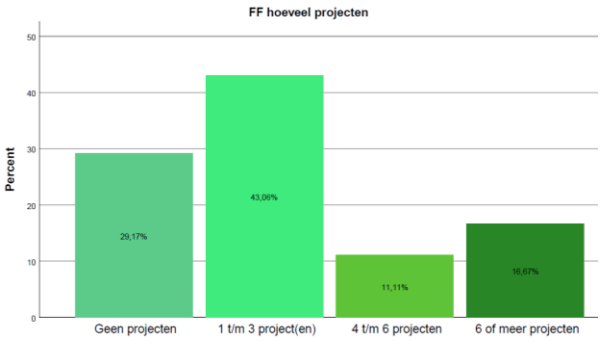
De definitie die door de afstudeerstudenten is geformuleerd van remontabel bouwen wordt door het grootste deel van de respondenten herkend. Dit is terug te zien in de tabellen hierboven. 87,8% van de respondenten is het grotendeels mee eens/ helemaal mee eens. Het gemiddelde ligt op 5,26 (5= Grotendeels mee eens en 6= Helemaal mee eens).

5.0 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen?

FF hoeveel projecten

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen projecten	21	28,4	29,2	29,2
	1 t/m 3 project(en)	31	41,9	43,1	72,2
	4 t/m 6 projecten	8	10,8	11,1	83,3
	6 of meer projecten	12	16,2	16,7	100,0
	Total	72	97,3	100,0	
Missing	System	2	2,7		
Total		74	100,0		

Tabel 4 – Aantal projecten ervaring van respondenten met functie-flexibel bouwen, (1).

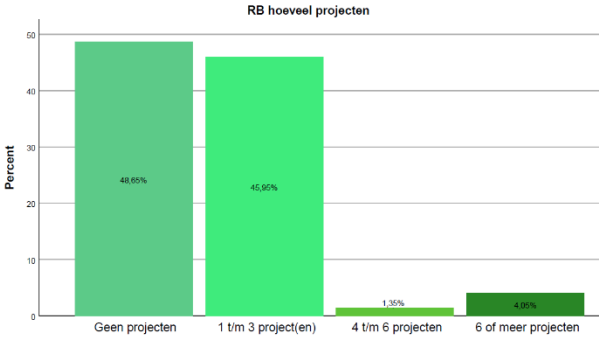


Grafiek 3– Aantal projecten ervaring van respondenten met functie-flexibel bouwen, (1).

RB hoeveel projecten

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen projecten	36	48,6	48,6	48,6
	1 t/m 3 project(en)	34	45,9	45,9	94,6
	4 t/m 6 projecten	1	1,4	1,4	95,9
	6 of meer projecten	3	4,1	4,1	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 5 – Aantal projecten ervaring van respondenten met remontabel bouwen, (1).



Grafiek 4– Aantal projecten ervaring van respondenten met remontabel bouwen, (1).

<u>Bevindingen:</u>

In bovenstaande tabellen en grafieken is weergeven wat de huidige stand van zaken is met betrekking tot de hoeveelheid projectervaring van bouwend Nederland met functie-flexibel en remontabel bouwen.

Voor het functie-flexibel bouwen valt op dat de grootste groep geen tot weinig projectervaring heeft. 27,8% van de respondenten heeft tijdens de uitvoering van 4 of meer projecten ervaring opgedaan met functie-flexibel bouwen. 3 op de 10 respondenten heeft nog geen ervaring met functie-flexibel bouwen.

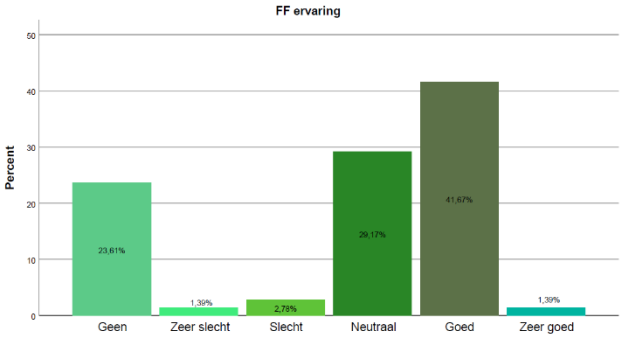
Tevens, voor het remontabel bouwen valt ook op dat de grootste groep geen tot weinig projectervaring heeft. 5,4% van de respondenten heeft tijdens de uitvoering van 4 of meer projecten ervaring opgedaan met remontabel bouwen. Bijna de helft van de respondenten heeft zelfs nog nooit een project meegemaakt waarbij remontabel bouwen aan bod kwam.

6.0 Wat is uw ervaring met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen?

FF ervaring

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen	17	23,0	23,6	23,6
	Zeer slecht	1	1,4	1,4	25,0
	Slecht	2	2,7	2,8	27,8
	Neutraal	21	28,4	29,2	56,9
	Goed	30	40,5	41,7	98,6
	Zeer goed	1	1,4	1,4	100,0
	Total	72	97,3	100,0	
Missing	System	2	2,7		
Total		74	100,0		

Tabel 6 –Ervaringen van respondenten met functie-flexibel bouwen, (1).

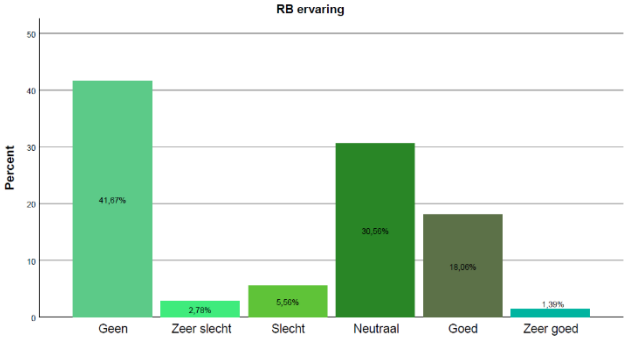


Grafiek 5– Ervaringen van respondenten met functie-flexibel bouwen, (1).

RB ervaring

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen	30	40,5	41,7	41,7
	Zeer slecht	2	2,7	2,8	44,4
	Slecht	4	5,4	5,6	50,0
	Neutraal	22	29,7	30,6	80,6
	Goed	13	17,6	18,1	98,6
	Zeer goed	1	1,4	1,4	100,0
	Total	72	97,3	100,0	
Missing	System	2	2,7		
Total		74	100,0		

Tabel 7 – Ervaringen van respondenten met remontabel bouwen, (1).



Grafiek 6– Ervaringen van respondenten met remontabel bouwen, (1).

<u>Bevindingen:</u>

In bovenstaande tabellen en grafieken is weergeven wat de huidige stand van zaken is met betrekking tot de ervaring van bouwend Nederland met functie-flexibel en remontabel bouwen.

Voor het functie-flexibel bouwen valt op dat wanneer ervaring is opgedaan deze veelal als relatief goed wordt beschouwd.

Voor het remontabel bouwen valt op dat ervaring minder positief wordt beschouwd dan bij functie-flexibel bouwen.

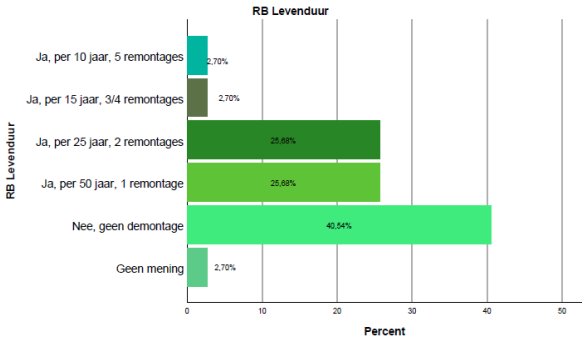
Wat bijzonder is aan de resultaten van 'geen ervaring' is dat deze groepsgrootte is afgenomen in vergelijking met voorgaande vraag. Respondenten vormen een mening zonder ervaring met bovenstaande onderwerpen.

7.0 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Verwacht u dat binnen de levensduur de hoofddraagconstructie verplaatst, gerepareerd, vervangen of hergebruikt gaat worden?

RB Levenduur

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen mening	2	2,7	2,7	2,7
	Nee, geen demontage	30	40,5	40,5	43,2
	Ja, per 50 jaar, 1 remontage	19	25,7	25,7	68,9
	Ja, per 25 jaar, 2 remontages	19	25,7	25,7	94,6
	Ja, per 15 jaar, 3/4 remontages	2	2,7	2,7	97,3
	Ja, per 10 jaar, 5 remontages	2	2,7	2,7	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 8 – Remontages binnen remontabel bouwen, (1).



Grafiek 7– Remontages binnen remontabel bouwen, (1).

Bevindingen:

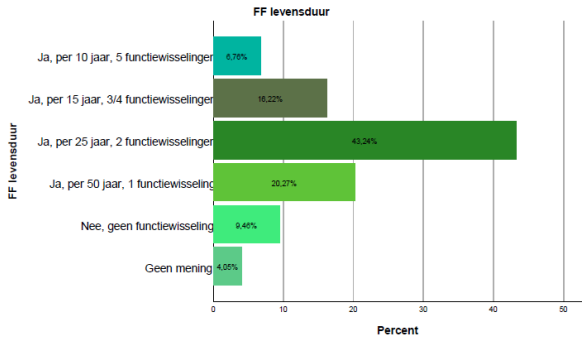
De meningen van de verschillende respondenten is binnen deze vraag vrij verdeeld. 40,5% van de respondenten verwacht dat binnen de levensduur de hoofddraagconstructie geen demontage zal plaatsvinden. Echter, 51,4% van de respondenten verwacht dat binnen de levensduur de hoofddraagconstructie 1 á 2 remontages zullen plaatsvinden.

8.0 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Is het aannemelijk om een functiewijziging te verwachten?

FF levensduur

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen mening	3	4,1	4,1	4,1
	Nee, geen functiewisseling	7	9,5	9,5	13,5
	Ja, per 50 jaar, 1 functiewisseling	15	20,3	20,3	33,8
	Ja, per 25 jaar, 2 functiewisselingen	32	43,2	43,2	77,0
	Ja, per 15 jaar, 3/4 functiewisselingen	12	16,2	16,2	93,2
	Ja, per 10 jaar, 5 functiewisselingen	5	6,8	6,8	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 9 – Functiewisselingen binnen functie-flexibel bouwen, (1).

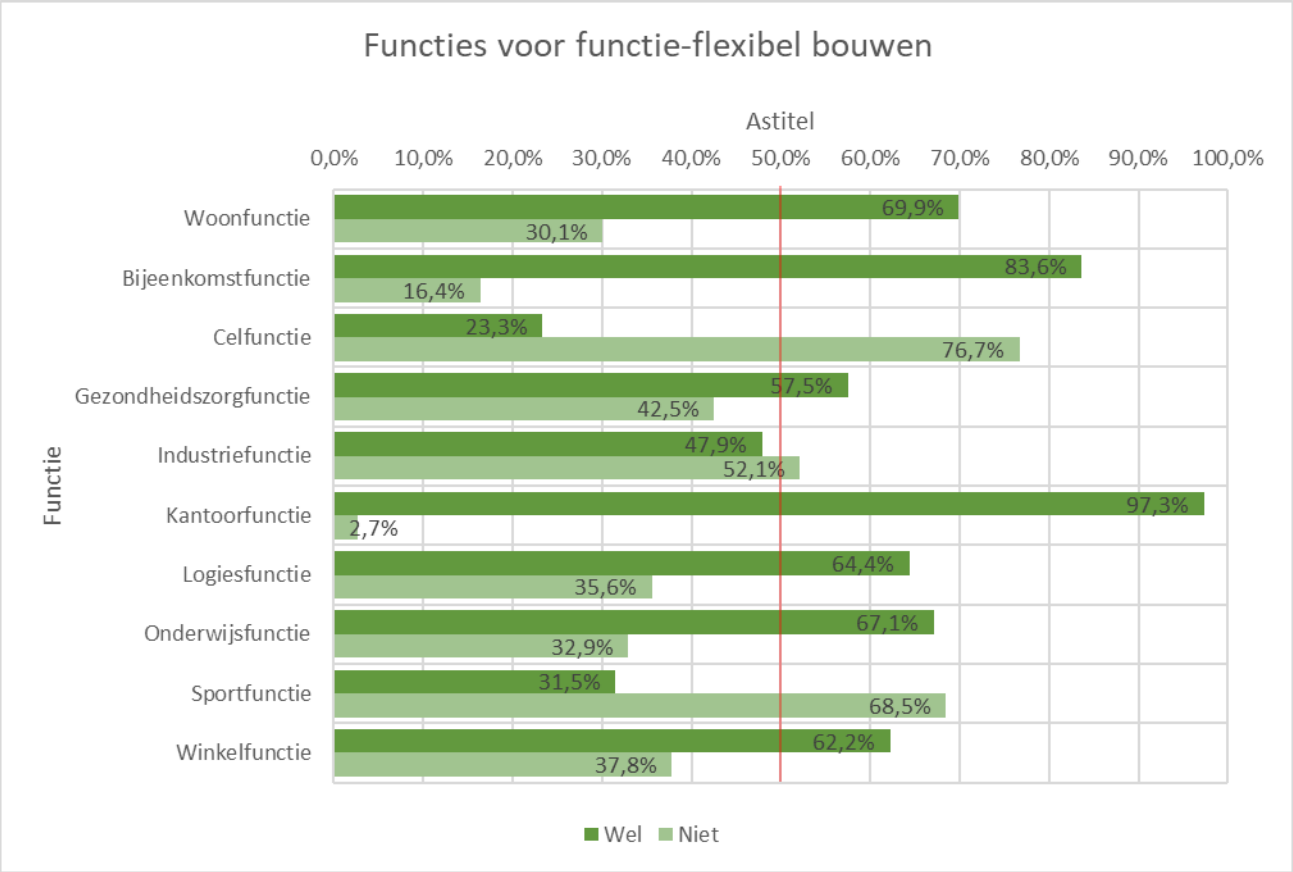


Grafiek 8– Functiewisselingen binnen functie-flexibel bouwen, (1).

Bevindingen:

Binnen de antwoorden komt naar voren dat de respondenten verwachten dat er binnen de levensduur van een gebouw één of meerdere functiewisseling(en) zal plaatsvinden. Het aantal functiewisselingen verschilt binnen de groep respondenten. De grootste groep respondenten (43,2%) verwacht 2 functiewisselingen binnen de berekende levensduur van de hoofddraagconstructie. Een kleine groep (9,5%) verwacht geen functiewisseling.

9.0 Welke gebruiksfuncties dienen volgens u opgenomen te worden in een functie-flexibel bouwplan?



Grafiek 9– Gebruiksfuncties voor functie-flexibel bouwenconcept, (1).

Bevindingen:

Op deze vraag heeft 100% van de respondenten antwoord gegeven. Hierdoor kan aangenomen worden dat de gebruiksfuncties die boven de 50% scoren met 'wel', meegenomen kunnen worden voor een functie-flexibel bouwconcept. De gebruiksfuncties die genomen kunnen worden zijn:

- Woonfunctie 69,9%
- Bijeenkomstfunctie 83,6%
- Gezondheidzorgfunctie 57,5%
- Kantoorfunctie 97,3%
- Logiesfunctie 64,4%
- Onderwijsfunctie 67,1%
- Winkelfunctie 62,2%

10.0 De concluderende vraag luidt: Welke manier van ontwerpen is bij utiliteitsbouw het meest toekomst bestendig met een oog op technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen?

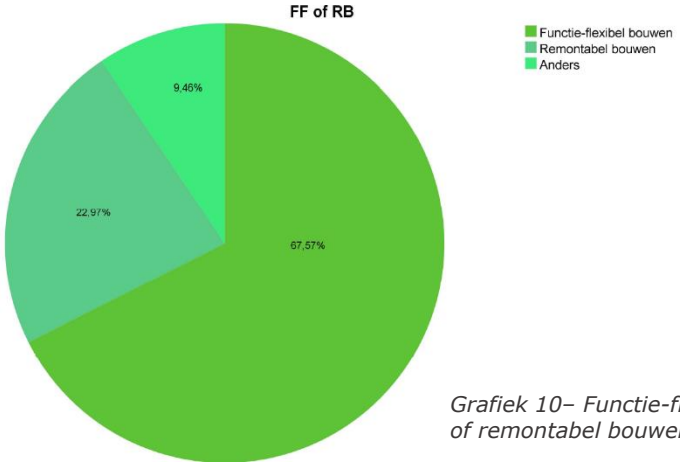
FF of RB

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Functie-flexibel bouwen	50	67,6	67,6	67,6
	Remontabel bouwen	17	23,0	23,0	90,5
	Anders	7	9,5	9,5	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 10 – Functie-flexibel bouwen of remontabel bouwen, (1).

	Anders
1	Dit is naar mijn mening afhankelijk van de locatie en de eerste functie.
2	je moet streven naar beide opties
3	je moet streven naar beide opties
4	allerlei vormen van bouwen. er is geen ei van columbus
5	Beiden zijn m.i.z. belangrijk vanuit een duurzaam oogpunt. Remontabel/circulair bouwen staat nu echter veel meer in de schijnwerpers. Het belang van flexibiliteit wordt onderbelicht.
6	Remontabel bouwen gebeurt eigenlijk niet, dit is theoretisch gezien leuk maar in de praktijk worden uitkomende materialen elders in een andere vorm wederom gebruikt
7	Functie-flexibel en remontabel bouwen in hout!

Tabel 11 – Antwoorden anders op vraag 10.0, (1).

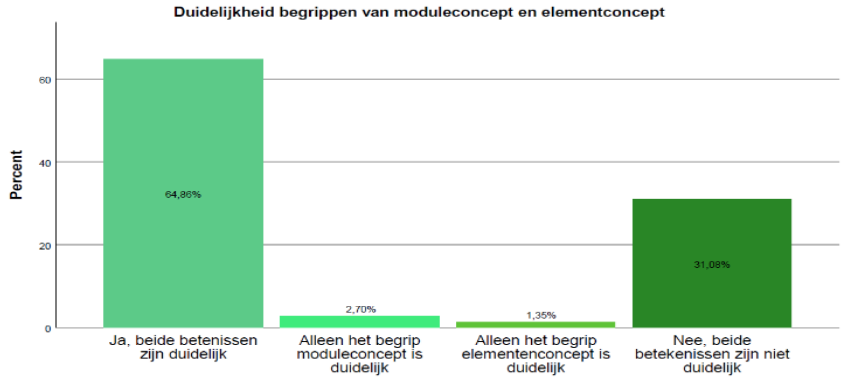


Grafiek 10– Functie-flexibel bouwen of remontabel bouwen, (1).

Bevindingen:

De meerderheid van de respondenten (67,6%) denkt dat functie-flexibel bouwen meer toekomstbestendig is met een oog technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen. 9,5 proces van de respondenten heeft een andere mening ingevuld deze zijn weergegeven in tabel 11. Bij deze meningen kwam voornamelijk naar voren dat de manier van bouwen afhankelijk is van meerdere factoren en dat één specifieke ontwerpmethode niet alle bouwwerken kan beslaan.

11.0 Zijn de betekenissen van de begrippen moduleconcept en elementenconcept duidelijk voor u?



Grafiek 11– Duidelijkheid begrippen moduleconcept en elementenconcept bij de respondenten, (1).

Bevindingen:

Vanuit de respondenten wist 64,9% wat de begrippen module- en elementenconcepten inhielden. Dit betekent dat de meeste personen binnen de sector weten wat de begrippen zijn en inhouden. Echter, 31,1% is niet bekend met deze begrippen.

12.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

MC vinden in betekenins

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Oneens	3	4,1	4,1	4,1
	Eens	9	12,2	12,2	16,2
	Grotendeels mee eens	34	45,9	45,9	62,2
	Helemaal mee eens	28	37,8	37,8	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 12 – Definitie moduleconcept van afstudeerstudenten, (1).

Statistics

MC vinden in betekenins

N	Valid	74
	Missing	0
Mean		5,18

Tabel 13 – Gemiddelde antwoord van definitie moduleconcept van de respondenten, (1).

Bevindingen:

De definitie die door de afstudeerstudenten is geformuleerd van moduleconcept wordt door het grootste deel van de respondenten herkend. Dit is terug te zien in de tabellen hierboven. 83,7% van de respondenten is het grotendeels mee eens/ helemaal mee eens. Het gemiddelde ligt op 5,18 (5= Grotendeels mee eens en 6= Helemaal mee eens).

13.0 Na het lezen van de betekenis hierboven, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?

EC vinden in betekenis

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Oneens	3	4,1	4,1	4,1
	Eens	7	9,5	9,5	13,5
	Grotendeels mee eens	39	52,7	52,7	66,2
	Helemaal mee eens	25	33,8	33,8	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 14 – Definitie elementenconcept van afstudeerstudenten, (1).

Statistics

EC vinden in betekenis

N	Valid	74
	Missing	0
Mean		5,16

Tabel 13 – Gemiddelde antwoord van definitie moduleconcept van de respondenten, (1).

Bevindingen:

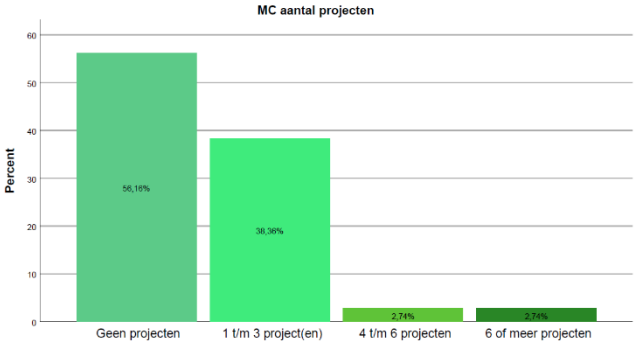
De definitie die door de afstudeerstudenten is geformuleerd van elementenconcept wordt door het grootste deel van de respondenten herkend. Dit is terug te zien in de tabellen hierboven. 86,5% van de respondenten is het grotendeels mee eens/ helemaal mee eens. Het gemiddelde ligt op 5,16 (5= Grotendeels mee eens en 6= Helemaal mee eens).

14.0 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met moduleconcepten en elementenconcepten.

MC aantal projecten

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen projecten	41	55,4	56,2	56,2
	1 t/m 3 project(en)	28	37,8	38,4	94,5
	4 t/m 6 projecten	2	2,7	2,7	97,3
	6 of meer projecten	2	2,7	2,7	100,0
	Total	73	98,6	100,0	
Missing	System	1	1,4		
Total		74	100,0		

Tabel 14 – Aantal projecten ervaring van respondenten met moduleconcepten, (1).

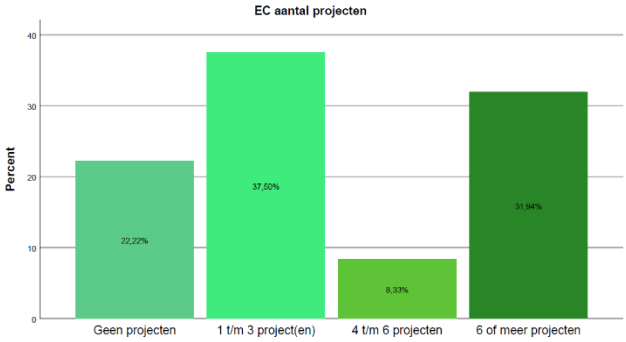


Grafiek 12– Aantal projecten ervaring van respondenten met moduleconcepten, (1).

EC aantal projecten

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen projecten	16	21,6	22,2	22,2
	1 t/m 3 project(en)	27	36,5	37,5	59,7
	4 t/m 6 projecten	6	8,1	8,3	68,1
	6 of meer projecten	23	31,1	31,9	100,0
	Total	72	97,3	100,0	
Missing	System	2	2,7		
Total		74	100,0		

Tabel 15 – Aantal projecten ervaring van respondenten met elementenconcepten, (1).



Grafiek 13– Aantal projecten ervaring van respondenten met elementenconcepten, (1).

<u>Bevindingen:</u>

In bovenstaande tabellen en grafieken is weergeven wat de huidige stand van zaken is met betrekking tot de hoeveelheid projectervaring van bouwend Nederland met module- en elementenconcepten.

Voor het moduleconcept valt op dat de grootste groep geen tot weinig projectervaring heeft. 5,4% van de respondenten heeft tijdens de uitvoering van 4 of meer projecten ervaring opgedaan met moduleconcepten. Meer dan de helft van de respondenten heeft zelfs nog nooit een project meegemaakt waarbij een moduleconcept aan bod kwam.

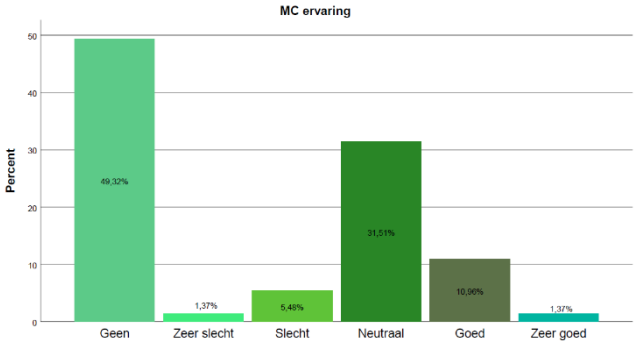
Tevens, voor het elementenconcept valt op dat de grootste groep redelijk veel projectervaring heeft. 40,3% van de respondenten heeft tijdens de uitvoering van 4 of meer projecten ervaring opgedaan met elementenconcepten. 2 op de 10 respondenten heeft nog geen ervaring met elementenconcepten.

15.0 Wat is uw ervaring met moduleconcepten en elementenconcepten?

MC ervaring

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen	36	48,6	49,3	49,3
	Zeer slecht	1	1,4	1,4	50,7
	Slecht	4	5,4	5,5	56,2
	Neutraal	23	31,1	31,5	87,7
	Goed	8	10,8	11,0	98,6
	Zeer goed	1	1,4	1,4	100,0
	Total	73	98,6	100,0	
Missing	System	1	1,4		
Total		74	100,0		

Tabel 16 –Ervaringen van respondenten met moduleconcepten, (1).

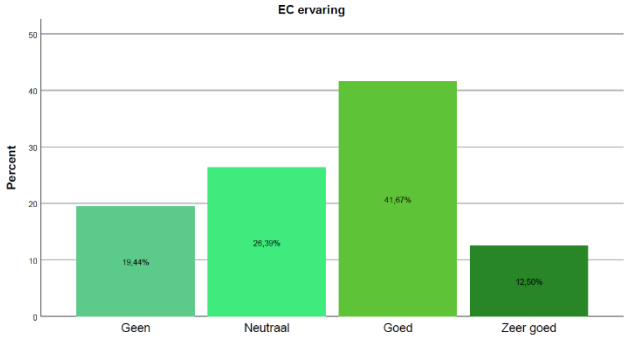


Grafiek 14– Ervaringen van respondenten met moduleconcepten, (1).

EC ervaring

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen	14	18,9	19,4	19,4
	Neutraal	19	25,7	26,4	45,8
	Goed	30	40,5	41,7	87,5
	Zeer goed	9	12,2	12,5	100,0
	Total	72	97,3	100,0	
Missing	System	2	2,7		
Total		74	100,0		

Tabel 17 –Ervaringen van respondenten met elementenconcepten, (1).



Grafiek 15– Ervaringen van respondenten met elementenconcepten, (1).

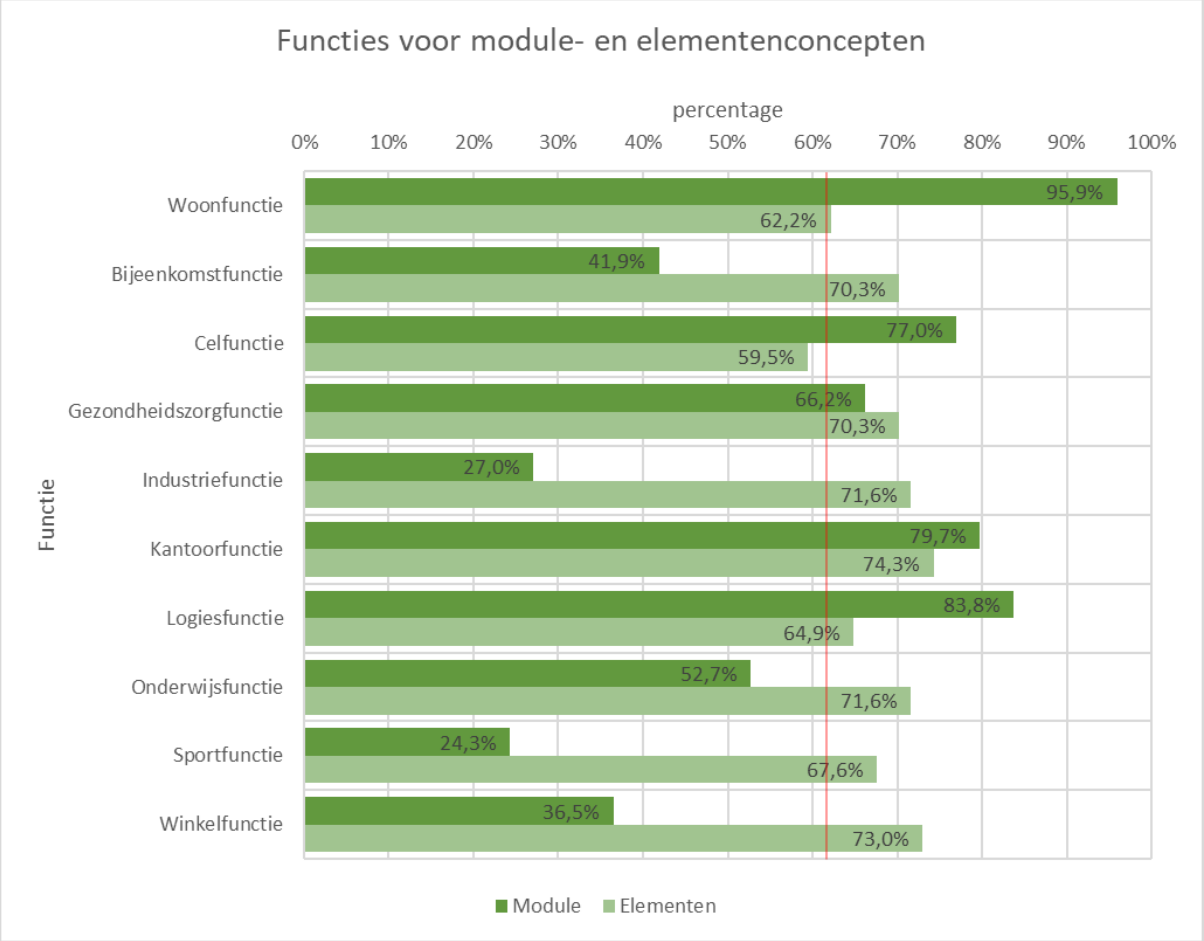
<u>Bevindingen:</u>
In bovenstaande tabellen en grafieken is weergeven wat de huidige stand van zaken is met betrekking tot de ervaring van bouwend Nederland met module- en elementenconcepten.

Voor moduleconcepten valt op dat wanneer ervaring is opgedaan deze veelal als relatief neutraal wordt beschouwd.

Voor het elementenconcepten valt op dat ervaring meer positief wordt beschouwd dan bij moduleconcepten.

Wat bijzonder is aan de resultaten van 'geen ervaring' is dat deze groepsgrootte is afgenomen in vergelijking met voorgaande vraag. Respondenten vormen een mening zonder ervaring met bovenstaande onderwerpen.

16.0 Welke gebruiksfuncties zijn toepasbaar voor moduleconcepten en elementenconcepten? Meerdere antwoorden zijn mogelijk per gebruiksfunctie.



Grafiek 16– Gebruiksfuncties voor module en elementenconcepten, (1).

Bevindingen:

Binnen deze vraag zijn de onderdelen door gemiddeld 65 respondenten beantwoord. Uit een gemiddelde scoreberekening kan aangenomen worden dat de gebruiksfuncties die boven de 62% scoren meegenomen kunnen worden voor een module- en/of elementenconcept. De gebruiksfuncties die toegepast kunnen worden voor een module- en/of elementenconcept zijn:

Moduleconcepten:

- Woonfunctie 95,9%
- Celfunctie 77,0%
- Gezondheidzorgfunctie 66,2%
- Kantoorfunctie 79,7%
- Logiesfunctie 83,8%

Elementenconcepten:

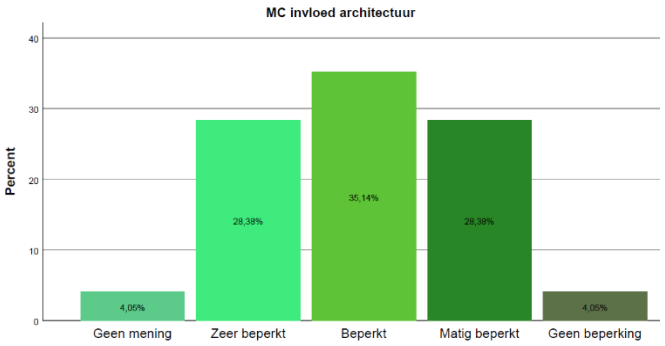
- Woonfunctie 62,2%
- Bijeenkomstfunctie 70,3%
- Gezondheidzorgfunctie 70,3%
- Industriefunctie 71,6%
- Kantoorfunctie 74,3%
- Logiesfunctie 64,9%
- Onderwijsfunctie 67,6%
- Winkelfunctie 62,2%

17.0 Wat is volgens u de invloed van beide montageconcepten op de architectonische ontwerpvrijheid?

MC invloed architectuur

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen mening	3	4,1	4,1	4,1
	Zeer beperkt	21	28,4	28,4	32,4
	Beperkt	26	35,1	35,1	67,6
	Matig beperkt	21	28,4	28,4	95,9
	Geen beperking	3	4,1	4,1	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 18 –Invloed op architectonische vrijheid op moduleconcepten, (1).

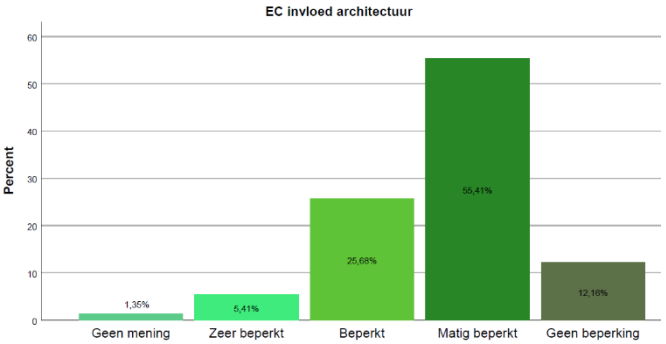


Grafiek 17 –Invloed op architectonische vrijheid op moduleconcepten, (1).

EC invloed architectuur

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Geen mening	1	1,4	1,4	1,4
	Zeer beperkt	4	5,4	5,4	6,8
	Beperkt	19	25,7	25,7	32,4
	Matig beperkt	41	55,4	55,4	87,8
	Geen beperking	9	12,2	12,2	100,0
	Total	74	100,0	100,0	

Tabel 19 –Invloed op architectonische vrijheid op elementenconcepten, (1).



Grafiek 18 –Invloed op architectonische vrijheid op elementenconcepten, (1).

Bevindingen:

In bovenstaande tabellen en grafieken is weergeven wat de huidige stand van zaken is met betrekking tot de mening over de architectonische vrijheid van bouwend Nederland in relatie met module- en elementenconcepten.

Voor moduleconcepten valt op dat de mening van de respondenten fors verdeeld is ten opzichte van elementenconcepten. Binnen moduleconcepten is er meer beperking op de architectonische vrijheid volgens de respondenten.

Voor het elementenconcepten valt op dat men minder architectonische beperkingen verwacht ten opzichte van moduleconcepten. De meeste respondenten (55,4%) hebben ‘matig beperkt’ ingevuld.

18.0 De concluderende vraag luidt: Welke geprefabriceerde bouwmethode is bij utiliteitsbouw het meest toekomst bestendig met een oog op technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen?

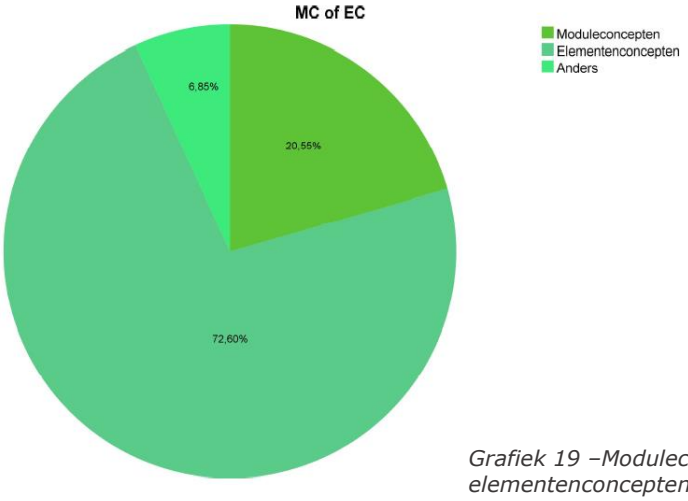
MC of EC

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Moduleconcepten	15	20,3	20,5	20,5
	Elementenconcepten	53	71,6	72,6	93,2
	Anders	5	6,8	6,8	100,0
	Total	73	98,6	100,0	
Missing	System	1	1,4		
Total		74	100,0		

Tabel 19 –Moduleconcepten of elementenconcepten, (1).

	Anders
1	dat is m.i. niet te voorspellen
2	dat is m.i. niet te voorspellen
3	beide. wel goed kijken naar de verschillende functies die je toepast
4	elkl project is anders, moduleconcept is een aannemerswens...
5	de combinatie, met elementen in modules

Tabel 20 –Antwoorden anders op vraag 18.0, (1).



Grafiek 19 –Moduleconcepten of elementenconcepten, (1).

<u>Bevindingen:</u>

De meerderheid van de respondenten (72,6%) denkt dat elementenconcepten meer toekomstbestendig zijn met een oog technische, duurzame, economische en politiek-juridische ontwikkelingen. 6,8% van de respondenten heeft een andere mening ingevuld deze zijn weergegeven in tabel 21. Bij deze meningen kwam voornamelijk naar voren dat de manier van bouwen afhankelijk is van meerdere factoren en dat één specifieke bouwmethode niet alle bouwwerken kan beslaan.

4.0 Interviews

4.1 Interview Architect NarrativA

1.0 Inleiding

1.1 Inleiding onderzoek
Het onderzoek is toegelicht.

1.2 Inleiding interview (tijdsbestek, opname en anonimiteit)
Naam mag genoemd worden, het wordt eerst gecontroleerd door Shai van Vlijmen.
Naam: *Shai van Vlijmen*
Locatie: *Teams-overleg*
Datum/tijd: *08-04-2021 15:00*

1.3 Zijn er vragen vooraf?
n.v.t.

2.0 Functie

2.1 Welke functie heeft u binnen het bedrijf NarrativA?
Ja, ik ben architect en ook de directeur van het bedrijf zelf.

2.2 Wat zijn uw werkzaamheden?
Eerst moet je zorgen dat er genoeg projecten binnen komen, dat is belangrijk. En daarnaast moet je waarmaken wat je belooft: goed ontwerp, mooi ontwerp, constructief goed ontwerp, bouwtechnisch goed ontwerp, het moet op tijd klaar zijn, moet binnen het budget, je moet het met de opdrachtgever bespreken en het moet binnen het bestemmingsplan passen. Je hebt overleggen met: de gemeente, constructeur, bouwtechnisch adviseur en ook de installatie adviseur. Soms zijn er nog meer adviseurs betrokken bij het project en alles moet met elkaar kloppen. En ik zorg ervoor dat het met elkaar klopt binnen een project. Ik doe dit niet alleen maar met de andere mensen binnen ons bureau, die vervolgens de tekeningen uitwerken. En deze tekeningen moet ik controleren voordat ik deze naar de gemeente verstuur. Dit is minder spannend maar daarna is het spannender omdat de aannemer het gaat bouwen. Omdat wanneer ikzelf fouten hebt gemaakt ik voor bepaalde zaken ook aansprakelijk ben. Dat zijn mijn werkzaamheden in het kort. Daarnaast heb ook administratieve werkzaamheden binnen het bedrijf omdat ik de directeur ben.

2.3 Hoe lang voert u deze functie al uit?
Sinds 2008, dus ongeveer 13 jaar.

3.0 Functie-flexibel en remontabel bouwen
Functie-flexibel bouwen: Een manier van ontwerpen, bouwen en exploiteren van bouwwerken waarbij binnen de levensduur een functiewisseling plaats kan vinden zonder ingrijpende veranderingen aan de hoofddraagconstructie. De gevelopvulling, binnen wanden, afwerkingen en installaties kunnen (los van de hoofdraagconstructie) variëren. Met functiewisselingen wordt in dit onderzoek bedoeld:

- Een interne verandering waarbij het mogelijk is om de indeling van de plattegrond aan te passen binnen een gebruiksfunctie, zonder de hoofdraagconstructie hierop aan te hoeven passen.

3.1 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja, dat klinkt flexibel als je de hoofddraagconstructie niet hoeft aan te passen.

Remontabel bouwen: Een manier van bouwen waarbij verschillende componenten makkelijk te demonteren en vervolgens te verplaatsen, repareren, vervangen of her te gebruiken (binnen nieuw project) zijn.

3.2 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja.

3.3 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met functie-flexibel bouwen en remontabel bouwen en wat was uw ervaring met deze methodes van bouwen/ontwerpen?
Met flexibel bouwen wel, maar met remontabel bouwen niet. Bij functie-flexibel bouwen proberen wij gebruik te maken van de buitenwanden als hoofddraagconstructie en proberen dragende binnenwanden te minimaliseren zodat de ruimte vrij-indeelbaar blijft voor de toekomst. Je blijft de afweging maken of het niet toepassen van dragende binnenwanden haalbaar is i.v.m. de kosten en materialisatie.

3.4 De gebruikelijke levensduur van een gebouw wordt berekend op 50 jaar. Vindt u het aannemelijk om een functiewijziging te verwachten? Zo ja, hoe vaak verwacht u deze?
Ja, binnen 50 jaar kan dat voorkomen. Alleen zou ik door een woning de levensduur richten op 75 á 100 jaar. Op 50 jaar wordt de constructie berekenend, zonder aanpassing of versterking van de constructie. Een woning kan makkelijk 75 á 100 jaar blijven staan.

3.5 Welke gebruiksfuncties dienen volgens u opgenomen te worden in een functie-flexibel bouwplan?

Woonfunctie:	*wel*
Bijeenkomstfunctie:	*wel*
Celfunctie:	*geen ervaring mee*
Gezondheidszorgfunctie:	*wel*
Industriefunctie:	*wel*
Kantoorfunctie:	*wel*
Logiesfunctie:	*wel*
Onderwijsfunctie:	*wel*
Sportfunctie:	*geen ervaring mee*
Winkelfunctie:	*wel*

3.6 Als u een functie-flexibel concept zou realiseren, welke verdiepingshoogte zou u dan toepassen? Zou u verschillende verdiepingshoogtes aangehouden?
Wij realiseren veel vrijstaande woningen. En de vloeren zijn onderdeel van de constructie en die zijn niet flexibel. Je zou wel de dikte van de vloer kunnen aanpassen. Voor projectontwikkelaar wordt voor de vrijehoogte van een verdieping 2,6 m aangehouden, maar voor particulieren mag dat ook minder. Als je met een verlaagd plafond werkt is deze wel flexibel. Maar wij proberen de installaties in het knieschot te verwerken en liever niet in de verdiepingsvloer.

3.7 Als u een functie-flexibel concept zou realiseren, welke stramienmaten zou u dan toepassen?
Wij werken niet met een hele strenge stramienmaat. Meestal met houtbouw wil je binnen de 5,5 m blijven. Maar wij ontwerpen maatwerk per project voor vrijstaande woningen. Dus hierop kan ik geen goed antwoord geven.

4.0 Module en elementenconcepten
Moduleconcepten: Geprefabriceerde modules, bestaande uit wanden, kolommen en vloeren, die als één complete unit op een vrachtwagen getransporteerd worden. De modules kunnen in de fabriek worden voorzien van installaties, afwerkingen en gevelbekledingen.

4.1 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja.

Elementenconcepten: Geprefabriceerde losse componenten, bestaande uit wanden, kolommen of vloeren, die worden gestapeld op een vrachtwagen en worden getransporteerd naar de bouwplaats. Ook kunnen de elementen in de fabriek worden voorzien van installaties, afwerkingen en gevelbekledingen.

4.2 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja.

4.3 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan met moduleconcepten en elementenconcepten en wat was uw ervaring met deze methodes van bouwen/ontwerpen?
We werken voornamelijk met elementenconcepten. Per project verschilt hoe gedetailleerd deze elementen naar de bouwplaats gaan. Het kan zijn dat de wandelement inclusief of exclusief gevelafwerking of alleen met stijl- en regelwerk van de HSB-wand naar de bouwplaats gaat. Met volledige moduleconcepten heb ik geen ervaring. De ervaring met elementenconcepten is goed, dat is wat wij meestal doen. De bouwtijd op locatie is kort en het project is snel wind- en waterdicht. Bij houtbouw mag hout wel nat worden maar dit moet niet te lang in de regen staan en opdrogen. Als het te lang nat wordt kun je kwaliteitsproblemen krijgen. Per project weeg je af wat de beste manier is op het gebied van voorbereiding. Bij moduleconcepten moet je veel binnen het beginstadium beslissen. Opdrachtgevers bij ons willen liever tijdens de bouw bepaalde zaken zoals de exacte positie van de elektrapunten beslissen i.p.v. in een eerder stadium van een project.

4.4 Welke gebruiksfuncties zijn volgens u toepasbaar voor moduleconcepten en elementenconcepten?

Woonfunctie:	*Appartementen module en vrijstaande woning elementen*
Bijeenkomstfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Celfunctie:	*geen ervaring mee*
Gezondheidszorgfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Industriefunctie:	*module- en elementenconcepten*
Kantoorfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Logiesfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Onderwijsfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Sportfunctie:	*elementenconcepten*
Winkelfunctie:	*module- en elementenconcepten*

4.5 Wat is volgens u de invloed van beide montageconcepten op de architectonische ontwerpvrijheid?
Als je met moduleconcepten werkt en de buitengevel prefab op de module op de bouwplaats komt moet je rekening houden met bepaalden lijnen en aansluitingen. Als je afwerking pas op de bouwplaats wordt gemonteerd heb je meer vrijheid als architect. Met beide systemen heb je nog genoeg vrijheid met betrekking tot vormgeving van het gebouw.

4.6 Indien er beperkingen van de architectonische vrijheid zijn, hoe ga je dan om met deze beperkingen als architect?
Dat is afhankelijk van welk concept er wordt gerealiseerd. Bij moduleconcepten ben je vrij vast qua buitenafwerkingslijnen en bij elementenconcepten heb je meer vrijheid.

5.0 Afronding

5.1 Zijn er eventuele vragen vanuit uw kant?
Shai: Zijn jullie een concept aan het ontwikkelen?
Stijn: Het onderzoek dient voornamelijk als afstudeeronderzoek voor onze diploma. Het resultaat heeft nog geen toekomst om dit daadwerkelijk in de praktijk gaan brengen.

Stijn: Hoe lost u de geluidsproblemen op binnen de houtbouw?
Shai: Door het toepassen van zandcement-, kalk- en kalkhennep-laag wordt extra massa toegevoegd. Deze laag kan ook dienen als toepassing voor vloerverwarming. Daarnaast wordt isolatie tussen de houten balklagen toegepast. Tot slot zijn de details en aansluitingen van belang (ontkoppelen).

Stijn: Hoe wordt de constructie brandwerend ontworpen?
Shai: De constructieve elementen kunnen brandwerend worden bekleed door middel van gipsplaten. Maar bij woningen is de woning zelf één brandcompartiment waardoor hier geen extreem hoge eisen aan verbonden zijn. Wanneer de woning dicht naast elkaar of naast een kantoorgebouw zijn gepositioneerd, zijn de eisen hoger.
5.2 Informatie over verwerking gegevens
Shai: Ik wil graag eerst de verwerking lezen voordat het ik akkoord geef over de verwerking binnen het afstudeeronderzoek.

5.3 Heeft u op een later tijdstip nog opmerkingen dan kunt u deze doormailen naar stijnvandenbroek00@gmail.com.
n.v.t.

Deelconclusie interview NarrativA

De geïnterviewde architect is werkzaam in de woningsector waarbij hij vrijstaande en projectspecifieke woningen in houtbouw ontwerpt. Als gevolg van deze ervaringen en expertise is de verkregen informatie met betrekking tot houtbouw bruikbaar voor het onderzoek. Echter, op het gebied van functie-flexibiliteit met betrekking tot utilitaire functies had de geïnterviewde minder ervaring waarbij enkele vragen onbeantwoord bleven. Aan de hand van overige bronnen kunnen de antwoorden op deze vragen alsnog meegenomen worden in het verdere onderzoek.

Aan de hand van de verkregen informatie uit dit interview kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De geïnterviewde realiseert functie-flexibiliteit binnen zijn vakgebied, woningen, door de constructieve elementen zoveel mogelijk aan de buitenzijde (schil) van het gebouw te positioneren. Dit betreft voornamelijk wandelementen.
- De levensduurvoorkeur van de geïnterviewde gaat uit naar 75 á 100 jaar voor woningbouw.
- Op het gebied van installatielocaties bij de woningbouw gaat de voorkeur van de geïnterviewde uit naar het verwerken van installaties achter het knieschot.
- De geïnterviewde werkt voornamelijk met elementenconcepten en deze ervaringen worden als goed beschouwd.
- Binnen houtbouw wordt voornamelijk tot een overspanning van 5,5 m ontworpen.
- Bij elementenconcepten is de architectonische vrijheid minder beperkt dan bij moduleconcepten.
- De geïnterviewde is van mening dat geluideisen bij houtbouw kunnen worden behaald door middel van geluidsisolatie en het toevoegen van massa.
- De manier van bouwen en ontwerpen zal altijd projectspecifiek blijven waardoor een totale standaardisatie ingewikkeld is.

4.2 Interview moduleconcept ontwikkelaar FLETTS

1.0 Inleiding

1.1 Inleiding onderzoek
Het onderzoek is toegelicht.

1.2 Inleiding interview (tijdsbestek, opname en anonimiteit)
Naam mag genoemd worden.
Naam: Dennis van Lith
Locatie: De Smalle Zijde 30 in Veenendaal
Datum/tijd: 08-04-2021 12:30

1.3 Zijn er vragen vooraf?
n.v.t.

2.0 Functie

2.1 Welke functie heeft u binnen het bedrijf FLETTS?
Ik ben de initiatiefnemer.

2.2 Wat zijn uw werkzaamheden?
Ja, dat is heel breed. Waar begin je bij het initiatief? Het begint met vormgeven van wat de ambitie is met FLETTS en hoe ziet het product eruit? Dus ik ben heel breed bezig en uiteindelijk zijn we natuurlijk bezig om het product naar de markt te brengen en daarbij een eerste klant te vinden. Uiteindelijk moet je het natuurlijk gaan bouwen om het verder ontwikkeld te krijgen.

2.3 Hoe lang voert u deze functie al uit?
Met de ontwikkelingen ben ik al een jaar of twee bezig. Toentertijd was ik nog in loondienst, sinds één maart 2020, dus nu ruim een jaar ben ik volledig bezig met FLETTS

2.3.1 En wat was uw functie daarvoor, wat is uw achtergrond?
Ik was projectleider bij bouwbedrijven. En op gegeven moment dan ga je nadenken over wat je nog allemaal wil en daar is dit uitgekomen.

3.0 Functie-flexibel en remontabel bouwen

Functie-flexibel bouwen: Een manier van ontwerpen, bouwen en exploiteren van bouwwerken waarbij binnen de levensduur een functiewisseling plaats kan vinden zonder ingrijpende veranderingen aan de hoofddraagconstructie. De gevelopvulling, binnen wanden, afwerkingen en installaties kunnen (los van de hoofdraagconstructie) variëren. Met functiewisselingen wordt in dit onderzoek bedoeld:

- Een interne verandering waarbij het mogelijk is om de indeling van de plattegrond aan te passen binnen een gebruiksfunctie, zonder de hoofdraagconstructie hierop aan te hoeven passen.

3.1 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja, ik vind dat vooral slim, die manier van bouwen.

Remontabel bouwen: Een manier van bouwen waarbij verschillende componenten makkelijk te demonteren en vervolgens te verplaatsen, repareren, vervangen of her te gebruiken (binnen nieuw project) zijn.

3.2 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja, zeker.

3.3 Op de site van FLETTS staat dat de modules remonteerbaar zijn. Hoe frequent verwacht u dat de modules geremonteerd worden gedurende de levensduur?
Ja, het is een beetje afhankelijk van het project en de opdrachtgever. Ik verwacht eerlijk gezegd niet zoveel remontages en ik zie het ook meer als een bijkomend voordeel. Het is niet de doelgroep opzich geweest. De manier van werken maakt dat het mogelijk is en daardoor zie ik het als een bijkomend voordeel.

> 3.3.1 En is er speciaal op ontworpen om verbindingen remontabel te maken?
> *Ja, we hebben in ieder geval zo ontworpen dat we het volledig droog kunnen bouwen. Dat is ons uitgangspunt geweest, dus volledig geschroefd. Als het in elkaar kan, kan dat ook uit elkaar. En als je er dan wat je net vertelde bij bedenkt, dat de hoofddraagconstructie vaak het langste meegaat van een gebouw en andere onderdelen hebben een kortere levensduur. En als je dat er makkelijker uit kan halen, uitwisselen, andere indeling, is dat alleen maar heel slim.*

> 3.3.2. En welke levensduur verwacht u van z'n module, is de module op 50 jaar gedimensioneerd of misschien wel op 100 jaar?
> *Ik zeg altijd, het is minstens net zo goed als de traditionele bouwen zoals we nu gewend zijn en misschien wel beter. Dat zal zich natuurlijk moeten gaan bewijzen. Het wordt nu al bewezen in Scandinavië, want in feite doen wij niet iets heel nieuws want daar hebben we veel vanuit overgenomen. En ik verwacht dat dat inderdaad met gemak 100 jaar meegaat.*

3.4 Op de site van FLETTS staat dat de installaties uitbreidbaar zijn voor functiewijzigingen. In hoeverre is het concept functie-flexibel te noemen en hoe hoog is de toegepaste verhoogde vloer?
Binnen FLETTS is de Granab subfloor toegepast. Deze zorgt voor het dempen van contactgeluid en is verstelbaar in hoogte. Op het systeem ligt een houten plaat van 40 millimeter dik en de CLT vloer ligt onder deze verhoogde vloer. Er kunnen leidingen horizontaal verplaatst worden binnen de verhoogde vloer. Wij hebben de riolering van de keuken naar de verticale schacht horizontaal gelegd binnen de verhoogde vloer en deze overbrugt z'n 2,5 meter. De verhoogde vloer die bij FLETTS is toegepast is 13 cm hoog.

> 3.4.1 Is het mogelijk om de wc riolering horizontaal te verplaatsen onder de verhoogde vloer?
> *Wij hebben de wc zo dicht mogelijk bij de verticale schacht geplaatst, dit is een stuk praktischer en kostenvriendelijker omdat er minder hoogte nodig is voor de verhoogde vloer. Theoretisch kan het wel, want de pootjes van de verhoogde vloer zijn verstelbaar. De maximale hoogte is circa 30 cm.*

3.5 Hoe gaat FLETTS om met installatieruimtes? Waar bevinden deze zich?
De installaties bevinden zich bij de badkamer. Hier wordt een complete prefab unit geplaatst in de module. Aan deze prefab badkamer bevindt zich de installatieruimte met daarnaast de verticale schacht van de module.

3.6 Wat zijn, met betrekking tot de FLETTS module, de mogelijkheden van buitenruimtes en hoe worden deze constructief gerealiseerd?
De buitenruimtes worden door middel van balkons als externe constructie buiten de module geplaatst. Deze is in verschillende opties mogelijk en is nog niet volledig uitgewerkt omdat FLETTS deze opties aanpasbaar wil houden en per project constructief getoetst dient te worden.

4.0 Module en elementenconcepten

Moduleconcepten: Geprefabriceerde modules, bestaande uit wanden, kolommen en vloeren, die als één complete unit op een vrachtwagen getransporteerd worden. De modules kunnen in de fabriek worden voorzien van installaties, afwerkingen en gevelbekledingen.

4.1 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja, zeker.

Elementenconcepten: Geprefabriceerde losse componenten, bestaande uit wanden, kolommen of vloeren, die worden gestapeld op een vrachtwagen en worden getransporteerd naar de bouwplaats. Ook kunnen de elementen in de fabriek worden voorzien van installaties, afwerkingen en gevelbekledingen.

4.2 Na het horen van de betekenis, kunt u zich vinden in bovenstaande betekenis?
Ja, zeker.

4.3 Tijdens hoeveel projecten heeft u ervaring opgedaan moduleconcepten en elementenconcepten en wat was uw ervaring met deze methodes van bouwen/ontwerpen?
FLETTS is een moduleconcept, dus hier heb ik ervaring mee. Met elementenconcepten heb ik theoretische ervaringen omdat vanuit opdrachtgevers ook de vraag komt naar elementenconcepten. Dan krijg je dus ook wel eens een uitwerking of tenminste plannetjes terug van: Joh, kunnen jullie iets met ons plan? Daar staan vaak maten op en waar we eigenlijk op uitgekomen zijn, is dat niet alles zich leent voor modules. Maar dat we eigenlijk de keuze moeten kunnen maken tussen modules of elementen, en dat is met name ingegeven door de maatvoering. En je zei net al, het moet op een vrachtwagen passen. En, dat is inderdaad natuurlijk ook de beperking die wij hier hadden. Dus alles wat we hebben bedacht, past binnen 3,5 m breedte. Zodat het nog over de weg te transporteren is, zonder speciaal transport. Maar op het moment dat er een andere maatvoering wordt gevraagd, dan kunnen we ons natuurlijk wel houden aan modules maar dan snijden we onszelf in de vingers omdat het dan veel efficiënter is om in elementen te denken. Nog steeds met heel veel dezelfde principes, omdat je werkt met elementen die ook zo prefab mogelijk zijn, dus met kozijnen, glas, afwerking en installaties erin inderdaad. De techniekmodule is sowieso altijd een prefab module (badkamermodule). Dus of we die hier erin zetten of dat de fabrikant naar locatie rijdt en de unit op locatie erin zet, blijft het principe hetzelfde. Dus we kunnen 2 paden bewandelen en per project moet hier goed naar gekeken worden.

4.4 Welke gebruiksfuncties zijn toepasbaar voor moduleconcepten en elementenconcepten?

Woonfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Bijeenkomstfunctie:	*elementenconcepten*
Celfunctie:	*moduleconcepten*
Gezondheidszorgfunctie:	*moduleconcepten*
Industriefunctie:	*module- en elementenconcepten*
Kantoorfunctie:	*moduleconcepten*
Logiesfunctie:	*moduleconcepten*
Onderwijsfunctie:	*module- en elementenconcepten*
Sportfunctie:	*elementenconcepten*
Winkelfunctie:	*module- en elementenconcepten*

De volgende vragen hebben betrekking op het FLETTS concept.

4.5 Wat is de afweging om voor een moduleconcept en niet voor losse elementen te kiezen?

Ja, wat ik net al zei: de maatvoering. Onze basisgedachte is dat we zo veel mogelijk in de werkplaats doen. Hout is daar bij uitstek geschikt voor. En met dat hout maken wij elementen of modules en dat wordt eigenlijk bepaald door de maatvoering, klanten, winst en wat er op het kavel komt. Maar ten alle tijde proberen we modules of elementen van een project zoveel mogelijk in de werkplaats te doen.

> 4.5.1 Weegt dat op tegen de extra transportbewegingen omdat je één module per vrachtwagen kan vervoeren?
>
> *Ja er zit natuurlijk verschil in. Inderdaad modules transporteren is minder efficiënt omdat er ook lucht vervoer wordt. Dus je moet steeds die afweging blijven maken. We zien nog steeds de voordelen. Nu is het redelijk weer, maar dat is niet altijd zo en binnen hebben we gewoon altijd die goede weersomstandigheden. Dus in feite kun je gewoon 365 dagen door en buiten is dat zeker niet. Dat doet ook wat aan de kwaliteit. Als je het op de bouwplaat in elkaar zet, kunnen gebreken ontstaan die pas later naar voren komen. Dus ik denk dat de meeste mensen wel aanvoelen dat op het gebied van kwaliteit, leveringsbetrouwbaarheid, een snelheid wordt gestreefd naar prefab bouwen. We streven naar prefabriceren boven de traditioneel wijze op de bouwplaats.*

4.6 Uw moduleconcept is bedoeld voor woningen, hoe voldoet deze aan de geluidseisen?

Door middel van de CLT vloer in combinatie met de Granab subfloor.

4.7 Wat zijn de rollen en taken van diverse betrokken partijen wanneer een opdrachtgever uw moduleconcept wil toepassen binnen een project? (Constructeur, architect, installateur, aannemer) Kom er nog een constructeur bij kijken bij een project?

Ja en die hebben wij in principe in onze groep zitten. Wij zijn natuurlijk niet zelf de constructeur, maar we hebben een aantal partners om ons heen verzameld. En in feite kunnen we een opdrachtgever die een stuk grond beschikbaar heeft ontzorgen. Wij kunnen de architect leveren. Dat kan ook de architect van de klant zijn. Maar alle kennis en input voor de rest zoals bouwfysica, etc., hebben wij paraat. Dus in die zin kunnen we de klant ontzorgen.

4.7.1 What voor taken heeft de constructeur nog bij dit concept?
Locatie bepalende zaken, wind, vorm, hoogte hebben invloed op de constructie. De constructeur blijft altijd een rol spelen bij FLETTS. We hebben van tevoren al heel goed nagedacht over hoe het constructief in elkaar steekt, qua stabiliteit en hoe de modules aan elkaar worden verbonden door verbindingen. Maar uiteindelijk per locatie, kunnen we het pas 100 procent invullen en zal altijd in ons geval, werkende met Solid Timber voor de houtconstructie, die zal altijd per project die laatste berekening moeten doen en de tekeningen moeten maken van het project. Zodat dit mee kan met de aanvraag van de vergunning. En zodat de input van Solid Timber naar de hoofdconstructeur kan om de fundatie te bepalen voor de desbetreffende locatie.

4.8 Waarom heeft FLETTS voor massieve CLT vloeren gekozen i.p.v. holle houtenvloeren?
Ja we hebben zijdelings wel gekeken of we het compleet met CLT of met andere materialen willen realiseren. We kwamen er al snel uit met Solid Timer dat het sterker is om de constructie van één materiaal te maken. Dan heb je een heldere constructie en hiermee zijn we het product gaat uitwerken. Bij houtbouw is het aandachtspunt geluid en veel mensen denken dat het brand het probleem is maar dat is niet zo. Geluid is een belangrijk aandachtspunt door het licht construeren en daardoor moet je oplossingen toevoegen. En wat je nu ziet is dat er veel oplossingen worden gevonden door massa toe te voegen door gebruik te maken van zandcement of betonachtige toplagen. En dat willen wij niet en daarom zijn wij gecharmeerd door de Granab subfloor wat zich bewezen heeft in Zweden. Dus wij waren snel overgegaan op massief hout, CLT. Laatst kwam ik nog een ander type tegen en die heet magnumbord uit Duitsland. Die maken massieve panelen van OSB. Prijstechnische viel dat tegen omdat het duurder is dan CLT. Ik verwacht in de toekomst dat er meer alternatieven komen naast CLT. En wat opzich prima kan zijn als het niet in het zicht is. Dus in de toekomst zullen er meer ontwikkelingen komen, verwacht ik. Ik denk hoe we nu FLETTS hebben ontwikkeld dat dat over 3 jaar niet meer hetzelfde zal zijn. Dan hebben wij onszelf veranderd en dit zal een continu proces zijn.

4.9 Wat is de maximale stapelhoogte van uw concept en wat heeft geleid tot deze hoogte?
De constructie is sterk genoeg voor 5 bouwlagen. Er kan nog een optimalisatie plaatsvinden tussen de verschillende verdiepingen. Maar het CLT is in het zicht en met 90 min brandwerend is de overdimensionering bij de bovenste lagen groter ten opzichte van de onderste lagen. De woningscheidende wand is 140 mm CLT en dat is voldoende om 5 bouwlagen te realiseren met betrekking tot de sterkte. Alleen niet op de brandeisen dus daar moeten we nog iets mee bij FLETTS. Dit kan door overdimensioneren, gipsplaten toevoegen of een sprinkler installatie. In basis zijn ze (de modules) allemaal gelijk. Dat is nog steeds onze gedachte. Ook met het idee van de verplaatsbaarheid. Maar dat hebben we een beetje losgelaten, want die gedachten is wel erg vooruitdenkend. Maar de meeste mensen denken zo nog niet in de bouw. Dus daarin schoten we een beetje door. Je moet ook uitkijken dat je het kostenplaatje in de gaten houdt. Je kan allerlei mooie dingen verzinnen dat je heel flexibel bent, maar als het op een gegeven moment doorschiet aan kosten dan mis je ook de boot.

4.9.1 Bent u van mening dat u het maximale aantal bouwlagen heeft bereikt qua kosten en materialisatie?
Ja, dat denk ik wel. Hoog bouwen kan maar dan moeten we weer terug naar de tekentafel en dan krijg je met andere houtdiktes te maken. En als je dan vergeleken wordt met de traditionele manier van bouwen ontstaat er een kostenverschil.

4.10 Welke stramienmaten heeft u aangehouden voor uw concept?
De beukmaat van de woningen is 6,95m, dit komt door de modulebouw. En is afkomstig uit 2x 3,5 = 7m en 6,95 komt daaruit voort. En dat is ons uitgangspunt omdat we vanuit modules praten. En als die maat meer of minder moet zijn dan is het toepassen van 2D elementen misschien interessanter. En in de andere richting heeft hout een ideaal maat en wij houden die maat aan met een overspanning van 5 meter voor de vloer en het plafond. De ideale maat ligt tussen de 4,8 en 5,2 meter.

4.11 Een mogelijk nadeel van het toepassen van moduleconcepten is de architectonische beperking. Hoe denkt u hierover in relatie met uw concept?
Ik zie dat het anders is dan de traditionele manier. Traditioneel begon een bouwproces bij de architect. Die maakt een prachtig mooi plaatje, daar zijn ze ook goed in qua beeldvorming. Vervolgens wordt de technische uitwerking aan andere partijen gevraagd. Daarna kwamen we er nog wel eens achter dat het toch technisch niet zo handig was. Dan moest de architect een beetje schikken of moesten allerlei toeren uitgehaald worden om toch voor elkaar te krijgen, dat het beeld van de architect gemaakt kan worden. Het gaat bij ons (FLETTS) om bijvoorbeeld betaalbare woningen. Dan denk ik dat het juist slimmer is om aan de techniekkant te beginnen, zoals wij gedaan hebben. Want we hebben eigenlijk de architect nog even buiten de boort gelaten, in het begin eerst met technische mensen inhoudelijk. En volgens hebben we daar een architect bij gezocht maar wel uitgelegd waar we mee bezig zijn en dan aangeven dat de variatie van onze gebouwen met name zit aan de buitenkant en niet zo zeer aan de binnenkant. Van de plattegrond mag je iets vinden maar volgens ons is dit best een goede plattegrond en laat de architect met name de buitenkant van het gebouw ontwikkelen, qua vormgeving en materialisering. We hebben straks een standaard gevelpakket, alleen de buitenste laag is aanpasbaar voor de architect in overleg met de klant. Ik heb al verschillende architecten gesproken en de ene vindt het helemaal niks, die zien hun eigen boterham verdwijnen. En andere denken: Ik snap dat het anders moeten en kan, dus die gaan er in mee. Ik denk dat het een ontwikkeling is die niet te stoppen is. En dat er nog steeds veel traditioneel gebeurt maar daarnaast ook veel op deze manier gaat gebeuren.

5.0 Afronding

5.1 Zijn er eventuele vragen vanuit uw kant?
Nee, ik ben heel benieuwd naar de afstudeerscriptie en ik hoop dat ik deze ook te lezen krijg.

5.2 Informatie over verwerking gegevens
n.v.t.

5.3 Heeft u op een later tijdstip nog opmerkingen dan kunt u deze doormailen naar BGJ.vanAlst@student.han.nl.
n.v.t.

Deelconclusie interview FLETTS

Aan de hand van de verkregen informatie uit dit interview kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Het uitgangspunt van FLETTS is droog bouwen, dit heeft zowel betrekking op de materialisatie als op de manier van prefabriceren.
- De keuze om in modules of elementen te bouwen zal altijd projectspecifiek blijven.
- Moduleconcepten worden beperkt door transportafmetingen.
- Het concept wordt deels als functie-flexibel beschouwd door het toepassen van een verhoogde 'computer' vloer. Hierdoor blijven installaties bereikbaar.
- De geïnterviewde is van mening dat het standaardiseren van modules tot 5 bouwlagen realistisch is. Wanneer hogere bouwwerken zijn gewenst zal houten elementenbouw beter toepasbaar zijn dan een gestandaardiseerd moduleconcept.
- Binnen houtbouw wordt voornamelijk ontworpen op een optimale overspanning tussen 4,8 en 5,2 m.
- De geïnterviewde vertelde dat de invloed van gestandaardiseerde bouwmethodieken op de architectonische vrijheid door architecten verschillend wordt opgevat.
- De geïnterviewde is van mening dat de ontwikkeling van het toepassen van gestandaardiseerde bouwmethodieken niet te stoppen en de toekomst is, maar dit zal in combinatie met traditionele bouw gepaard gaan.

5.0 Conclusie veldonderzoek

Aan de hand van de opgedane informatie uit dit deelonderzoek kunnen conclusies getrokken worden. Deze conclusies zijn gebaseerd op onderstaande deelvragen en de vooraf opgesteld hypotheses:

Deelvraag 2.1: Welke conclusie kan getrokken worden met betrekking tot het besluit om een functie-flexibele ontwerpmethodiek en een elementenconcept bouwmethode toe te passen in relatie met de resultaten van het veldonderzoek?

Hypothese deelvraag 2.1: Verwachte ontwerp en bouwmethode: functie-flexibele elementenconcept.

Antwoord deelvraag 2.1:

Functie-flexibel of remontabel ontwerpmethodiek
Uit de resultaten is gebleken dat mensen actief in de bouw over het algemeen meer ervaring opgedaan hebben met projecten waarbij functie-flexibel bouwen is toegepast dan met projecten waarbij remontabel bouwen is toegepast. Gemiddeld werd de ervaring met functie-flexibel bouwen beter ervaren dan remontabel bouwen. De respondenten verwachten dat functiewisselingen vaker op gaan treden dan remontages, wat instemt met de hypothese. Het grootste aantal respondenten verwacht per 25 jaar een functiewisseling. Voorgaande resultaten leiden tot het bevestigen van de hypothese. Dit werd extra benadrukt bij het resultaat van vraag 10.0 waarbij 67,6% van de respondenten functie-flexibel bouwen het meest toekomstbestendig vindt binnen de utiliteitsbouw.

Module- of elementen bouwmethodiek
De respondenten hebben laten weten dat men meer ervaring heeft opgedaan met elementenconcepten dan met moduleconcepten. Daarbij is ook gebleken dat de ervaring met elementenconcepten meer positief wordt beschouwd dan bij moduleconcepten. Uit de resultaten over de vraag naar de architectonische beperkingen bij de twee bouwmethodieken is opgevallen dat men bij elementenconcepten minder architectonische beperkingen verwacht dan bij moduleconcepten. Uit het interview met FLETTS is gebleken dat architecten zelf verschillende meningen hebben over gestandaardiseerde bouwmethodieken. Voorgaande resultaten leiden tot het bevestigen van de hypothese. Dit werd extra benadrukt bij het resultaat van vraag 18.0 waarbij 72,6% van de respondenten het bouwen met een elementenconcept het meest toekomstbestendig vindt binnen de utiliteitsbouw.

Uit bovenstaande resultaten kan geconcludeerd worden dat de hypothese overeenkomst met het veldonderzoek.

Deelvraag 2.2: Welke conclusie kan getrokken worden met betrekking tot de aanname van de toegepaste gebruiksfuncties in relatie met de resultaten van het veldonderzoek?

Hypothese deelvraag 2.2: Gebruiksfuncties toepasbaar voor het functie-flexibele concept: woon-, bijeenkomst-, gezondheidszorg-, kantoor-, logies-, onderwijs-, sport- en winkel- (exclusief opslag) functie.

Antwoord deelvraag 2.2: In onderstaande tabel *(1)* staan de resultaten van vraag 9.0 en 16.0 weergegeven. De interviews zijn hierbij niet inbegrepen.

Overzicht toepasbaarheid functie-flexibel elementenconcept				
Gebruiksfunctie	Functie-flexibel (zie grafiek 9, H3.6 vraag 9.0)	Elementenconcept (zie grafiek 16, H3.6 vraag 16.0)	Hypo-these	Toepasbaar Wel/niet
Woon	**69,9%**	**62,2%**	**Wel**	**Wel**
Bijeenkomst	**83,6%**	**70,3%**	**Wel**	**Wel**
Cel	23,3%	59,5%	Niet	Niet
Gezondheidszorg	**57,5%**	**70,3%**	**Wel**	**Wel**
Industrie	47,9%	**71,6%**	Niet	Niet
Kantoor	**97,3%**	**74,3%**	**Wel**	**Wel**
Logies	**64,4%**	**64,9%**	**Wel**	**Wel**
Onderwijs	**67,1%**	**71,6%**	**Wel**	**Wel**
Sport	31,5%	**67,6%**	**Wel**	Niet
Winkel	**62,2%**	**73,0%**	**Wel**	**Wel**
	Toepasbaar → >50%	Toepasbaar → >62%		

Uit de tabel valt de concluderen dat de vooraf opgestelde hypothese grotendeel overeenkomt met de visie van de respondenten. Echter, er is gebleken dat men geen voorstander is van de sportfunctie binnen het functie-flexibele concept. Ook wordt verwacht dat fysieke activiteiten negatieve effecten hebben op trillingen wat een actueel aandachtspunt is binnen de houtbouw. Met deze redenen is ervoor gekozen om de sportfunctie niet toe te passen binnen het functie-flexibele elementenconcept. Het antwoord op deelvraag 2.2 luidt: de toe te passen gebruiksfuncties binnen het functie-flexibele elementenconcept zijn:

- Woonfunctie
- Bijeenkomstfunctie
- Gezondheidszorgfunctie
- Kantoorfunctie
- Logiesfunctie
- Onderwijsfunctie
- Winkelfunctie (exclusief opslag)

6.0 Discussie veldonderzoek

In totaal hebben 74 respondenten gereageerd op de enquête. Ondanks deze onverwacht hoge opkomst, komt dit getal niet in de buurt van de, door voorschriften, beoogde populatiegrootte van 377 respondenten. Daarnaast bestaat de populatie voornamelijk uit overige adviesbureaus en aannemers. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de respondenten voornamelijk via directe kringen zijn benaderd. Hierdoor bestaat de kans dat enkele groepen zijn ondervertegenwoordigd binnen de enquête in vergelijking met hun aandeel binnen de bouwwereld.

Uit de enquêteresultaten is gebleken dat men de vraagstelling niet altijd begreep. Dit kwam voornamelijk naar voren bij vraag 6.0 en 10.0 waarbij gevraagd werd wat de ervaring van de respondent is met betrekking tot de onderwerpen. Hierbij werd duidelijk dat de groep welke 'geen ervaring' had ingevuld kleiner werd bij de vraag wat de kwaliteit van deze ervaring was. Respondenten vormen blijkbaar een mening of hebben een verwachting over onderwerpen waarbij zij van tevoren hebben aangegeven dat zij hiermee geen ervaring hebben.

In verband met de verwachte groepsgrootte van de respondenten en de verwerkingstijd is gekozen voor het stellen van (voornamelijk) gesloten meerkeuze vragen. Deze manier van enquêteren heeft invloed op de antwoordvrijheid. Daarnaast ontneemt deze schriftelijke manier van enquêteren de mogelijkheid tot doorvragen en verdere uitleg.

Binnen elke enquête bestaan de kans op onzuivere resultaten doordat respondenten vragen niet begrijpen of verkeerd interpreteren. Dit risico is verkleind door grote stukken tekst te voorkomen. Echter, in enkele situaties kon hieraan niet worden ontkomen. De kans bestaat dat men deze uitleggen niet volledig heeft gelezen waardoor de kwaliteit van resultaten lager zou kunnen zijn.

De eindconclusie is voornamelijk opgesteld aan de hand van de enquête resultaten. De interviews hadden hierbij een bijrol. Om de interviews een grotere rol van informatie vergaring te geven, zouden meerdere diverse partijen binnen de bouw benaderd dienen te worden. Door het geringe tijdsbestek en de constructieve ambitie van de afstudeerders is ervoor gekozen om de interviews aan te pakken op de wijze waarop dit nu is uitgevoerd.

Uit antwoorden van enkele respondenten maar voornamelijk tijdens het interviewen is gebleken dat één type ontwerp- en bouwmethodiek niet het best toepasbaar is in elke situatie. Zo zal altijd per project de afweging gemaakt dienen te worden over de manier van ontwerpen en bouwen. Hierbij zullen meerdere criteria een rol spelen.

7.0 Literatuurlijst

Allesovermarktonderzoek. (2018, 30 april). Steekproefcalculator Alles over *Marktonderzoek*. Geraadpleegd op 1 maart 2021, van https://www.allesovermarktonderzoek.nl/steekproef-algemeen/steekproefcalculator/#Depopulairstesteekproefcalculatorvannederland

Baarda, B. (2019). *Dit is onderzoek!* (1ste editie). Groningen, Nederland: Noordhoff.

Brinkman, J. (2014). *De vragenlijst* (3de editie). Groningen, Nederland: Noordhoff.

Markus, K., & Oudmans, A. M. (2012). *Serie marktonderzoek voor het hoger onderwijs – Enquete research* (3de editie). Groningen, Nederland: Noordhoff.

Bijlage 4: Eisen functie-flexibel ontwerpen

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Eisen functie-flexibel ontwerpen

Bijlage 4



In dit deelonderzoek wordt het begrip 'functie-flexibel ontwerpen' concreet gemaakt door middel van eisen, algemene bepalingen en aangenomen belastingen.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

1.0 Inleiding 3
1.1 Aanleiding 3
1.2 Doel en resultaat 3
1.3 Onderzoeksmethodiek 3
2.0 Eisen aan functie-flexibel ontwerpen 4
2.1. Toelichting eisentabel 4
3.0 Algemene bepalingen en aangenomen belastingen 6
3.1. Algemene bepalingen 6
3.2. Aangenomen belastingen 9
3.3. Toelichting Algemene bepalingen en Aangenomen belastingen 11
4.0 Conclusie 13
5.0 Discussie 14
6.0 Literatuurlijst 15

1.0 Inleiding

In het Plan van Aanpak is vermeld hoe het relatief brede afstudeeronderzoek is opgedeeld in diverse deelvragen.

Functie-flexibel klinkt als een innovatieve manier van ontwerpen. Maar de concrete en technische betekenis hiervan is vrij te interpreteren. Door het beantwoorden van deze deelvragen aan de hand van deelonderzoeken wordt gewerkt naar het constructief uitwerken van het elementenconcept.

Dit deelonderzoek heeft betrekking op de eerste stap van het ontwerpproces en hierbij staat onderstaande deelvraag centraal.

Deelvraag 3.1: Aan welke eisen dient een utilitair bouwwerk te voldoen bij een functie-flexibele ontwerpmethodiek?

1.1 Aanleiding

Een functie-flexibel concept begint bij een functie-flexibele ontwerp. Om functie-flexibel te ontwerpen, dient dit begrip concreet gemaakt te worden. Dit betekent dat eisen vooraf opgesteld dienen te worden welke elke toepasbare (afkomstig uit bijlage 3: *Veldonderzoek*) gebruiksfunctie dienen te beslaan.

1.2 Doel en resultaat

Het doel van dit deelonderzoek is om inzicht krijgen in en het bepalen van de eisen waaraan een functie-flexibel elementenconcept aan moet voldoen.

Het resultaat van dit onderzoek is een eisentabel, algemene bepalingen en de aangenomen belastingen. Elk resultaat zal zowel visueel als tekstueel onderbouwd worden.

Bij de eisentabel zal vermeld worden op welke wijze deze eisen worden verwerkt in het afstudeeronderzoek.

De algemene bepalingen en de aangenomen belastingen zullen toegepast worden bij de constructieve uitwerking van de varianten.

1.3 Onderzoeksmethodiek

In dit deelonderzoek worden voornamelijk eisen opgesteld welke door middel van een literatuuronderzoek onderzocht worden. Hierbij worden diverse bronnen geraadpleegd. Ook spelen conclusies uit eerder uitgevoerde deelonderzoeken een rol binnen dit onderzoek.

2.0 Eisen aan functie-flexibel ontwerpen

Wanneer een bouwwerk functie-flexibel wordt ontworpen, dient hier tijdens het ontwerpstadium rekening mee gehouden te worden. Hierbij spelen eisen, zoals hieronder vermeld een grote rol. Aan de hand van het veldonderzoek, bouwbesluiteisen en normen is onderstaande tabel opgesteld.

1	2	3	4	5				6			7		
Gebruiksfunctie	Toepasbaar voor concept	Vrije hoogte	Luchtverversing	Belastingen				ψ-factoren			Brandwerend in hoogte vloer bij bezwijken constructie		
				Vloer	m² last	puntlast		ψ_0	ψ_1	ψ_2	60 min.	90 min.	120 min.
Woon	Ja	2,6 m	- dm³/s p.p.	1,83	kN/m²	3,14	kN	0,4	0,5	0,3	0-7m	7-13m	> 13m
Bijeenkomst	Ja	2,6 m	4-6,5 dm³/s p.p.	5,23	kN/m²	7,32	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Gezondheidszorg	Ja	2,6 m	6,5-12 dm³/s p.p.	5,23	kN/m²	7,32	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Kantoor	Ja	2,6 m	6,5 dm³/s p.p.	2,60	kN/m²	3,12	kN	0,5	0,5	0,3	0-5m	5-13m	> 13m
Logies	Ja	2,6 m	12 dm³/s p.p.	1,83	kN/m²	3,14	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Onderwijs	Ja	2,6 m	8,5 dm³/s p.p.	4,18-5,23	kN/m²	7,32	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Sport	Nee	2,6 m	6,5 dm³/s p.p.	5,23	kN/m²	7,32	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Winkel	Ja	2,6 m	4 dm³/s p.p.	4,18	kN/m²	7,32	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Cel	Nee	2,5 m	12 dm³/s p.p.	1,83	kN/m²	3,14	kN	0,4	0,7	0,6	0-5m	5-13m	> 13m
Industrie	Nee	2,6 m	6,5 dm³/s p.p.	> 5,00	kN/m²	>7,00	kN	1,0	0,9	0,8	0-5m	5-13m	> 13m
Overig	Nee	- m	- dm³/s p.p.	-	kN/m²	-	kN	-	-	-	-	-	-
Bouwwerk geen gebouw zijnde	Nee	- m	- dm³/s p.p.	-	kN/m²	-	kN	-	-	-	-	-	-

Tabel 1 – Eisentabel functie-flexibel bouwen, (1).

2.1. Toelichting eisentabel

Aan de hand van de kolomnummering zullen de onderdelen en de toepassing hiervan verder worden toegelicht.

1. In deze kolom staan alle gebruiksfuncties vermeld die door het Bouwbesluit *(Bouwbesluit, z.d.-e)* worden erkend.
2. Hieronder staat vermeld welke gebruiksfuncties worden toegepast bij het functie-flexibele elementenconcept. De argumentatie van deze keuzes staat weergeven in bijlage 3: *Veldonderzoek* waarbij informatie is vergaard aan de hand van respondenten van een enquête en interviews. De toepasbare gebruiksfuncties zullen meegenomen worden in het verdere bepalen van de eisen zoals in de volgende kolommen vermeld.
3. De vrije hoogte is van grote invloed binnen het elementenconcept. De brandwerendheid van het constructie is namelijk van invloed op de totale gebouwhoogte. Deze is afhankelijk van de vrije hoogte plus de constructiehoogte vermenigvuldigd met het aantal bouwlagen. In de tabel is te zien dat alle toepasbare gebruiksfuncties moeten voldoen aan een vrije hoogte van 2,6 meter. De brandwerendheid wordt in kolom 7 verder toegelicht. *(Bouwbesluit, z.d.-b)*
4. Op het gebied van luchtverversing ontstaan grote verschillen tussen de ventilatie-eisen. Echter, dit onderdeel wordt niet verder uitgewerkt dan in het bijlage 5: *Installatieconcept* is gedaan. Hierbij is een installatiehoogte boven en onder de vloer bepaald aan de hand van een literatuuronderzoek. Een vervolgonderzoek zal uit moeten wijzen of deze beschikbare hoogte voldoende is om aan het functie-flexibele concept te voldoen. *(Bouwbesluit, z.d.-a)*
5. Naar de grote diversiteit tussen de eisen per gebruiksfunctie, is dit bij de aan te houden belastingen ook het geval. Binnen de toe te passen gebruiksfuncties worden de maatgevende belastingen aangehouden. In dit geval betreft dit de belastingen voor een bijeenkomstfunctie met mogelijk grote mensenmassa's. In combinatie met een referentieperiode van 100 jaar, resulteert dit in een aan te houden m² belasting van 5,23 kN/m² of een puntlast van 7,32 kN. In hoofdstuk 2.2: *Aangenomen belastingen* wordt deze belasting in combinatie met de permanente belastingen vermeld. *(Blok, 2018)*

6. In kolom 6 staan de ψ-factoren weergeven. Deze worden toegepast bij de belastingcombinaties. Hierbij worden de hoogste factoren aangehouden. Dit heeft geleid tot het volgende: $\psi_0 = 0,5$ $\psi_1 = 0,7$ $\psi_2 = 0,6$. *(Blok, 2018)*
7. Zoals in de toelichting van kolom 3 vermeld, is de brandwerendheid afhankelijk van de functie en de hoogte van de hoogste vloer met een gebruiksfunctie ten opzichte van het maaiveld. Binnen dit concept is ervoor gekozen om de bovenste vloer met een gebruiksfunctie onder de 13 meter hoogte aan te houden. Hierbij wordt uitgegaan van vier bouwlagen welke een maximale verdiepingshoogte van 13/3 = 4,33 m mag hebben. Deze verdiepingshoogte bestaan uit een vrije hoogte en een constructiehoogte inclusief installatieruimte en afwerkingen. Wanneer hieraan wordt voldaan dient de constructie 90 minuten brandwerend te zijn in verband met het bezwijken. In dit afstudeeronderzoek zal geen brandberekening gemaakt worden van de constructieve componenten. Het uitgangspunt is dan ook: de constructie dient 90 min. brandwerend bekleed te worden. Dit staat ook in hoofdstuk 2.1: *Algemene bepalingen* vermeld. *(Bouwbesluit, z.d.-d)*

3.0 Algemene bepalingen en aangenomen belastingen

3.1. Algemene bepalingen

Onderstaande algemene bepalingen zijn opgesteld met behulp van de Excel-sheet van Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau. *(Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V., 2021)*

Projectnummer: Hout U Flexibel
Deze rapportage bevat de constructieve uitwerking van het functie-flexibele elementenconcept van Hout U Flexibel
Documentnummer: 140401 versie 1 , datum: 29-04-2021
Constructieve uitgangspunten en belastingen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Inhoud blad: 1/3

1. Algemeen

1.1 Omschrijving

Projectomschrijving: Deze rapportage bevat de constructieve uitwerking van het functie-flexibele elementenconcept van Hout U Flexibel

Document 140401 bevat de navolgende onderdelen:
- Algemene bepalingen
- Aangenomen belastingen

Constructieve opbouw

Fundering:	N.v.t.
Begane grondvloer:	N.v.t.
Verticale afdracht	Kolommen
1e t/m 3e verdiepingsvloer:	Nader te bepalen

Stabiliteit
De stabiliteit van het gebouw wordt kwalitatief beschouwd en vermeld in het hoofdrapportage.

1.2 Basisdocumenten

Berekeningen in dit document zijn gebaseerd op de navolgende basisstukken:
Tekeningen: Mechanische varianten datum: 16-03-21

1.3 Voorschriften

Berekeningen zijn gebaseerd op Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.
Van fabrikanten c.q. aannemers c.q. leveranciers wordt verwacht dat zij tevens hun berekeningen en voorschriften ontlenen aan de Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.

Eurocode

NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991 (serie)	Belastingen
NEN-EN 1992 (serie)	Betonconstructies
NEN-EN 1993 (serie)	Staalconstructies
NEN-EN 1994 (serie)	Staal-Betonconstructies
NEN-EN 1995 (serie)	Houtconstructies
NEN-EN 1996 (serie)	Metselwerkconstructies
NEN-EN 1997 (serie)	Geotechnische constructies
NEN-EN 1999 (serie)	Aluminiumconstructies

Projectnummer: Hout U Flexibel
Deze rapportage bevat de constructieve uitwerking van het functie-flexibele elementenconcept van Hout U Flexibel
Documentnummer: 140401 versie 1 , datum: 29-04-2021
Constructieve uitgangspunten en belastingen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

1.4 Uitgangspunten materialen

blad: 2/3

Indien niet anders wordt aangegeven, is er in deze berekening uitgegaan van:

Hout:	C24, standaard bouwhout	
	GL28c, gelamineerd hout (gecombineerd opbouw)	
	48P, LVL	
Staal:	walsprofielen	S235 JR
	warmgevormde buisprofielen	S355 J2H
	koudgevormde ronde buisprofielen	S235 JRH
Bouten:	8.8, gerolde draad	
Ankerbouten:	4.6, gerolde draad	

1.5 Uitgangspunten voor de berekening

Levensduur:
Ontwerplevensduurklasse: **klasse 4**
Ontwerplevensduur: **100 jaren**

Betrouwbaarheid van het bouwwerk:
Betrouwbaarheidsklasse: **klasse 2** Eurocode: RC2
Definitie in risico: Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

Belastingsfactor: (K_{FI}) = 1,0
Ontwerplevensduur: 100 jaren

1.6 Software

In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van een aantal rekenprogramma's.
Hieronder een overzicht van de gehanteerde software bij Croes met daarbij aangegeven de leverancier en de versie. Versienummers zijn geïnventariseerd op 01-01-2021.
Lees voor versie: versienummer .. of hoger.
In deze lijst zijn niet opgenomen de productgebonden softwareprogramma's.

Leverancier	Software	Versie
Technosoft	TS Liggers	6.60a
Holz.bau	CLTdesigner	7.3
MetsäWood	Finnwood	2.4.2 NL
Qec	Excel reken-tabellen	2021

1.7 Brand

1.7.1 Algemeen

Conform het Bouwbesluit 2012 worden met betrekking tot brand eisen gesteld aan de constructies in het kader van:
1) voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten.
2) veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten.
3) brandscheidingen (WBDBO).

Voor de brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten zie 1.7.2.

De brandwerendheidseisen in het kader van veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten (2) en brandscheidingen (3) worden aangegeven door de architect, bouwkundige of adviseur brandveiligheid.

1.7.2 Brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting

Een bouwconstructie bezwijkt niet bij brand in een brandcompartiment waarin de constructie niet ligt gedurende 90 minuten door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan het brandcompartiment.
De eis in minuten wordt gedefinieerd door de gebruiksfunctie en de hoogte van het verblijfsgebied:

Gebruiksfunctie: 01. Woonfunctie
Hoogstgelegen vloer: 13,00 m. + maaiveld
Eis: 90(90) min.

Op basis van de maximale eisen behorende bij bovengenoemde functies bedraagt de eis:
Eis: **90 (90)** min.
De tussen haakjes geplaatste waarde is de gereduceerde waarde voor gebouwen met een lagere permanente vuurbelasting dan 500 MJ/m^2.

De constructie dient 90 min. brandwerend bekleed te worden. Wanneer hier niet aan wordt voldaan, dient een rekenkundige controle uitgevoerd te worden.

3.2. Aangenomen belastingen

Onderstaande aangenomen belastingen zijn opgesteld met behulp van de Excel-sheet van Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau. *(Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V., 2021)*

Projectnummer: Hout U Flexibel
Deze rapportage bevat de constructieve uitwerking van het functie-flexibele elementenconcept van Hout U Flexibel
Documentnummer: 140401 versie 1 , datum: 29-04-2021
Constructieve uitgangspunten en belastingen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2. Belastingen blad: 1/2

Overige wanden en gevels

q_k =	houtskeletbouwwand	=	**0,50**	kN/m²
q_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m²
q_k =	vliesgevel	=	**1,00**	kN/m²
q_k =	CLT wand dik 150 mm	=	**0,75**	kN/m²
q_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m²

2.1 Dakbelastingen

Plat dak **Gebied** **4.1**

g_k =	Dakvloerconstructie	=	Variabel	
	leidingen	=	0,20	
	systeemplafond	=	0,30	
	isolatie (PIR/PUR/PS) + 2-laagse dakbedekking	=	0,15	
	PV-panelen	=	0,25	
	tegels H_{oem} = 40	=	0,96	
			1,86	kN/m²
q_k =	< 10 m²	=	**2,50**	kN/m²
$q_{k;mom}$ =	momentaan: $\Psi_{0/1/2}$ = 0	=	**0,00**	kN/m²
s_n =	(Variatiecoefficient = 0,8)	=	**0,80**	kN/m²
s =	s_n x μ_i = 0,80 x 3	=	**2,40**	kN/m²
s_{mom} =	momentaan: Ψ_0 = 0	=	**0,00**	kN/m²
s_{mom} =	momentaan: Ψ_1 = 0,2	=	**0,48**	kN/m²
s_{mom} =	momentaan: Ψ_2 = 0	=	**0,00**	kN/m²

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b.	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,86	kN/m²
Maatgevende last vloerpakket:	2,50	kN/m²
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90	min
Bouwlaag:	4	
Omschrijving op tekeningen:	Dakvloerconstructie	

Projectnummer: Hout U Flexibel
Deze rapportage bevat de constructieve uitwerking van het functie-flexibele elementenconcept van Hout U Flexibel
Documentnummer: 140401 versie 1 , datum: 29-04-2021
Constructieve uitgangspunten en belastingen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2.2 Vloerbelastingen blad: 2/2

Verdiepingsvloer **Gebied 1.1**

g_k =		Verdiepingsvloerconstructie		= Variabel	
		computervloer		= 0,50	
		leidingen		= 0,20	
		systeemplafond		= 0,30	
				1,00	kN/m²
q_k =		Klasse C5-grote mensenmassa's		= **5,00**	
$q_{k;t}$ =	(100 jr)	$q_{k;t} = q_k \times (1+(1-\Psi_0)/9 \times \ln(t/50))$		= **5,23**	
		lichte scheidingswanden (1.0 < qk ≤ 2.0 kN/m)		= 0,80	
				6,03	kN/m²
$q_{k;mom}$ =		momentaan:	Ψ_0 = 0,4	= **2,41**	kN/m²
$q_{k;mom}$ =		momentaan:	Ψ_1 = 0,7	= **4,22**	kN/m²
$q_{k;mom}$ =		momentaan:	Ψ_2 = 0,6	= **3,62**	kN/m²

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b.	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,00	kN/m²
Maatgevende last vloerpakket:	6,03	kN/m²
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90	min
Bouwlaag:	1 t/m 3	
Omschrijving op tekeningen:	Verdiepingsvloerconstructie	

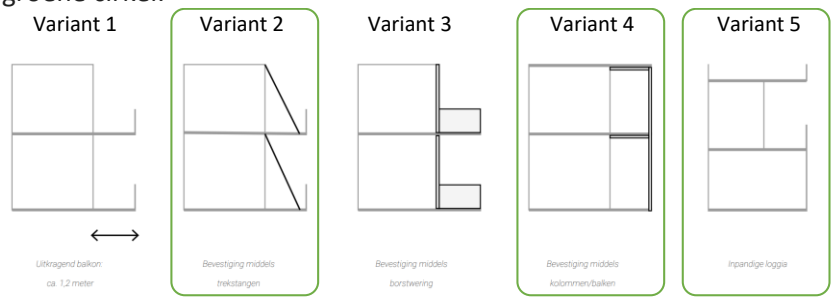
3.3. Toelichting Algemene bepalingen en Aangenomen belastingen

- Referentieperiode op 100 jaar. Dit is bepaald aan de hand van bijlage 3: *Veldonderzoek*. Uit dit onderzoek is gebleken dat men eens per 25 jaar een functiewisseling verwacht. Wanneer de standaard levensduur van 50 jaar aangehouden zou worden, zal één functiewisseling plaatsvinden. Bij een referentieperiode van 100 jaar zullen 3 functiewisselingen plaatsvinden. Hierbij is de kans groter dan de overdimensionering-kosten worden terugverdiend door de relatief eenvoudige functiewisselingen.
- Gevelbelasting: naast de flexibiliteit op het gebied van functies, dient ook flexibel omgegaan te worden met de mogelijkheid tot gevelopvulling. Dit heeft invloed op de grootte en de positie van de gevelbelasting. In onderstaande tekst worden de uitgangspunten vermeld en toegelicht.
    - Positie belasting: ter plaatse van elke stramienrand dient een gevelbelasting te worden opgenomen. Reden: in iedere ontwerpsituatie dient het elementenconcepten te voldoen. Ook bij hoek-stramienen waarbij meerdere gevels toegepast en afgedragen kunnen worden.
    - Belastinggrootte: de grootte van de gevelbelasting wordt vastgesteld op 1,00 kN/m^2. Deze belasting is gebaseerd op gevelopvulling zoals een gevelpui of HSB/metal stud met een gevelafwerking bestaande uit hout of dergelijke plaatmaterialen. Metselwerk gevelbekleding kan tot 16 meter hoogte, zonder horizontale dilataties, worden uitgevoerd *(KNB, 2016, p.1)*. Deze zal direct afdragen op de fundering en valt niet binnen de gevelbelasting. Ook andere zware gevelmaterialen dienen en een externe constructie Hieronder staan de mogelijke gevelopvullingen vermeld.

Overige wanden en gevels				
q_k =	houtskeletbouwwand	=	**0,50**	kN/m^2
q_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2
q_k =	vliesgevel	=	**1,00**	kN/m^2
q_k =	CLT wand dik 150 mm	=	**0,75**	kN/m^2
q_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2

Tabel 2 – Gevelbelastingen, (1).

- Balkons: voor bouwwerken met een woonfunctie is een rechtstreeks vanuit de woning bereikbare niet-gemeenschappelijke buitenruimte met een vloeroppervlak van minimaal 4 m^2 met een minimale breedte van 1,5 m vereist. *(Bouwbesluit, z.d.-c)*
    - Varianten: Om het nog verder overdimensioneren van het elementenconcept te reduceren, zijn sommige van onderstaande balkonvarianten uitgesloten. De varianten welke toepasbaar worden geoogd zijn hieronder aangeduid met een groene cirkel.



Figuur 1 – Toepassing balkons in gemodificeerde houtbouw, overgenomen uit internetartikel Handleiding CLT (p.33) door architecten en bouwkundige Vos, Yildiz, Jackson & van den Berg, 2021.

Variant 1 is afgevallen omdat hierbij een groot moment optreedt in de achterliggende constructie. Deze constructie wordt bij de gekozen varianten alleen in verticale en horizontale richting belast. Variant 3 valt af doordat deze manier van opgehangen een verticaal dragende constructie vereist. In het kader van flexibel ontwerpen moet het balkon op elke positie kunnen hangen. Dit kan dus ook tussen stramienen plaatvinden, waarbij een verticale draagconstructie zal ontbreken. Wanneer variant 2 wordt toegepast, dient de trekstaaf te worden uitgevoerd als profiel welke zowel de trekkracht als de drukkracht ten gevolge van opwaaiing kan opnemen. Er wordt verwacht dat een trekkabel niet zal voldoen door het lichte gewicht van het houten balkon. De verdere uitwerking van het balkon wordt niet uitgevoerd gedurende dit afstudeeronderzoek. Dit zal in de vervolgonderzoeken verder aan bod kunnen komen. Tot slot zijn varianten 4 (externe constructie) en 5 (loggia) mogelijke balkonopties.

  - Belasting: de functie-flexibele variabele belasting bedraagt 6,03 kN/m^2 (incl. lichte scheidingswanden) in vergelijking tot de 2,63 kN/m^2 (incl. lichte scheidingswanden) bij woonfuncties. Wanneer balkons dienen toegepast te worden bij de woonfuncties, zal een extra belasting van het balkon niet noodzakelijk zijn. Echter, het concept dient los getoetst te worden aan de woning belasting in combinatie met de extra balkonbelasting.
    - Lichte scheidingswanden: voor deze variabele belasting is 0,8 kN/m² aangehouden. Steenachtige binnenwanden worden niet verwacht in een houten bouwwerk, hierdoor wordt 1,2 kN/m² niet toegepast. Om aan geluids-(scheidingswanden) en brandeisen (compartimentering) te voldoen, wordt verwacht dat een wand van 0,5 kN/m² niet voldoet.

- Dakvloer: op de dakvloer worden andere belastingen verwacht in tegenstelling tot de belasting op de verdiepingsvloeren. Voor het concept is standaardisatie van groot belang. Met deze reden is onderzocht of de dakvloer hetzelfde uitgevoerd kan worden als de verdiepingsvloer. Dit is gedaan aan de hand van de optredende belastingen in beide situaties. De belastingen zijn afkomstig van de ‘aangenomen belastingen’.

Verdiepingsvloer		**Dakvloer**	
$Q_{per,\ opgel.}$	1,00 kN/m^2	$Q_{per,\ opgel.}$	1,86 kN/m^2
$Q_{var;\ bijeenkomst\ +\ lsw}$	6,03 kN/m^2	$Q_{var;max.\ personen}$	2,50 kN/m^2
$Totaal_k$	7,03 kN/m^2	$Totaal_k$	4,36 kN/m^2

Tabel 3 – Vloerbelastingen, (1).

In bovenstaande tabel is te zien dat de dakvloer in totaal met 4,36 kN/m^2 wordt belast. Er is gekozen om de verdiepingsvloer en de dakvloer in dezelfde dimensie uit te voeren. De overdimensionering van het dak kan gecompenseerd worden met eventuele installatie-units die op het dak geplaatst kunnen worden. De belasting op de kolommen wordt wel verdeeld in verdiepingsvloeren en een dakvloer.

Belastingcombinaties

Functie-flexibel ontwerpen heeft ook invloed op de belastingcombinaties en belastinggevallen. Dit is gebleken uit bovenstaande toelichting onder het kopje ‘uitgangspunten’. De maatgevende belasting dient te worden aangehouden. Maar wanneer extra belastingen voor een specifieke functie, waarbij een lichte variabele belasting aanwezig is, aangehouden dient te worden, dient deze los getoetst te worden. Dit zal in combinatie met de bijbehorende basisbelasting getoetst worden.

4.0 Conclusie

Aan de hand van de opgedane informatie uit dit deelonderzoek kunnen conclusies getrokken worden.

Uit dit deelonderzoek is gebleken dat functie-flexibel ontwerpen uit meerdere facetten bestaat dan alleen uit belastingen. Het betreft functionele, praktische, installatietechnische, bouwfysische en constructieve eisen. Elke toepassing van deze eisen heeft invloed op het functie-flexibele concept. In dit deelonderzoek staat weergegeven in hoeverre bovenstaande facetten worden geïmplementeerd in dit concept. Ook wordt hierin vermeld welke facetten niet technisch worden uitgewerkt maar worden beschouwd aan de hand van literatuur en overige informatie. Dit betreft voornamelijk de installatietechnische en bouwfysische eisen.

Antwoord op deelvraag 3.1: Aan welke eisen dient een utilitair bouwwerk te voldoen bij een functie-flexibele ontwerpmethodiek?

Het antwoord op deze vraag is niet aan de hand van één alinea te beschrijven. Deze vraag wordt namelijk beantwoord door middel van meerdere producten zoals de eisentabel, de algemene bepalingen en de aangenomen belastingen. Deze producten staan in dit deelonderzoek individueel toegelicht.

Resumé: Functie-flexibel ontwerpen is een breed begrip en kan ruim geïnterpreteerd worden. De invulling van dit begrip dient te worden afgestemd met de verwachtingen en de vraag binnen de bouw in de toekomst.

5.0 Discussie

Tijdens dit deelonderzoek zijn veel en diverse uitgangspunten aangenomen en bepaald. In de discussie worden deze aannames ter discussie gesteld.

In het veldonderzoek zijn de, in het functie-flexibele concept, toe te passen gebruiksfunctie bepaald. Dit is in dit deelonderzoek omgezet in aangenomen belastingen. De maatgevende, en dus aangenomen, belastingen zijn groot in vergelijking tot bijvoorbeeld een woonfunctie. Het gebouw wordt gedimensioneerd aan de hand van deze maximale belasting over 4 bouwlagen (de reductie wordt in de belastingcombinaties geïmplementeerd). Of deze extra toevoeging van materiaal gedurende 100 jaar rendabel is in relatie met het aantal functiewisselingen, valt te betwijfelen en zal de toekomst uitwijzen.

Om de maximale belastingcombinatie te bepalen worden ψ-factoren toegepast. Per functie kunnen deze verschillen. Voor elke ψ-factoren is van de maximale uitgegaan. Hierbij worden de ψ-factoren van diverse functie gecombineerd. Verder diepgaand vervolgonderzoek zal uit moeten wijzen of dit conform norm correct is.

Om de optimale functie-flexibiliteit te benutten wordt het concept gedimensioneerd aan de hand van een referentieperiode van 100 jaar. Echter, het is de vraag of het concept in de toekomst zal voldoen aan de wensen, eisen en materiaalkwaliteiten welke dan de norm zijn.

De aangehouden bouwbesluiteisen zijn minimale voorwaarden waar het concept aan dient te voldoen. In praktijk zal dit door middel van een Programma van Eisen worden vastgelegd. Daarnaast bestaat de kans dat de nu geldende eisen niet meer van toepassing zijn over 100 jaar.

De belastingaanname voor de geven wordt aangehouden op 1,00 kN/m². Zwaardere gevels zullen moeten worden voorzien van een zelfdragende hulpconstructie. Deze voorgeschreven en aangehouden belasting kan resulteren in een niet geheel flexibel concept. Echter, de afstudeerders zijn van mening dat het aanhouden van grotere gevelbelastingen zal leiden tot onrealistische en niet-rendabele profielafmetingen. Of hierdoor ontwerpbeperkingen op zullen treden, zal de toekomst uitwijzen.

Voor de maatgevende variabele dakbelasting is aangenomen dat de sneeuwbelasting niet maatgevend zal zijn ten opzichte van de balkonbelasting van 2,50 kN/m². Mogelijk kan door sneeuwophoping deze belasting worden overschreven tot 2,80 kN/m². Echter, dit zal niet over het gehele dak plaatsvinden en is projectspecifiek.

Binnen de belastingaannames is het eigen gewicht van de vloeropbouw bepaald. Een vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen of de aangenomen belasting voor geluids- en brandwering en de installatieruimte voldoende is.

Tot slot staat in dit deelonderzoek vermeld hoe omgegaan kan worden met eventuele balkontoepassingen. Deze toepassingen dienen per project constructie en bouwkundig te worden getoetst. Dit valt niet binnen het afstudeeronderzoek.

6.0 Literatuurlijst

Blok, R. (2018). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen* (10de ed.). Amersfoort , Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Bouwbesluit. (z.d.-a). *Afdeling 3.6. Luchtverversing*. Geraadpleegd op 30 april 2021, van https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd3/afd3-6

Bouwbesluit. (z.d.-b). *Afdeling 4.1. Verblijfsgebied en verblijfsruimte*. Geraadpleegd op 30 april 2021, van https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd4/afd4-1

Bouwbesluit. (z.d.-c). *Afdeling 4.6. Buitenruimte, nieuwbouw*. Geraadpleegd op 30 april 2021, van https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd4/afd4-6

Bouwbesluit. (z.d.-d). *Artikel 2.10. Tijdsduur bezwijken*. Geraadpleegd op 30 april 2021, van https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd2/afd2-2/par2-2-1/art2-10

Bouwbesluit. (z.d.-e). *Hoofdstuk 3. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van gezondheid*. Geraadpleegd op 30 april 2021, van https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bb2012/hfd3

Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V. (2021). Standaard berekening EC (Versie v21-06-1) [Excel sheet] (Versie v21-06-1). Nijmegen, Nederland: Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V.

KNB (Vereniging Koninklijke Nederlandse Bouwkeramiek). (2016). *Maximale gevelhoogte in baksteen metselwerk* (16). KNB-keramiek. Geraadpleegd van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgd/dilatatievoeg_18_knb_info_16_maximale_gevelhoogte_in_baksteenmetselwerk.pdf

Vos, M., Yildiz, B., Jackson, G., & van den Berg, J. (2021 januari). *Handleiding CLT voor architecten en bouwkundigen*. Geraadpleegd op 30 april 2021, van https://www.inbo.com/uploads/nieuws/clt_handleiding_voor_architecten_en_bouwkundigen_1.pdf

Bijlage 5: Stramienplan

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Stramienplan

Bijlage 5



In dit document is het stramienplan tot stand gekomen door middel van een deskresearch.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

1.0 Inleiding 3
1.1 Aanleiding 3
1.2 Doel en resultaat 3
1.3 Onderzoeksmethodiek 3
2.0 Deskresearch stramienplan 4
2.1 Jellema 4
2.2 Onderzoeken functie-flexibiliteit 6
2.3 Referentieprojecten 8
3.0 Conclusie 12
4.0 Discussie 14
5.0 Literatuurlijst 15

1.0 Inleiding

In het Plan van Aanpak is vermeld hoe het relatief brede afstudeeronderzoek is opgedeeld in diverse deelvragen. Door het beantwoorden van deze deelvragen aan de hand van deelonderzoeken wordt gewerkt naar het einddoel van het afstudeeronderzoek.

Dit deelonderzoek heeft betrekking op de eerste stap van het ontwerpproces en hierbij staat onderstaande deelvraag centraal.

Deelvraag 3.2: Welke stramienmaten dienen toegepast te worden om aan de functie-flexibiliteit voor utilitaire bouw te voldoen?

1.1 Aanleiding

Een functie-flexibel bouwwerk begint bij een functie-flexibele ruimte-indeling. Hierbij speelt de vrij-indeelbaarheid een grote rol. Dit gaat gepaard met stramienmaten. Deze stramienmaten zijn een resultaat van een balans tussen constructieve haalbaarheid, materiaalgebruik en de functie-flexibiliteit. Voor een functie-flexibel stramienplan bestaan geen richtlijnen. Vandaar dat deze studie is opgesteld.

1.2 Doel en resultaat

Het doel van dit deelonderzoek is om inzicht krijgen in en het bepalen van stramienmaten voor het functie-flexibele elementenconcept.

Het resultaat van dit onderzoek is een rapportage met informatie over stramienmaten bij bepaalde functie, functie-flexibiliteit en stramienmaten van referentieprojecten. Het hoofdresultaat is een stramienplan onderbouwd aan de hand van literatuur en referenties. Dit stramienplan zal aan de hand van een constructieve variantenstudie getoetst worden op de constructieve haalbaarheid.

1.3 Onderzoeksmethodiek

Voorafgaande aan een onderzoek dient een onderzoeksstrategie opgesteld te worden. Dit is afhankelijk van de beschikbare informatie, het doel en het beoogde resultaat van het onderzoek.

In deze studie naar stramienmaten wordt voornamelijk deskresearch toegepast. Dit betekent dat informatie wordt gewonnen uit bronnen in de vorm van literatuur.

Binnen een literatuuronderzoek kunnen diverse onderzoeksstrategieën worden uitgevoerd. In hoofdstuk 2.1 en 2.2 wordt gebruik gemaakt van literatuur aan de hand van boeken, internet artikelen en rapportages. Bij hoofdstuk 2.3 wordt op een andere manier informatie gewonnen, namelijk door middel van een referentieonderzoek waarbij kennis wordt opgedaan aan de hand van archieftekeningen.

Beide strategieën vallen onder een literatuuronderzoek maar verschillen van elkaar op de manier van informatie vergaren. Door beide manieren toe te passen wordt met een breed perspectief kennis opgedaan. Kenmerkend van een literatuuronderzoek is dat deze manier van onderzoeken vaak nieuwe vragen oproept. Wanneer dit het geval is, zal dit in de discussie worden toegelicht in de vorm van eventuele vervolgonderzoeken.

2.0 Deskresearch stramienplan

2.1 Jellema

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Jellema- Draagstructuur Deel 3 (Spierings & Amerongen, 2004), waarin vuistregels van gezaagd hout en gelamineerd hout in combinatie met transportgrenzen zijn weergegeven.*
- *Boek Jellema- Installatie-werktuigkundige en gas Deel 6B (van Zanten, Deerns & den Hoedt, 2004), waarin over functie-transities is geschreven.*
- *Boek Jellema- Woningbouw Deel 8 (van Boom, Maessen, Noy & Raadschelders, 2005), waarin vuistregels van gehele vloeropbouwen staan vermeld.*
- *Boek Jellema- Utiliteitsbouw Deel 9 (Kamerling & Kamerling, 2004), waarin indelingen van utilitaire bouwwerken aan bod komen.*

Aan de hand van bovenstaande boeken uit de Jellema-reeks is relevante informatie gewonnen ten aanzien van stramienplannen.

Stramienplan

De wijze waarop stramien worden verdeeld binnen het gebouw hangt af van de vorm. Voor het elementenconcept kan een vierkant of rechthoekig rooster (grid) toegepast worden. In eerste instantie zal dit leiden tot een lijnrooster waarbij de hart-op-hart afstand van de constructieve elementen staan vermeld. Dit zal later verder uitgewerkt worden tot een bandrooster wat een zone aanduidt waarbinnen de constructieve elementen gepositioneerd dienen te worden. De breedte van deze banden worden met de letter M aangeduid. Het basismoduul 1M is gelijk aan 100 mm breedte *(Kamerling & Kamerling, 2004, p. 34-39)*.

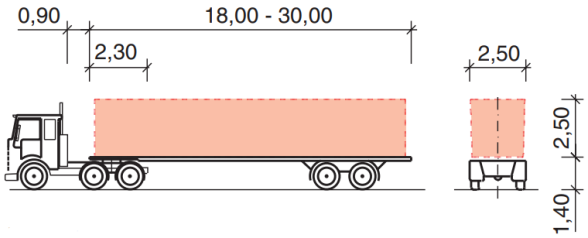
Stramienmaten

Volgens Jellema deel 9 *(Kamerling & Kamerling, 2004, p. 39 & 190)* wordt voor kantoren veelal een stramienplan van 5,40*5,40 m (+ 1,8 m gangzone) aangehouden waarbij in de breedte 2 à 3 werkplekken gerealiseerd kunnen worden. Bij logiesfuncties wordt voornamelijk een stramienbreedte van 3,6 of 7,2 m toegepast waarbij de stramiendiepte variabel is. In veel gevallen zal de stramienmaat, ongeacht de gebruiksfunctie, een meervoud zijn van 1,20, 1,80 of 2,40 m. Dit heeft met standaard afmetingen te maken van platen, vloeren en gevelelementen.

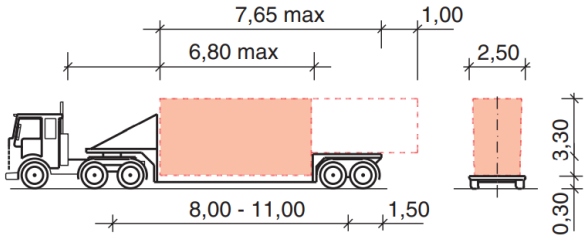
Het stramienplan van een eventuele parkeergarage dient afgestemd te worden met de bovenbouw. Ook kan gekozen worden voor een verschillend stramienplan waarbij de verticale krachtsafdracht convergeert richting de onderbouw. In het geval van het elementenconcept zal een mogelijk betonnen parkeergarage buiten beschouwing worden gelaten.

Transport

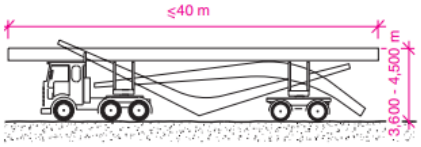
Het transport heeft veel invloed op de bouw- en ontwerpmethode. Ook bij het bepalen van stramienmaten spelen de beperkingen van het transport een grote rol. Bij houten elementen zullen de grenzen van het transport niet op gewicht maar op dimensies gebaseerd zijn. In onderstaande afbeeldingen zijn deze grenzen weergegeven. Hieruit blijkt dat een maximale breedte van 2,5 m vervoerd kan worden. De hoogte van de elementen is afhankelijk van het transportmaterieel waarbij een maximum van 3,30 m is vastgesteld. Hiermee dient rekening gehouden te worden tijdens het opstellen van constructieve varianten.



Figuur 1 – maximale vrachtafmetingen oplegger, overgenomen uit Jellema 9 figuur 5.13 (p. 197) door Kamerling en Kamerling, 2004.



Figuur 2 – maximale vrachtafmetingen dieplader, overgenomen uit Jellema 9 figuur 5.13 (p. 197) door Kamerling en Kamerling, 2004.



Figuur 3 – maximale vrachtafmetingen oplegger, overgenomen uit Jellema 3 figuur 5.63 (p. 181) door Spierings, van Amerongen en Millekamp, 2004.

Vuistregels

Vuistregels kunnen snel inzicht geven in dimensies van constructieve elementen. Deze worden vaak bepaald aan de hand van overspanningslengtes en beslaan liggers, platen, kolommen, wanden, spanten, enz. Een aandachtspunt bij het dimensioneren aan de hand van vuistregels is dat de aangehouden belasting overeen dient te komen met de beoogde belasting. Wanneer dit niet het geval is, zijn de vuistregels onbruikbaar.

2.2 Onderzoeken functie-flexibiliteit

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

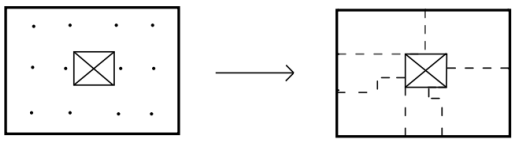
- *Internetartikel Learning from Multifunk (ANA Architecten, 2014), waarin functie-flexibel ontwerpen centraal staat.*
- *Boek WoonKwaliteitWijzer (Stichting VACpunt Wonen, 2010), waarin met een integrale visie op de gebruikskwaliteit van woning en woonomgeving gekeken wordt.*
- *De rapportage Zorg voor leegstand (Remøy & van der Voordt, 2011), waarin onderzoek naar de transitie van leegstaande kantoorpanden naar zorgfuncties.*

Op het internet zijn diverse (afstudeer)onderzoeken te vinden over functie-flexibel ontwerpen en bouwen. Echter, deze zijn veelal gericht op het ontwerpen en de bruikbaarheid van functie-flexibele bouwwerken.

Artikel ANA Architecten

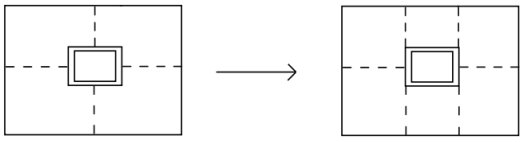
Binnen het onderzoek van ANA Architecten *(ANA Architecten, 2014, p. 24)* worden verschillenden types van flexibiliteit benoemd. Deze staan hieronder weergegeven en kort toegelicht.

- *1. Invulbaar*: de gebruiker bepaalt hoe de ruimte binnen het casco ingedeeld wordt.



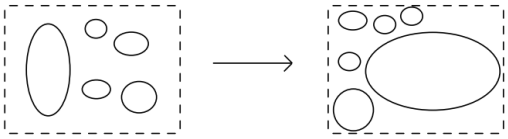
Figuur 4 – Invulbare flexibiliteit, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 24) door ANA Architecten, 2014.

- *2. Veranderbaar*: beperkte aanpassingen zullen functiewisselingen haalbaar maken.



Figuur 5 – Veranderbare flexibiliteit, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 24) door ANA Architecten, 2014.

- *3. Polyvalent*: functiewisselingen kunnen plaatsvinden zonder dat ruimtelijke aanpassingen benodigd zijn.



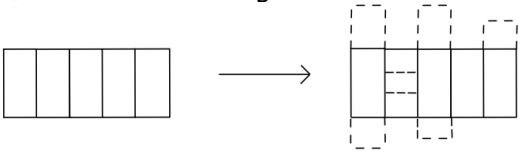
Figuur 6 – Polyvalente flexibiliteit, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 24) door ANA Architecten, 2014.

- *4. Demontabel en modulair*: bestaande uit een moduleconcept welke remontabel is.



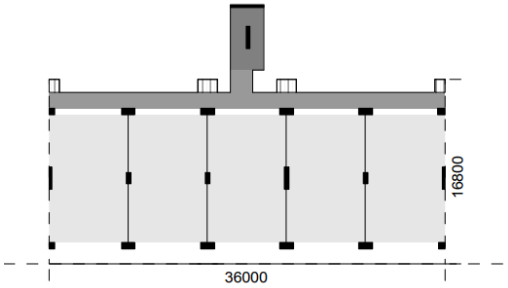
Figuur 7 – Demontabele en modulaire flexibiliteit, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 24) door ANA Architecten, 2014.

- *5. Uitbreidbaarheid*: hierbij is het mogelijk om het bouwwerk in de toekomst te verkleinen of te vergroten.

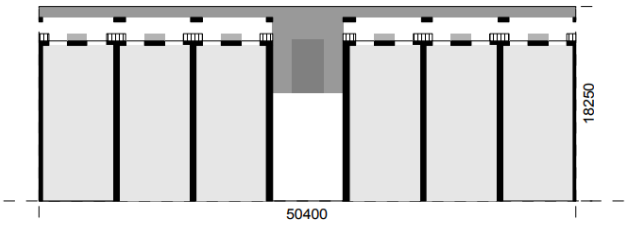


Figuur 8 – Uitbreidbare flexibiliteit, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 24) door ANA Architecten, 2014.

In het rapportage van ANA Architecten staan ook referentieprojecten waarbij functie-flexibiliteit centraal staat beschreven. Bij de referentieprojecten waarbij het stramienplan constant is, variëren de stramienmaten van 3,1 tot 10 meter. Waarbij meerdere malen de stramienmaat van 7,2 meter naar voren is gekomen. Enkele voorbeelden hiervan zijn de bouwwerken Flexsus (te Japan) en Nieuw-Australië (te Amsterdam, Nederland).



Figuur 9 – Stramienplan Flexcus, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 30) door ANA Architecten, 2014.



Figuur 10 – Stramienplan Nieuw-Australië, overgenomen uit rapportage Learning from Mulitfunk (p. 30) door ANA Architecten, 2014.

Overige literatuur

Bij functie-flexibiliteit dienen de stramienmaten te worden bepaald aan de hand van diverse functies. In onderstaande tekst staan diverse functies met bijbehorende stramienmaten vermeld.

In het boek 'WoonKwaliteitWijzer: integrale visie op de gebruikskwaliteit van woning en woonomgeving' *(Stichting VACpunt Wonen, 2010)* staat vermeld dat de optimale beukbreedte voor appartementen tussen de 6,6 en 8,4 meter ligt waarbij een veelvoud van 0,3 meter wordt aangehouden.

''De hoofddraagconstructie in kantoorgebouwen is steeds vaker een veelvoud van 1,8 m. Maten van 5,4 m en 7,2 m komen veel voor'' *(Remøy & van der Voordt, 2011, p. 160)*.

Bij logiesfunctie wordt een gangbare breedte van 3,6 meter aangehouden. Hierbij kunnen meerdere kamers binnen één stramien vallen.

2.3 Referentieprojecten

Aan de hand van de stramienplannen van referentieprojecten met diverse gebruiksfuncties is onderstaande tabel opgesteld. Middels deze stramienmaten is kennis opgedaan over stramienplannen in relatie met gebruiksfuncties. Ook zijn gemiddelde stramienmaten bepaald. Het gros van de referentieprojecten staan in Nijmegen. Middels het archief konden bouwtekeningen ingezien worden. Ook zijn de constructies gematerialiseerd. Dit kan inzicht geven over de relatie tussen constructieve materialen en stramienplannen.

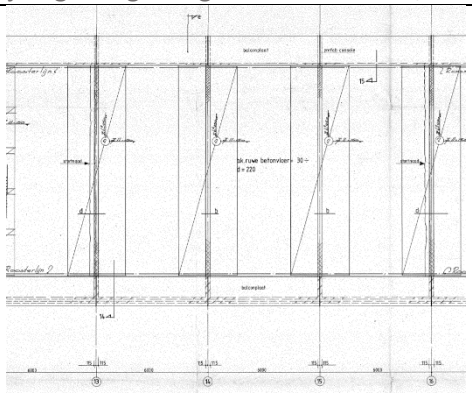
Functie	Gebouw	Locatie		Constructiemateriaal	Stramienmaat [m]			Bron	Tekeningnummer
Woon	Complex St. Annastraat	St. Annastraat 1	te Nijmegen (NL)	beton massief	6	*	variabel	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1987)	D12.563199
Woon	SSH& Hoogveld	Professor Bromstraat 56	te Nijmegen (NL)	beton massief	3,05	*	4,21	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1968)	D12.470392
Woon	Complex IJsvogelpassage	IJsvogelpassage 110	te Nijmegen (NL)	beton massief	7,5	*	variabel	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2009)	D14.452781
Bijeenkomst	Valkhof museum	Kelfkensbos 59	te Nijmegen (NL)	beton massief	6,9-8,4	*	variabel	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1997)	D12.646803
Bijeenkomst	Erica Terpstrabad	Kwakkenbergweg 25	te Nijmegen (NL)	staal	6-8,4	*	4,5-7,95	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2011b)	D12.275884
Bijeenkomst	The LICA Building (atelier)	Bailrigg 4ZA	te Lancaster (VK)	hout	5,5-6	*	4,5	(Trada. & Exova BM TRADA., 2017, pp. 123)	figuur 4.22
Gezondheidszorg	CWZ Canisius-Wilhelmina	Weg door jonkerbos 100	te Nijmegen (NL)	beton massief	7,2	*	7,2	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2014b)	D14.567872
Gezondheidszorg	CWZ Waalsprong	Carbatinastraat 3	te Nijmegen (NL)	beton hol	3,6	*	3,8	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2014a)	D14.393355
Kantoor	Complex Wijchenseweg	Wijchenseweg 111	te Nijmegen (NL)	beton hol	5,4	*	3,6	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2000a)	D12.697553
Kantoor/woon	Patch 22	Johan van Hasseltkade 266	te Amsterdam (NL)	hout/beton	9,5	*	variabel	(Lemniskade Projecten BV, 2019)	151016-floorplans
Kantoor/logies	Complex Weurtseweg	Weurtseweg 478	te Nijmegen (NL)	beton massief	5,4	*	5,4-7,2	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1971)	D12.484275
Logies	Hotel Jakarta	Javakade 766	te Amsterdam (NL)	hout/beton	3,5-7	*	9	(Laarakker, 2019)	n.v.t.
Onderwijs	Citadel college	Griftdijk Noord 9a	te Nijmegen (NL)	beton hol	3,6	*	7,8	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2011a)	D12.023645
Onderwijs	Technovium	Heyendaalseweg 98	te Nijmegen (NL)	beton massief	7,8	*	variabel	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2008)	D12.813764
Sportfunctie	Go4Fit Nijmegen	Berg en Dalseweg 22	te Nijmegen (NL)	beton massief	3,49	*	variabel	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1961)	D12.439644
Winkel	Winkelcentrum molenpoort	Vlaamsegas 2	te Nijmegen (NL)	beton massief	5,2	*	5,2	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2000b)	D12.700975
Winkel	Lidl	Weezenhof 5534	te Nijmegen (NL)	beton cominatievloer	4,8	*	4,8	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1972)	D12.487978
Winkel/woon	Albert Heijn	Jonagoldstraat 57	te Nijmegen (NL)	beton hol	7,2	*	10,6	(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2001)	D12.707202
				gemiddelde	**5,8**	*	**6,2**		

Tabel 1 – Referentieprojectentabel (tekstueel), (1).

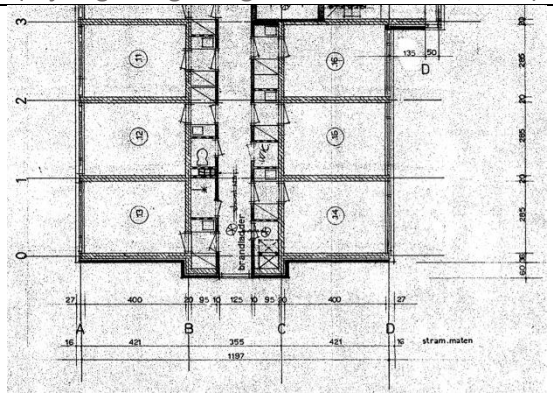
In de tabellen op de volgende pagina's zijn de stramienplannen van alle referentieprojecten visueel weergegeven.

Woonfunctie

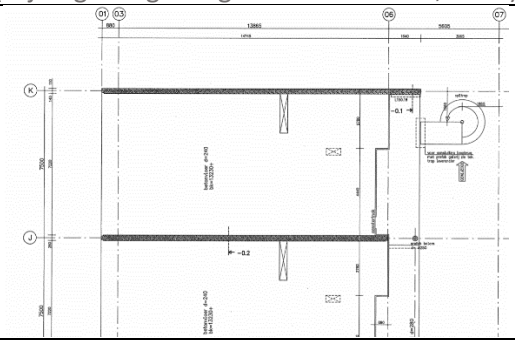
Complex St. Annastraat
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1987)



SSH& Hoogveld
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1968)

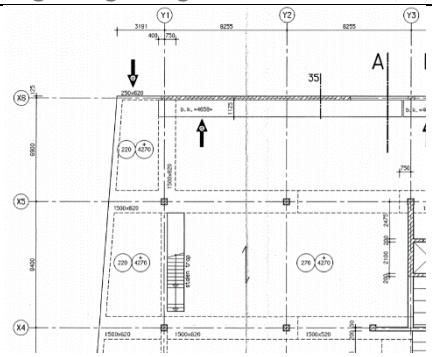


Complex IJsvogelpassage
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2009)

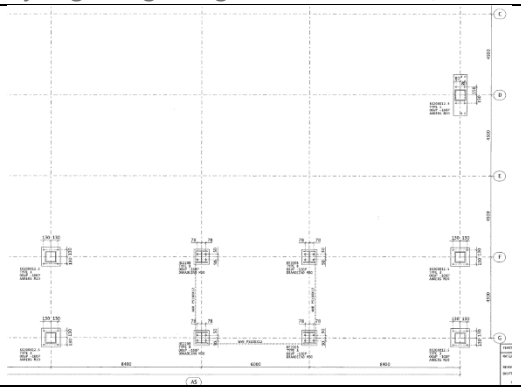


Bijeenkomstfunctie

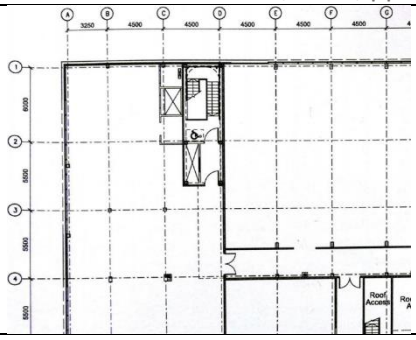
Valkhof museum
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1997)



Erica Terpstrabad
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2011b)

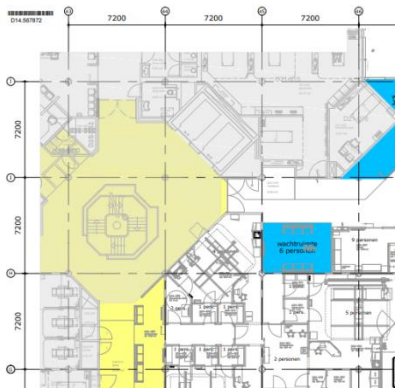


The LICA Building
(Trada. & Exova BM TRADA., 2017, pp. 123)

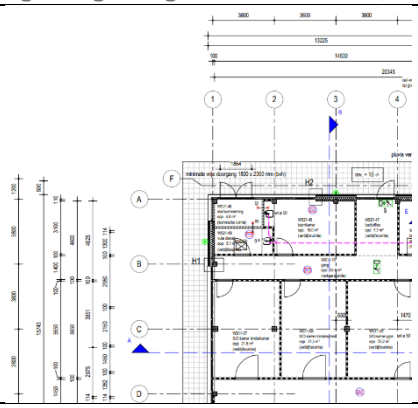


Gezondheidsfunctie

CWZ Canisius-Wilhelmina
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2014b)

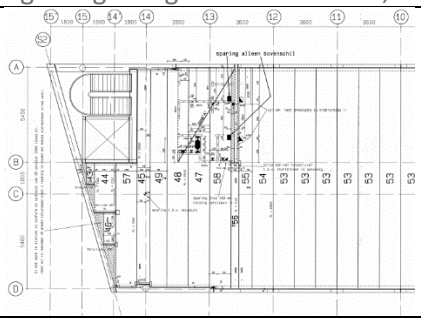


CWZ Waalsprong
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2014a)

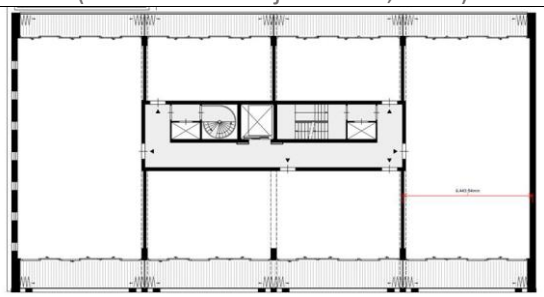


Kantoorfunctie

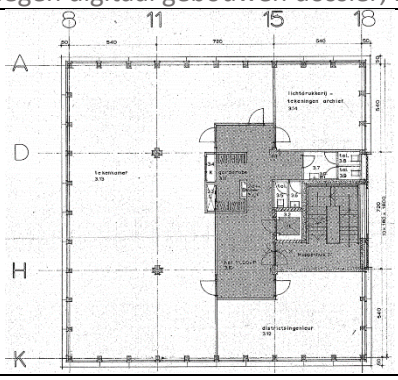
Complex Wijchenseweg
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2000a)



Patch 22 *(i.c.m. woonfunctie)*
(Lemniskade Projecten BV, 2019)

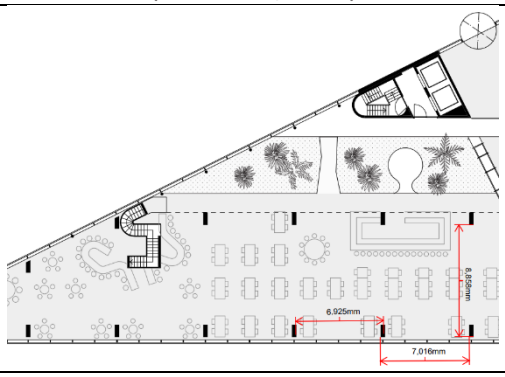


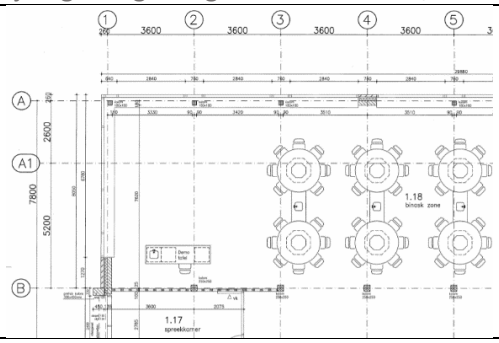
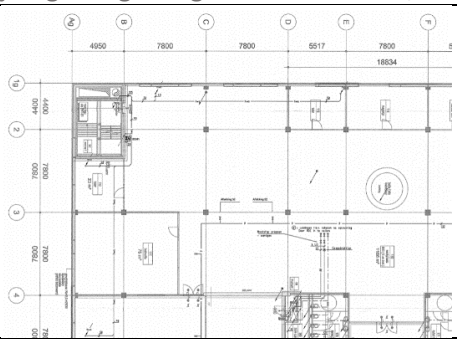
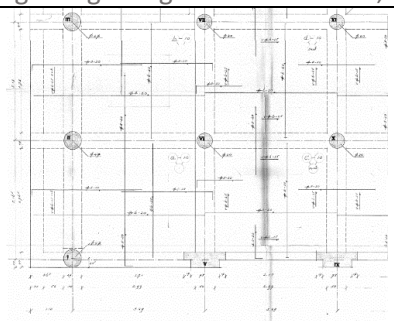
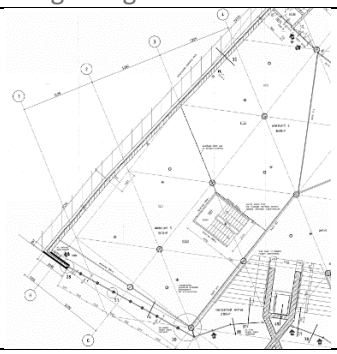
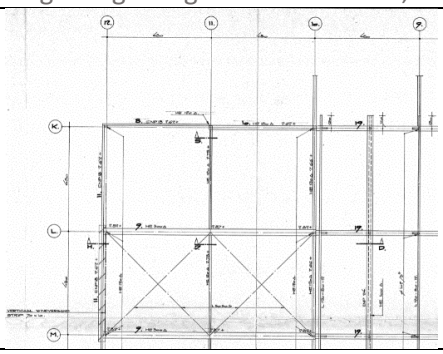
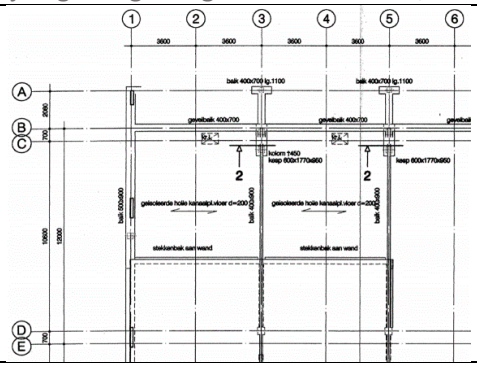
Complex Weurtseweg *(i.c.m. logiesfunctie)*
(Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1971)



Logiesfunctie

Hotel Jakarta
(Laarakker, 2019)



Onderwijsfunctie	
Citadel college (Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2011a)	Technovium (Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2008)
	
Sportfunctie	
Go4Fit Nijmegen (Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1961)	
	
Winkelfunctie	
Winkelcentrum (Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2000b)	Lidl (Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 1972)
	
Albert Heijn *(i.c.m. woonfunctie)* (Nijmegen digitaal gebouwen dossier, 2001)	
	

Tabel 2 – Referentieprojectentabel (visueel), (1).

3.0 Conclusie

Aan de hand van de opgedane informatie uit dit deelonderzoek kunnen conclusies getrokken worden.

In de Jellema-reeks en in overige literatuur staan vuistregels voor houten constructies vermeld. Echter, deze dimensies zijn niet gebaseerd op een relatief grote belasting welke aangehouden wordt in verband met de functie-flexibiliteit. Met deze reden is ervoor kozen om de benodigde sterkte en stijfheid bij de eerste stap van het dimensioneren van de constructieve componenten te implementeren.

Met het oog op functie-flexibiliteit is gekozen voor een systeem waarbij een combinatie van invulbare, modulaire (elementen) en uitbreidbare flexibiliteit toegepast wordt. Dit heeft geleid tot een elementenconcept bestaande uit een kolommenstructuur.

Volgens de geraadpleegde onderzoeken en de referentieprojecten dient het stramienplan in een veelvoud van 0.3, 1.2, 1.8, 2.4 en 3.6 meter uitgevoerd te worden. Uit de referentieprojectentabel volgde een gemiddelde stramienmaat van ongeveer 6 meter.

Antwoord op deelvraag 3.2: Welke stramienmaten dienen toegepast te worden om aan de functie-flexibiliteit voor utilitaire bouw te voldoen?

Er wordt gekozen voor een stramienplan van 7,2 meter. Deze voldoet aan bovengenoemde richtlijnen en is bevorderlijk voor de vrij-indeelbaarheid. De diepte van de stramienen is gekozen om een gangmodule en een restmodule toe te kunnen passen. Dit zal resulteren in 3 concepten:

- 7,2*7,2 m.
- 7,2*4,8 m.
- 7,2*2,4 m.

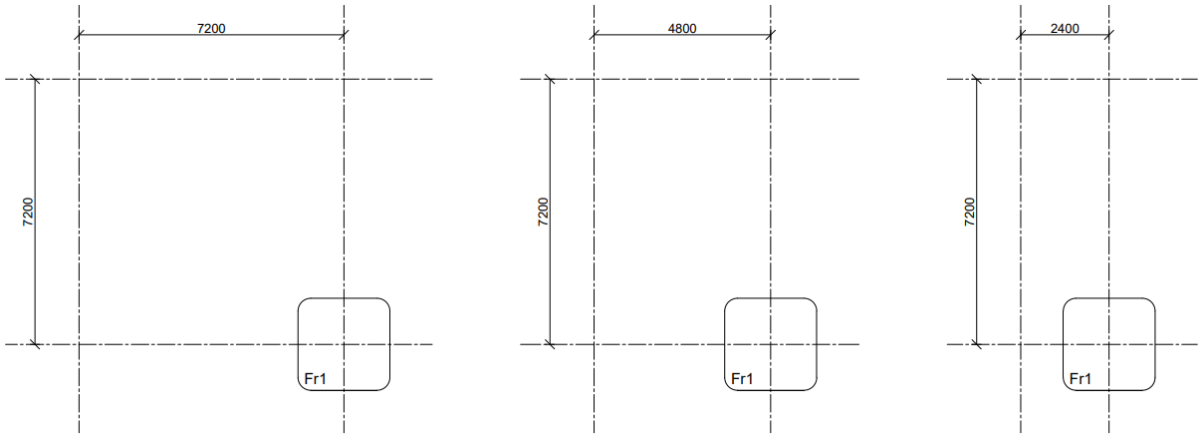
Het voornaamste concept dient 7,2*7,2 m te zijn. Het concept van 4,8 m is een pasmaat en van 2,4 m zal voornamelijk als gangmodule worden toegepast. De verwachting is dat de hoogte van de constructieve elementen van de gangmodule kleiner zal zijn, waardoor deze voornamelijk toegepast kan worden voor het horizontaal transport van installaties.

De gekozen stramienmaten zijn voor woningen, kantoren en logiesfunctie goed toepasbaar. Volgens onderzoeken wordt 7,2 m vaak toegepast. Echter, dit blijft in het referentieonderzoek uit.

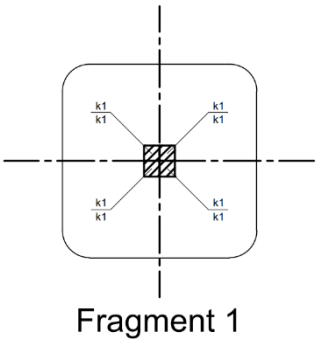
Wel is deze maat goed toepasbaar door bovenstaande veelvouden zoals 2*3,6 bij hotels, studentenwoningen en gezondheidszorg. Bij kantoren kunnen in de breedte 3 à 4 werkplekken ingericht worden per stramienbreedte. Door de grote overspanning wordt verwacht dat het concept ook als bijeenkomstfunctie kan dienen.

Het uitwerken van de fundering valt buiten dit afstudeeronderzoek. Er zal geen rekening wordt gehouden met een eventuele onderbouw. Het uitgangspunt is dat het concept op een stabiele ondergrond gefundeerd kan worden. Hiermee wordt ook de begane grondvloer bedoeld.

In onderstaand tekenwerk staan de beoogde stramienplannen weergegeven. In fragment 1 is te zien dat de kolommen per stramienblok op de rand van de stramienlijnen worden gepositioneerd. Dit betekent dat elk de constructie van één stramienblok binnen de stramienlijnen ligt. Wanneer meerdere elementenconcept naast elkaar worden toegepast, zal de situatie (welke in fragment 1 wordt geschetst) voorkomen. Deze manier van ontwerpen is bevorderlijk voor de mogelijkheid tot het combineren van meerdere stramien in de breedte, diepte en hoogte.



Figuur 11 – Stramienplan (visueel), (1)



Figuur 12 – Fragment 1 (stramienplan), (1).

4.0 Discussie

In de discussie wordt op de opgedane kennis, de hierbij horende conclusies en gemaakte keuzes gereflecteerd en geëvalueerd. Dit kan leiden tot vervolgonderzoeken of eventuele nuancering.

Uit dit onderzoek is een hoofdstramienplan van 7,2*7,2 meter als best toepasbaar gebleken met het oog op bruikbaarheid binnen functie-flexibele bouwwerken. Echter, deze overspanningen zijn relatief groot in combinatie met een zeer grote variabele functie-flexibele belasting. Met deze reden wordt het stramienplan als een conceptversie beschouwd en zal deze verder getoetst dienen te worden. Dit *vervolgonderzoek* heeft betrekking op de toetsing van de constructieve haalbaarheid van het stramienplan waarbij de balans tussen vrij-indeelbaarheid en efficiënt/realistisch materiaalgebruik. Dit zal gepaard gaan met de beschikbare constructie- en installatiehoogte. In dit *vervolgonderzoek* zal geconcludeerd worden of het aangenomen stramienplan haalbaar is, of dat deze aangepast dient te worden.

Daarnaast zijn de stramienmaten gebaseerd op een literatuuronderzoek en referentieprojecten. Het literatuuronderzoek en de referentieprojecten waren niet specifiek voor houtconstructies maar diende als algemene informatie bruikbaar voor voornamelijk traditionele bouwmethodieken. Uit deze kennis is de volgende vraag opgesteld: ‘Is het realistisch om een constructie gebaseerd op bouwwerken met diverse materialisatie uit te voeren in hout of dient houtbouw een eigen manier van construeren te krijgen.’ Deze vraag zal beantwoord moeten worden aan de hand van een *vervolgonderzoek*. Dit onderzoek zal betrekking hebben of de verschillen en overeenkomsten tussen diverse materialisaties op het gebied van constructies en construeren. Gedurende dit afstudeeronderzoek zal dit expliciete *vervolgonderzoek* niet uitgevoerd worden. Echter, aan de hand van het *vervolgonderzoek* naar de constructieve haalbaarheid van de stramienplannen (zie bovenstaande alinea) wordt dit onderwerp toch behandeld.

5.0 Literatuurlijst

ANA Architecten. (2014 juni). *Learning from Multifunk*. Geraadpleegd op 19 maart 2021, van https://www.ana.nl/wp-content/uploads/2018/07/ANA-architecten-Learning-from-Multifunk.pdf

Kamerling, M. W., & Kamerling, J. W. (2004). *Jellema 9 - Jellema 9 - Utiliteitsbouw* (2de editie). Utrecht/Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Laarakker, A. (2019, 4 januari). *ARC18: Hotel Jakarta, Amsterdam – SeARCH*. Geraadpleegd op 16 maart 2021, van https://www.dearchitect.nl/projecten/arc18-hotel-jakarta-amsterdam-search

Lemniskade Projecten BV. (2019, 3 oktober). *Documenten*. Geraadpleegd op 16 maart 2021, van https://lemniskade.nl/downloads/

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (1961, 12 juli). *BOUWEN STUDENTENFLAT MET 4 WON., WINKEL EN BEDRIJFSRUIMTE*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000065348?zaakDossierId=B12.017899

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (1968, 19 april). *BOUW HOOGVELDT -1024 STUDENTENKAMERS- BIJBEHORENDE RUIMTEN*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000034740?zaakDossierId=B12.023840

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (1971, 8 januari). *BOUWEN EN RIOLEREN DISTRICTSKANTOOR MET ANNEXEN*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000042970?zaakDossierId=B12.026116

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (1972, 29 maart). *BOUWEN V/E WINKELCENTRUM*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000044332?zaakDossierId=B12.026796

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (1987, 15 september). *BOUWEN 78 WONINGEN, KANTOREN, SHOWROOM EN PARKEERKELDER*. Geraadpleegd op 16 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000042017?zaakDossierId=B12.036751

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (1997, 13 oktober). *BOUW MUSEUM HET VALKHOF*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000063511?zaakDossierId=B12.044810

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2000a, 4 september). *BOUWEN VAN EEN KANTOORGEBOUW*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000062843?zaakDossierId=B12.048699

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2000b, 2 oktober). *BOUW WINKEL WOONCENTRUM*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000074554?zaakDossierId=B12.048929

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2001, 26 februari). *BOUW WINKELCENTRUM EN 28 APPARTEMENTEN*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000072932?zaakDossierId=B12.049416

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2008, 27 juni). *OPRICHTEN ONDERWIJSGEBOUW*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000085774?zaakDossierId=B12.055869

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2009, 2 juli). *BOUW APPARTEMENTENGEBOUW STALLINGSGARAGE WINKEL- EN KANTOORRUIMTE*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000088625?zaakDossierId=B14.000129

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2011a, 19 januari). *BOUW SCHOOL VOOR MIDDELBAAR ONDERWIJS*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000089346?zaakDossierId=Z10.018543

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2011b, 10 februari). *BOUW NIEUW ZWEMBADCOMPLEX*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000089360?zaakDossierId=Z10.018577

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2014a, 20 juni). *BOUWEN VAN EEN GEBOUW MET GEZONDHEIDSZORGFUNCTIE*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000096232?zaakDossierId=Z14.002991

Nijmegen digitaal gebouwen dossier. (2014b, 21 juli). *INTERNE VERBOUWING CWZ AFDELING RADIOLOGIE B50 OP DE BEGANE GROND*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, van https://app4.nijmegen.nl/DGD2/BouwArchief/Documenten/0268200000058331?zaakDossierId=Z14.018514

Remøy, H. T., & van der Voordt, D. J. M. (2011). Zorg voor leegstand Herbestemmen van leegstaande kantoren naar zorgfuncties. *Zorg voor leegstand*, 160. Geraadpleegd van https://docplayer.nl/331454-Zorg-voor-leegstand-herbestemmen-van-leegstaande-kantoren-naar-zorgfuncties.html

Spierings, T. G. M., Amerongen, P. P., & Millekamp, H. (2004). *Jellema 3 – Draagstructuur* (2de editie). Utrecht/Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Stichting VACpunt Wonen, Bouwen, W. A. D., Buro Plantaan, & VACpunt wonen. (2010). *WoonKwaliteitWijzer*. Utrecht, Nederland: Stichting VACpunt Wonen.

Trada., E. B. M. & Exova BM TRADA. (2017). *Cross-laminated Timber*. High Wycombe, Verenigd Koninkrijk: Exova BM TRADA.

van Boom, P., Maessen, W. H., Noy, D. J., & Raadschelders, J. G. M. (2005). *Jellema 8 – Woningbouw* (2de editie). Utrecht/Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Zanten, J. H., Deerns, & den Hoedt, A. (2004). *Jellema 6B - Installaties Werktuigbouwkundig en gas* (2de editie). Utrecht/Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Bijlage 6: Installatieconcept

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Installatieconcept

Bijlage 6



In dit document is het installatieconcept tot stand gekomen door middel van een deskresearch.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

1.0 Inleiding 3
1.1 Aanleiding 3
1.2 Doel en resultaat 3
1.3 Onderzoeksmethodiek 3
2.0 Deskresearch installatieconcept 4
2.1 Installatieprincipes 4
2.2 Installatieconcepten 5
2.3 Functieflexibel systemen 10
2.4 Afmetingen distributieleidingen 12
3.0 Conclusie 14
4.0 Discussie 16
5.0 Literatuurlijst 17

1.0 Inleiding

In het Plan van Aanpak is vermeld hoe het relatief brede afstudeeronderzoek is opgedeeld in diverse deelvragen. Door het beantwoorden van deze deelvragen aan de hand van deelonderzoeken wordt gewerkt naar het einddoel van het afstudeeronderzoek.

Dit deelonderzoek heeft betrekking op de eerste stap van het ontwerpproces en hierbij staat onderstaande deelvraag centraal.

Deelvraag 3.3: Welk installatieconcept dient toegepast te worden om aan de functie-flexibiliteit voor utilitaire bouw te voldoen?

1.1 Aanleiding

Binnen een bouwconceptgedachten dient nagedacht worden over een installatieconcept die toepasbaar is voor het functieflexibel bouwconcept. Omdat er een gebrek aan kennis is over installatieconcepten en installatie ruimtereserveringen vanuit de afstudeerstudenten, wordt dit onderzoek opgesteld.

1.2 Doel en resultaat

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in welk installatieconcept toepasbaar is voor een functieflexibel gebouw en welke installatie ruimtereserveringen er voor het installatieconcept nodig is.

Het resultaat bestaat uit een keuze welk installatieconcept toegepast gaat worden voor het bouwconcept en welke installatie ruimtereserveringen er worden gemaakt voor dit concept.

1.3 Onderzoeksmethodiek

Voorafgaand aan een onderzoek dient een onderzoeksstrategie opgesteld te worden. Dit is afhankelijk van de beschikbare informatie, het doel en het beoogde resultaat van het onderzoek.

In deze studie naar een installatieconcept wordt voornamelijk deskresearch toegepast. Dit betekent dat informatie wordt gewonnen uit bronnen in de vorm van literatuur.

Binnen een literatuuronderzoek kunnen diverse onderzoeksstrategieën worden uitgevoerd. In hoofdstuk 2.1, 2.2 en 2.3, wordt gebruik gemaakt van literatuur aan de hand van boeken, internet artikelen en rapportages. In 2.4 wordt op een andere manier informatie gewonnen. Dit wordt namelijk door middel van een literatuuronderzoek en toetsend onderzoek uitgevoerd, waarbij berekend wordt hoeveel hoogte nodig is voor het installatieconcept.

Beide strategieën vallen onder een literatuuronderzoek maar verschillen van elkaar op de manier van informatie vergaren. Door beide manieren toe te passen wordt met een breed perspectief kennis opgedaan. Kenmerkend van een literatuuronderzoek is dat deze manier van onderzoeken vaak nieuwe vragen oproept. Wanneer dit het geval is, zal dit in de discussie worden toegelicht in de vorm van eventuele vervolgonderzoeken.

2.0 Deskresearch installatieconcept

2.1 Installatieprincipes

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Jellema 9 Utiliteitsbouw (Kamerling & Kamerling, 2004), waarin informatie wordt beschreven over de verschillende toepassingen van installatieprincipes.*

Indeling installaties

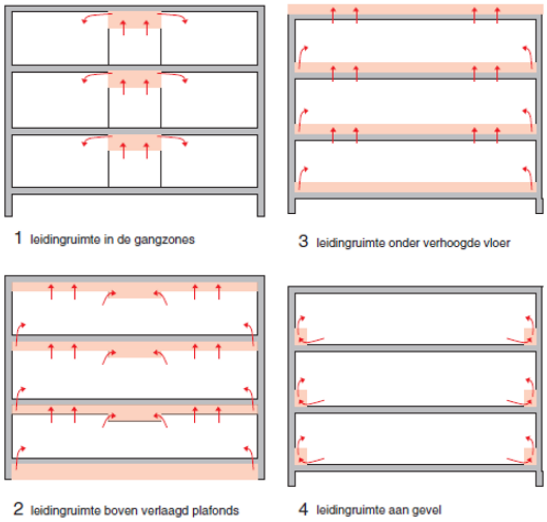
Het ontwerpen van installaties wordt door verschillende installatie specialisten gedaan. Installaties zijn onder te verdelen in de volgende verdeling *(Kamerling & Kamerling, 2004, p. 33-34)*:

- Verwarming en koeling
- Transport (lift en roltrappen)
- Verlichting
- Communicatie en automatisering (telefoon en computer)
- Aan- en afvoer van vloeistoffen (riolering, warm en koud water en gassen)

Locaties van leidingen

Installaties voor een gebouw hebben leidingruimte nodig. De locatie van de leidingruimte is aanduidend voor het ontwerp van het gebouw en heeft impact op de draagconstructie. Leidingen worden verticaal geplaats in schachten bij trappenhuizen of liften. De horizontale leidingen worden voornamelijk geplaats in (zie figuur 1):

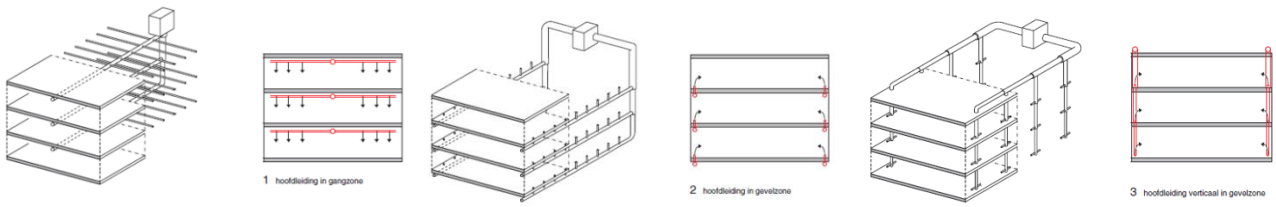
1. Gangzones
2. Verlaagde plafonds
3. Verhoogde vloeren
4. Leidingruimte aan gevel



Figuur 1 – Locatie leidingen horizontaal, overgenomen uit Jellema 9 figuur 2.33 (p. 56) door Kamerling en Kamerling, 2004.

Mechanische ventilatie in een gebouw is voornamelijk maatgevend voor de hoogte van leidingen/kanalen binnen een installatieconcept. Deze ventilatiekanalen kunnen op verschillende manieren geplaatst worden namelijk (zie figuur 2):

1. Hoofdleiding in gang
2. Hoofdleiding horizontaal in gevel
3. Hoofdleiding verticaal in gevel

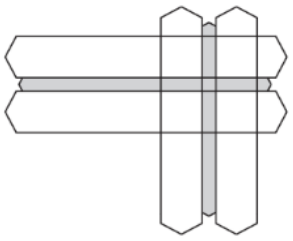


Figuur 2 – Locatie leidingen horizontaal, overgenomen uit Jellema 9 figuur 2.33 (p. 56) door Kamerling en Kamerling, 2004.

Zonering

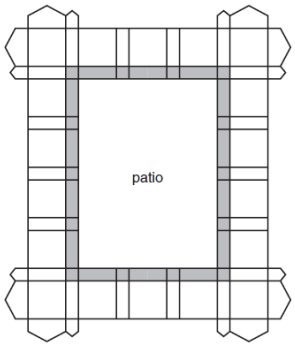
Voor utiliteitsgebouwen wordt in een vroeg stadium binnen het ontwerp een zoneresevering gemaakt. In een gebouw worden zones gereserveerd voor verblijfsgebieden en verkeersgebieden. De verkeersgebieden zijn karakteriserend voor het horizontaal transport van installaties. De infrastructuur en de draagconstructie van een gebouw(deel) wordt bepaald door de zonering. De soorten zoneringen kunnen worden verdeeld in *(Kamerling & Kamerling, 2004, 40-44)*:

- Lineaire zonering
  - Heeft één hoofdrichting
  - Soorten:
    - Eenzijdige gang
    - Middengang
    - Dubbelgang
    - Kruisend
      - Overlapping
      - Afsnijding
      - Verbinding



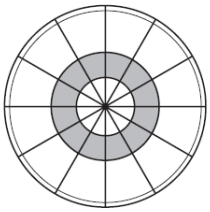
Figuur 3 – Kruisende lineaire zonering, overgenomen uit Jellema 9 figuur 2.15 (p. 41) door Kamerling en Kamerling, 2004.

- Neutrale zonering
  - Heeft twee of meer overeenkomende hoofdrichtingen
  - Soorten:
    - Eenzijdige gang
    - Middengang
    - Dubbelgang



Figuur 4 – Neutrale zonering, overgenomen uit Jellema 9 figuur 2.16 (p. 43) door Kamerling en Kamerling, 2004.

- Centrale zonering
  - Bestaat uit kringen die steeds van het middelpunt zijn verwijderd.



Figuur 5 – Centrale zonering, overgenomen uit Jellema 9 figuur 2.19 (p. 44) door Kamerling en Kamerling, 2004.

2.2 Installatieconcepten

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Boek Jellema 6B Installaties (Hengeveld & van Zanten, 2004), waarin informatie wordt beschreven over verschillende klimaatbeheersings-concepten.*

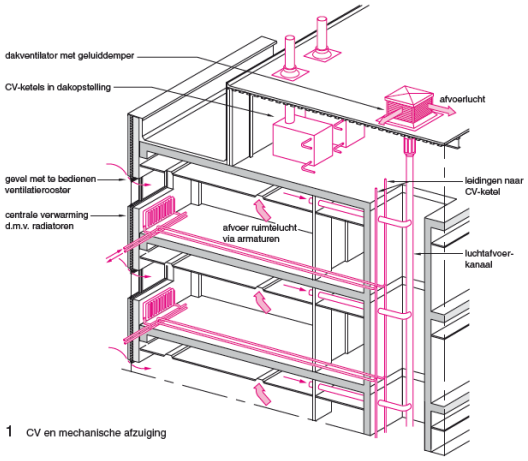
2.2.1 Concepten

Om een goede klimaatbeheersing binnen een gebouw te realiseren zijn er verschillende installatieconcepten ontwikkeld voor verschillende toepassingen. In dit hoofdstuk worden de verschillende installatieconcepten beschreven. Per concept worden de volgende onderdelen beschreven:

- Beschrijving concept
  - Verwarming (Op welke manier wordt de ruimte verwarmd)
  - Ventilatie (Op welke manier wordt het gebouw geventileerd)
  - Regeling (Op welke wijze kan het systeem bediend worden)

1.Natuurlijke luchttoevoer/ mechanische luchtafvoer, radiatoren

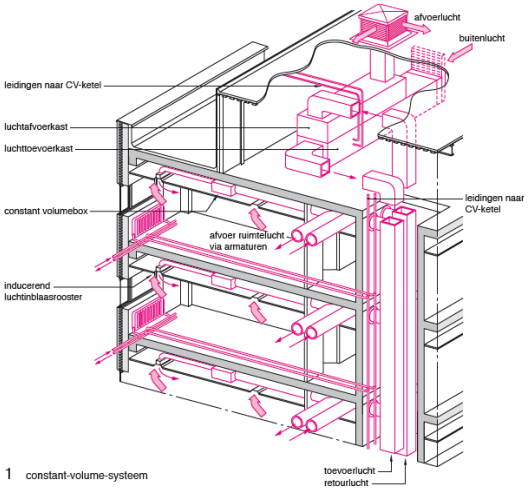
Dit concept betreft een centrale verwarming met natuurlijke luchttoevoer en mechanische luchtafvoer. De verwarming wordt door middel van een warmtebron (ketel of stadsverwarming) opgewekt en door radiatoren verwarmt. De distributie-voorzieningen voor de verwarming betreft een pomp(en) en transportleidingen. Lucht ten behoeve van de ventilatie van het concept wordt door middel van ventilatieroosters toegevoerd en door een ventilatorunit mechanische afgevoerd. De regeling van het systeem bestaat uit een centrale voorschakeling voor de cv-watertemperatuur en een individuele regeling binnen een ruimte.



Figuur 6 – Principe concept centrale verwarming/ natuurlijke toevoer en mechanische afvoer, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.5 (p. 38) door van Zanten, 2004.

2.Constant-volumesysteem, radiatoren

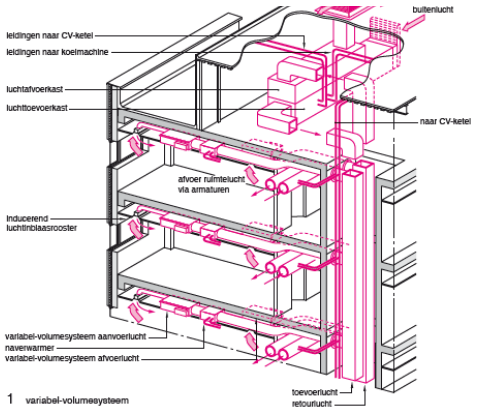
Dit concept betreft een centrale verwarming met mechanische lucht toe- en afvoer. De verwarming wordt door middel van een warmtebron (ketel of stadsverwarming) opgewekt en door radiatoren afgegeven. De distributie-voorzieningen voor de verwarming betreft een pomp(en) en transportleidingen. Het ventilatiesysteem bestaat uit een constante luchtstroom in toe- en afvoer. Dit wordt gedaan doormiddel van: een luchttoevoerunit, roosters, luchtkanalen, een luchtafvoerunit en regelingen. De regeling van het systeem bestaat uit een centrale voorschakeling voor de cv-watertemperatuur en een individuele regeling binnen een ruimte. De ventilatie wordt centraal bediend.



Figuur 7 – Principe concept constant-volumesysteem, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.6 (p. 41) door van Zanten, 2004.

3. Variabel-volumesysteem

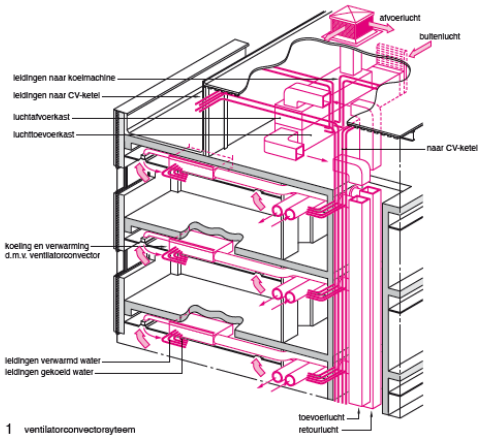
Dit concept betreft een ventilatie-, verwarmings- en koelingssysteem op basis van luchtverplaatsing. De verwarming wordt gerealiseerd door middel van een centrale voorverwarming en een luchtverwarmer per ruimte of zone in het gebouw. Het ventilatiesysteem bestaat uit een constante luchtstroom in toe- en afvoer. Dit wordt gedaan doormiddel van: een luchttoevoerunit, roosters, luchtkanalen, een luchtafvoerunit en regelingen. De regeling van het systeem wordt individueel bediend binnen een ruimte of zone.



Figuur 8 – Principe concept variabel-volumesysteem, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.7 (p. 44) door van Zanten, 2004.

4. Ventilatorconvectorsysteem

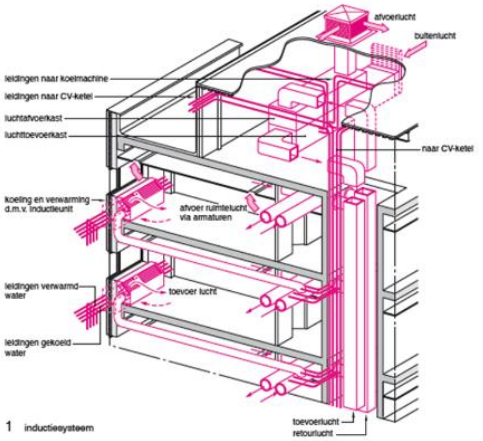
Dit concept betreft een ventilatie-, verwarmings- en koelingssysteem op basis van luchtverplaatsing. De verwarming/koeling wordt gerealiseerd door de ventilatorconvectoren. Deze convectoren worden voornamelijk in een verlaagd plafond geplaatst of aan de gevel. Voor de convectoren is een Cv-ketel en een koelmachine nodig in een installatieruimte. Het ventilatiesysteem bestaat uit een constante luchtstroom in toe- en afvoer. Dit wordt gedaan doormiddel van: een luchttoevoerunit, roosters, luchtkanalen, een luchtafvoerunit en regelingen. De regeling wordt gedaan per gevelzone of binnenzone van 3,6m. De luchthoeveelheid is constant.



Figuur 9 – Principe concept ventilatorconvectorsysteem, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.8 (p. 46) door van Zanten, 2004.

5.Inductie-units

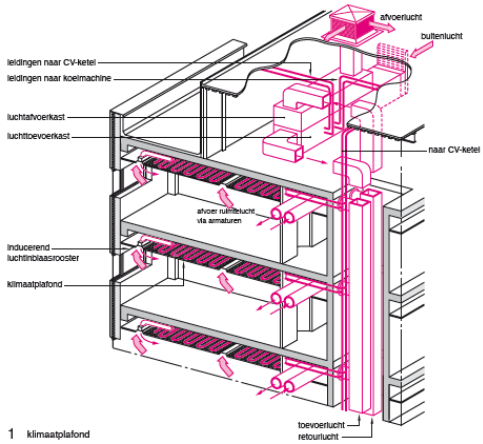
Dit concept betreft een ventilatie-, verwarmings- en koelingssysteem op basis van luchtverplaatsing. De toevoer van lucht wordt gerealiseerd door middel van inductie units die per ruimte worden ontworpen voor de capaciteit. Voor de inductie units is een Cv-ketel en een koelmachine nodig in een installatieruimte. Het ventilatiesysteem bestaat uit een constante luchtstroom in toe- en afvoer. Dit wordt gedaan doormiddel van: een luchttoevoerunit, roosters, luchtkanalen, een luchtafvoerunit en regelingen. De regeling wordt gedaan per gevelzone of binnenzone van 3,6m. De luchthoeveelheid is constant.



Figuur 10 – Principe concept inductie-units, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.10 (p. 50) door van Zanten, 2004.

6. Klimaatplafond

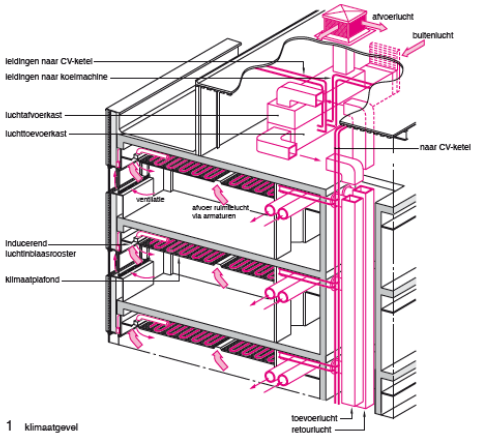
Dit concept betreft een constant-volume ventilatiesysteem met verwarming en koeling door middel van uitwisseling via een 'speciaal plafond' (klimaatplafond). Het klimaatplafond geeft stralingen af aan de lucht binnen een ruimte. Het ventilatiesysteem bestaat uit een constante luchtstroom in toe- en afvoer. Dit wordt gedaan doormiddel van: een luchttoevoerunit, roosters, luchtkanalen, een luchtafvoerunit en regelingen. De regeling wordt gedaan per gevelzone of binnenzone van 3,6m. De ventilatie wordt centraal bediend.



Figuur 11 – Principe concept klimaatplafond, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.11 (p. 52) door van Zanten, 2004.

7. Klimaatgevel

Dit concept betreft een constant-volume ventilatiesysteem met verwarming en koeling door middel van uitwisseling via een 'speciaal plafond' (klimaatplafond). Het klimaatplafond geeft stralingen af aan de lucht binnen een ruimte. Het ventilatiesysteem bestaat uit een constante luchtstroom in toe- en afvoer. Dit wordt gedaan doormiddel van: een luchttoevoerunit, roosters, luchtkanalen, een luchtafvoerunit en regelingen. De luchtafvoer gaat langs gevel. De ventilatie wordt centraal bediend.



Figuur 12 – Principe concept klimaatplafond, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.13 (p. 52) door van Zanten, 2004.

2.2.2 Vergelijking concepten

De verschillende installatieconcepten hebben ieder zijn eigen positieve aspecten. Om een vergelijking te maken tussen de verschillende installatieconcepten zijn er binnen de Jellema 6B verschillende tabellen opgesteld. Deze tabellen zijn in dit hoofdstuk weergegeven. De tabellen geven de invloed van ruimtebeslag, functiegebruik en kosten weer. Deze tabellen worden geanalyseerd in de conclusie.

Tabel 1: Functie en ruimtebeslag van het installatieconcept

Installatieconcept	Basisfuncties						Regeling						Ruimtebeslag		
							Verwarming		Ventilatie		Koeling				
	Verwarmen	Luchttoevoer	Luchtafvoer	Filteren	Bevochtigen	Koelen	Gebouwniveau	Lokaalniveau	Gebouwniveau	Lokaalniveau	Gebouwniveau	Lokaalniveau	Gevelstrookbreedte (mm)	Plafondhoogte (mm)	Technische ruimte (m² in % bvo)
Natuurlijke/mechanische ventilatie en centrale verwarming	+	nat.	+	–	–	–		+		+			100	200-300	1,0
Constant volumesysteem en centrale verwarming	+	+	+	+	+	–	+	+	+				100	300-400	2,5
Variabel volumesysteem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	400-500	4,5
Ventilatorconvector-systemen	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	0	450-550	3,5
Inductiesystemen	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	500	400-500	3,5
Klimaatplafond	+	+	+	+	+	+	+	+					0	350-400	3,5
Klimaatgevel													500	350-400	3,5

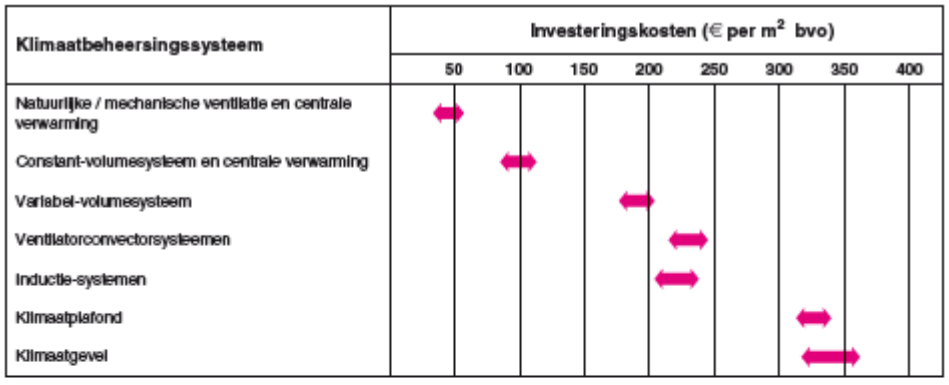
Tabel 1 – Functie en ruimtebeslag van het installatieconcept, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.9 (p. 48) door van Zanten, 2004.

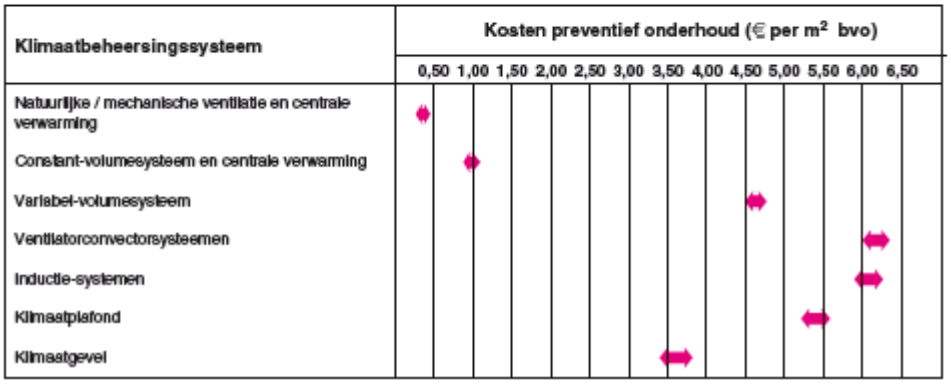
Tabel 2: Functiegebruik van installatieconcepten

Gebruik	Installatieconcept						
	Natuurlijke/ mechanische ventilatie en centrale verwarming	*Constant volume-systeem en centrale verwarming*	*Variabel volume-systeem*	*Ventilator-convector-systemen*	*Inductie-systemen*	*Klimaat-plafond*	*Klimaat-gevel*
Kantoorruimte	+	+	+	+	+	+	+
Vergaderruimte			+				
Computerruimte				+			
Patiëntenkamer		+				+	+
Onderzoeksruimte		+	+			+	+
Operatiekamer							
Verkoopruimte	+		+	+			
Magazijn	+	+					
Restaurant/kantine	+	+	+				
Lesruimte	+	+					
Zwembad		+					
Kleed/doucheruimte	+	+					
Hotelkamer	+		+	+	+		
Bejaardenflat	+	+					
Pension	+						

Tabel 2 – Functie en ruimtebeslag van het installatieconcept, overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.12 (p. 48) door van Zanten, 2004.

Tabel 3: Kosten van installatieconcepten





Tabel 3 – Kosten van installatieconcepten overgenomen uit Jellema 6B figuur 12.19 (p. 61) door van Zanten, 2004.

2.3 Functieflexibel systemen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Rapport Adaptief vermogen: Brononderzoek literatuurinventarisatie Eindrapportage fase 1 (Geraedts, 2013), waarin richtlijnen staan beschreven voor installaties in een functie-flexibel bouwwerk.*
- *Tekeningen van project Patch 22 (Lemniskade Projecten BV., 2021) waarop een voorbeeld is weergegeven van een functie-flexibel installatieconcept.*
- *Internetartikel Framework Circulair Bouwen (Platform CB'23, 2019), waarin de levensduur van lagen in een gebouw beschreven staan.*

Onderzoek *Adaptief Vermogen*

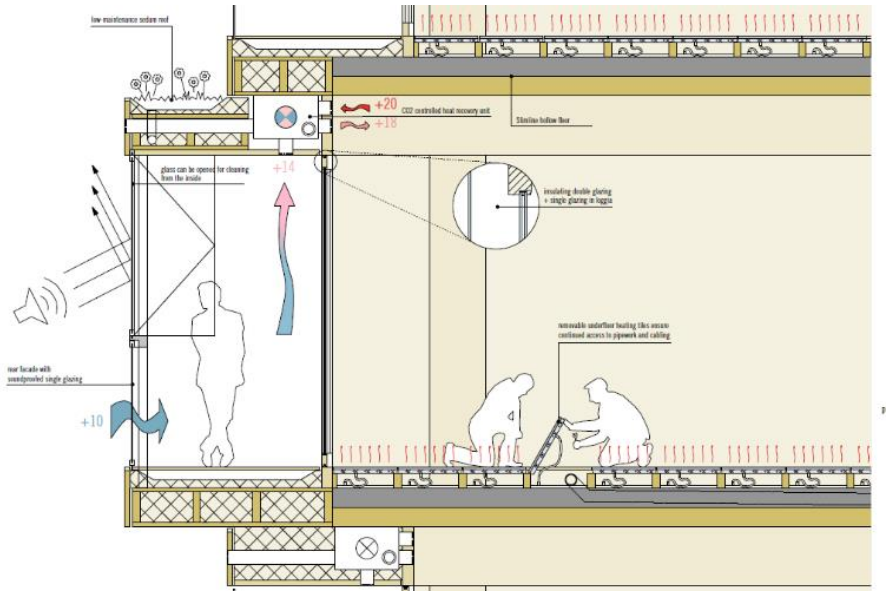
Volgens het onderzoek *Adaptief vermogen* *(Geraedts, 2013)*, dient het ontwerp aan onderstaande richtlijnen te voldoen om een functie-flexibel bouwwerk met betrekking tot installaties te realiseren:

1. Integreer gebouw- en installatie- ontwerp.
2. Scheidt installatie in een drager- en inbouwgedeelte.
3. Stel specifieke eisen aan leidingverbindingen (ontkoppelbaar, bedieningsgemak, gestandaardiseerd, vorm- en plaatstolerantie, kwaliteit, individuele verwijderbaarheid).
4. Standaardiseer maatvoering en koppelingen.
5. Pas modulaire coördinatie toe.
6. Maak de installaties beter verkavelbaar.
7. Biedt installatiefuncties op verschillende niveaus aan.
8. Ontwerp installatie op de kleinste verkavelbare eenheid.
9. Beperk de distributievoorzieningen zoveel mogelijk.
10. Pas geen distributiesystemen in (constructie)wanden en -vloeren toe.
11. Combineer plafond- en vloer distributiesystemen.
12. Bevorder lokale én centrale overdracht.
13. Zorg voor lokale én centrale overdracht.
14. Zorg voor lokaal én centraal meten.
15. Zorg voor lokaal én centraal regelen.
16. Maak installatiecomponenten goed ontkoppelbaar.
17. Zorg dat installatiecomponenten goed bereikbaar zijn.
18. Maak installatie goed instelbaar.
19. Zorg voor de aanwezigheid van open eindstructuren.
20. Maak gebruik van middenzones.
21. Zorg voor overcapaciteit in het installatievermogen.
22. Zorg voor overdimensionering van de distributievoorzieningen.
23. Zorgvuldige positionering van leidingkanalen
24. Integreer installatiefuncties in de componenten.
25. Gebruik zoveel mogelijk projectgebonden componenten.

(Geraedts, 2013, p. 41)

Referentieproject Patch 22

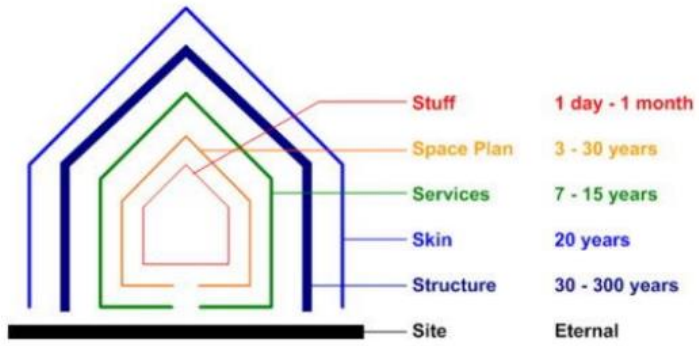
In het onderzoek *Adaptief vermogen* *(Geraedts, 2013)* wordt in de richtlijnen vermeld om een combinatie te maken tussen een plafond- en vloerdistributiesystemen. Figuur 14 is een voorbeeld van dit concept. Dit concept is verwerkt in Patch 22 te Amsterdam. Binnen de verhoogde vloer zijn de installaties: verwarming, elektra en rioleringen verwerkt. Tussen de hoge houtenliggers (verlaagd plafond) is het ventilatiesysteem verwerkt door middel van buitenunits. Het gebouw naast de Patch 22, Top-Up, is een verbeterde versie. Echter, hiervan is geen openbaar literatuur beschikbaar.



Figuur 14 – Voorbeeld van functie-flexibel installatieconcept, overgenomen van website tekeningen Patch22 (file nummer: 00200_13_20131019_DO_03_WIP.MCD) door Lemniskade Projecten BV., 2021.

Levensduur installaties

Elementen binnen een bouwwerk kunnen verschillende levensduren hebben. Dit geldt ook voor de hoofddraagconstructie en installaties. Er wordt verwacht dat de hoofddraagconstructie een vele malen lange levensduur heeft dan installaties. Dit komt door nieuwe technologische ontwikkelingen, veroudering/ schade en eventuele nieuwe eisen aan de installaties. Bij functieflexibel bouwen is het van belang dat installaties toegankelijk en bereikbaar zijn ten behoeve van het vernieuwen door een veroudering of functiewisseling. In de figuur 15 zijn de levensduren van verschillende elementen van gebouwen weergegeven. Hieruit blijkt dat de hoofddraagconstructie vele malen langer meegaat ten opzichte van andere elementen binnen een gebouw.



Figuur 15- Verschillende lagen van een gebouw, overgenomen uit Platform CB'23 Framework Circulair bouwen zoals geïdentificeerd door Steward Brand 1994 (p. 17) door Platform CB'23, 2019

2.4 Afmetingen distributieleidingen

Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie afkomstig uit onderstaande literatuur:

- *Handboek kwaliteit luchtkanalen (Luka, 2009), waarin de standaard afmetingen van luchtkanalen zijn weergegeven.*
- *Boek Jellema 6A Installaties (Meeuwissen & Veelen, 2004), waarin de handelsmaten van binnenriolering zijn weergegeven.*
- *Handboek binnenriolering (DYKA, z.d.), waarin maatvoering van binnenriolering voor sanitair voorzieningen zijn beschreven.*

Installaties hebben distributieleidingen nodig om te kunnen functioneren. Ventilatie en binnenriolering hebben de grootste maten van distributieleidingen. Voor de inschatting van het hoogte-gebruik van installatie zijn deze maten noodzakelijk om te bekijken.

Luchtkanalen voor Ventilatiesystemen

Hiernaast zijn de standaard maten van buisvormige luchtkanalen weergegeven in tabel 4 en in tabel 5 hieronder zijn de handelsmaten van rechthoekige en vierkant luchtkanalen weergegeven.

	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200
200											
250											
300											
400											
500											
600											
800											
1000											
1200											
1400											
1600											
1800											
2000											

Voorkeursgebied uit luchttechnische overwegingen

Tabel 5 – Maatvoering rechthoekige en vierkante luchtkanalen, overgenomen uit Kwalitietshandboek luchtkanalen A.1.06 (p. 17) door Luka Nederlandse Vereniging van Luchtkanalenfabrikanten, 2009.

standaard maten

buizen	
63	+ 0,5 -0
80	+ 0,5 -0
100	+ 0,5 -0
125	+ 0,5 -0
160	+ 0,6 0
200	+ 0,7 0
250	+ 0,8 0
315	+ 0,9 0
400	+ 1,0 0
500	+ 1,1 0
630	+ 1,2 0
800	+ 1,6 0
1000	+ 2,0 0
1250	+ 2,5 0

Tabel 4 – Maatvoeringen buisvormige luchtkanalen overgenomen uit Kwalitietshandboek luchtkanalen (p. 36) door Luka Nederlandse Vereniging van Luchtkanalenfabrikanten, 2009.

Binnenriolering

Tabel 6 geeft de handelsmaten van binnenriolering weer. Verzamel-leidingen van binnenriolering moet onder afschot liggen. Het afschot bedraag tussen de 5 en 20 mm/m.

Ontwerp-middellijn	Handelsmaten					
	Gietijzer	*Staal*	*PVC*	*PE*	*ABS*	*PPC*
27	40 [1]	40	32	32	32	32
34	40 [1]	40	40	40	40	40
44	50	50	50	50	50	50
50	50	50	75	56	75	75
57	70	70	75	63	75	75
69	70	70	75	75	75	75
84	100	100	90	90	90	90
100	100	100	110	110	110	110
117	125	125	125	125	125	125
150	150	150	160	160	160	160
190	200	200	200	200	–	–

Tabel 6 – Handelsmaten riolering, overgenomen uit Jellema 6A figuur 9.36 (p. 249) door Meeuwissen & Veelen, 2004.

Voor verschillende sanitaire installatie zijn verschillende rioleringsmaten noodzakelijk voor de afvoercapaciteit, deze zijn weergegeven in tabel 7.

Lozingstoestel	Basis afvoer Q(i) l/s	I Diameter Stankafsluiter	II Diameter Toestelleiding	III Gereduceerde Diameter muur en vloerbuis
Mondspoelbak	0,0	ø32 mm	ø40 mm	ø32 mm
Drinkfontein				
Lekwater-/condensafvoer (1)				
Overstorttrechter (1)				
Handwasbak	0,5	ø32 mm	ø50 mm	ø40 mm
Wastafel				
Douche-inrichting met WTW				
Douche-inrichting zonder opstanden (2)				
Bidet				
Wasautomaat (huish. gebruik)	0,75	ø40 mm	ø75 mm*	ø50 mm
Vaatwasmachine (huish. gebruik)				
Urinoir				
Vloerput, aansluitmiddellijn 40mm				
Voetenwasbak, 1 kraan				
Keukengootsteenbak enkel + dubbel				
Uitstortgootsteen				
Badkuip	1,0	ø40 mm	ø75 mm	ø50 mm
Douche-inrichting met opstanden				
Wasfontein maximaal 8 personen				
Vloerput, aansluitmiddellijn 50 mm				
Vloerput, aansluitmiddellijn 70 mm	1,5	-	ø75 mm	ø75 mm*
Closet, spoelvolume tussen 6 en 7 liter (3)	1,75	-	ø90 mm	-
Closet, spoelvolume vanaf 7 liter	2	-	ø110 mm	ø90 mm
Vloerput, aansluitmiddellijn 100 mm	2	-	ø110 mm	-
Afzuigcloset	2,5	-	ø110 mm	-

Tabel 7 – Maatvoering binnenriolering sanitair voorzieningen, overgenomen uit Technisch handboek binnenriolering Tabel A: Basisafvoer van huishoudelijk lozingstoestellen (p.24) door DYKA, z.d.

Berekening rioleringshoogte voor het elementenconcept

Het uitgangspunt van het moduleconcept bestaat uit 3 verschillende stramienmodules waar de grootste maat 7,2 meter bedraagt. Binnen deze 7,2 m wordt verwacht dat dit de langste afstand kan zijn voor het afschot van sanitaire voorzieningen naar de hoofd verzamelleiding in de gangmodule. De grootste distributieleiding is een closet met een diameter van ø110 mm. Het afschot wordt aangenomen op 10 mm/m. Hieruit volgt:

Hoogte= 7,2 m * 10 mm/m + 110 mm = 182 mm

Conclusie: De hoogte voor binnenriolering wordt geschat op circa 190 mm.

3.0 Conclusie

Aan de hand van de opgedane informatie uit dit deelonderzoek kunnen conclusies getrokken worden.

Er wordt verwacht dat de hoofddraagconstructie een vele malen langere levensduur heeft dan installaties. Dit komt door nieuwe technologische ontwikkelingen, veroudering/ schade en eventuele nieuwe eisen aan de installaties.

Voor functie-flexibele gebouwen dienen installatiecomponenten dus bereikbaar, vervangbaar en verplaatsbaar te zijn. Uit de verschillende onderzoeken komt naar voren dat een combinatie tussen een plafond- en vloerdistributiesystemen gewenst is. Dit betekent dat zowel boven als onder de constructieve vloer ruimte beschikbaar is voor installaties.

Binnen utilitaire gebouwen kan gekozen worden voor verschillende indelingen van distributiesystemen voor installaties. Om de plenumhoogte te reduceren, is de combinatie tussen het systeem gangzone en leidingen in verlaagd plafond gewenst. Dit komt voort uit een vertakking van hoofdkanalen naar zijkanalen.

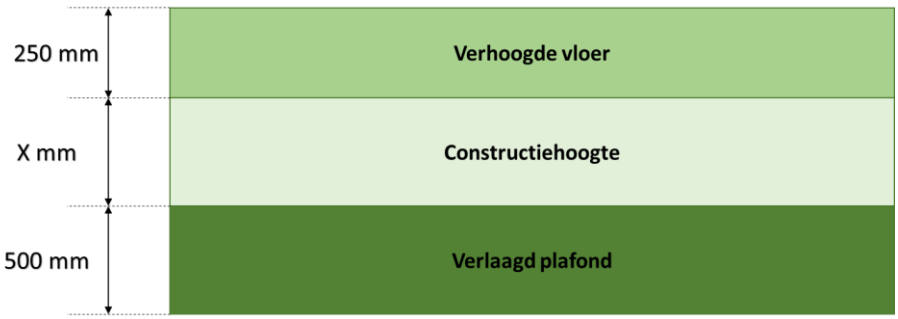
Binnen de vergelijking van de installatieconcepten is te concluderen dat het niet mogelijk is om één klimaatinstallatieconcept te kiezen waarbij de functie-flexibiliteit behaald wordt. Dit komt omdat de installaties niet voor elke ruimtes geschikt zijn. Hierdoor kan alleen een hoogte bepaald worden voor de installatieruimte in een verlaagd plafond.

Antwoord op de deelvraag 3.3: Welk installatieconcept dient toegepast te worden om aan de functie-flexibiliteit voor Utilitaire bouw te voldoen?

Het toepassen van één installatieconcept is niet mogelijk voor een functie-flexibel utilitair elementenconcept. Dit komt door de verschillenden klimaatbeheersingsconcepten die niet voldoen aan elke soort functie van een ruimte. En omdat de omvang van het gebouw niet vaststaat.

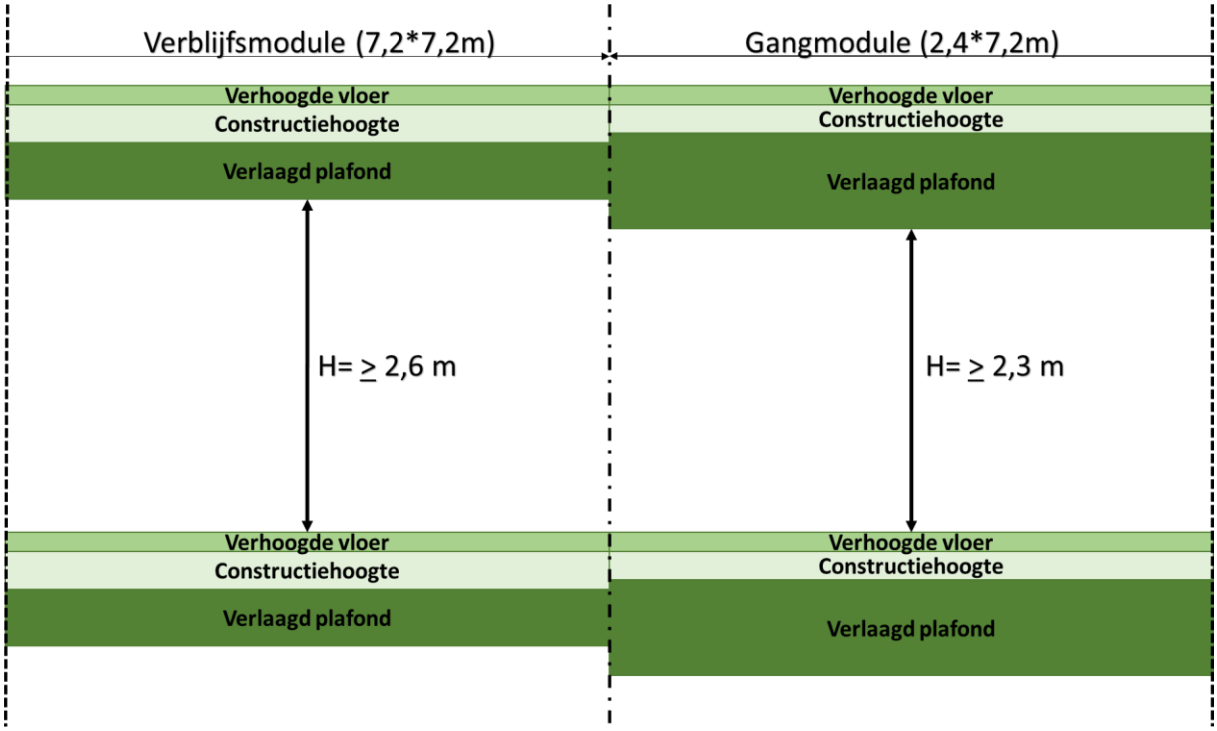
Echter kunnen uitgangspunten opgesteld worden waarbinnen installaties geplaatst kunnen worden in het concept. Deze zijn hieronder gesommeerd:

- Combinatie tussen een plafond- en vloerdistributiesystemen:
    - Het plafonddistributiesysteem heeft een hoogte van 500 mm. Dit is de gemiddelde installatiehoogte binnen een verlaagd plafond waarbij is uitgegaan van de hoogste waarde van de verschillende klimaatbeheersingsconcepten.
    - Het vloerdistributiesysteem heeft een hoogte van 250 mm. Dit komt voort uit de *Berekening rioleringshoogte voor het module concept.* Hierbij is rekening gehouden met eventuele kruisende leidingen en ruimtereservering voor de afwerking van de computervloer.

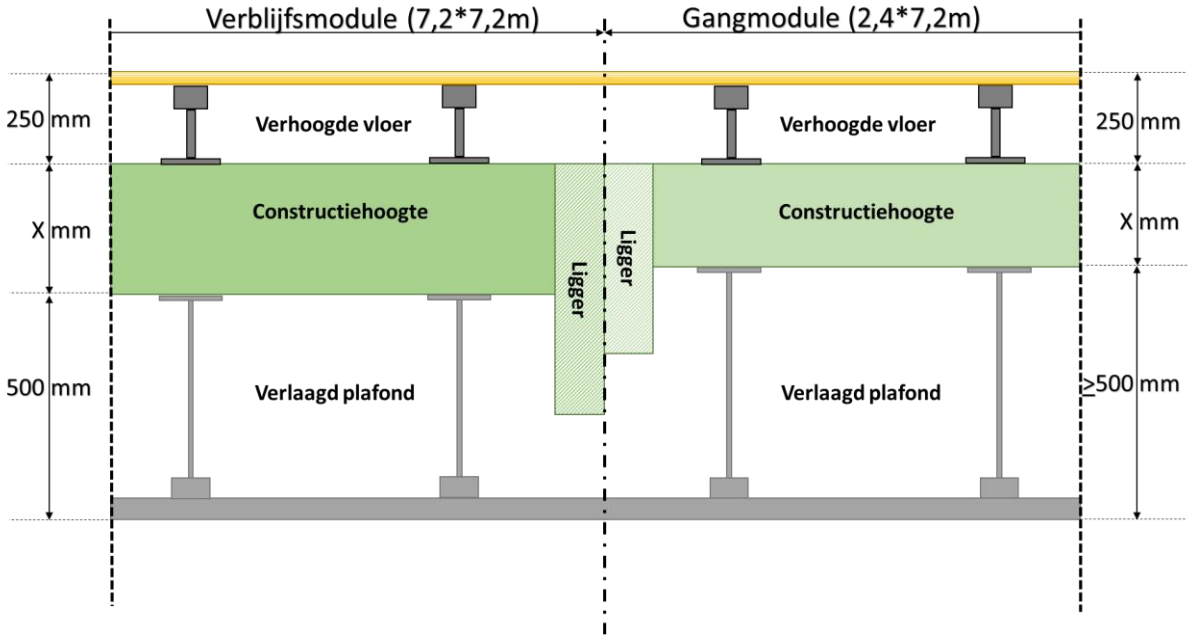


Figuur 16- Hoogte reservering installatieconcept, (1).

- Gangmodule en verblijfsmodule:
  - Om de plenumhoogte te reduceren is een combinatie tussen het systeem gangzone en leidingen in het verlaagd plafond gewenst. Dit komt voort uit de installatieprincipes in hoofdstuk 2.1. Het reduceren van de plenumhoogte kan in deze situatie juist toegepast worden omdat binnen het bouwbesluit een verschil in vrijehoogte beschreven wordt:
    - Verblijfsruimtes 2,6 m.
    - Verkeersroute 2,3 m.



Figuur 17- 1. Hoogteverschil verblijfsmodule en gangmodule, (1).



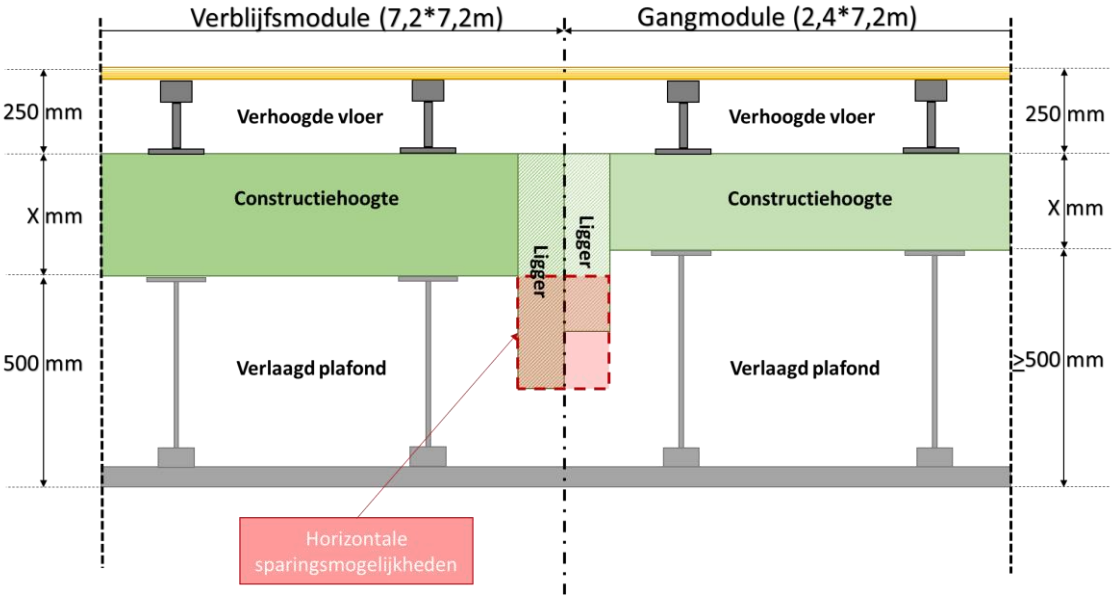
Figuur 18- 2. Hoogteverschil verblijfsmodule en gangmodule, (1).

4.0 Discussie

In de discussie wordt op de opgedane kennis, de hierbij horende conclusies en gemaakte keuzes gereflecteerd en geëvalueerd. Dit kan leiden tot vervolgonderzoeken of eventuele nuancering.

Installatietechniek is specialistisch werk, waarbij normaliter installatieadviseurs betrokken zijn bij het ontwerpproces van een gebouw. Dit onderzoek heeft zich kort gericht op het hoogtegebruik van horizontale installatie/ distributiesystemen en klimaatbeheersingsconcepten. Een vervolgonderzoek naar functie-flexibele installaties is gewenst voor een beter beeld voor het totaalconcept. Dit zal niet in dit afstudeeronderzoek aan bod komen.

Echter, in de aangegeven hoogte van installaties zal gekeken moeten worden naar de horizontale sparingsmogelijkheden door constructieve componenten om distributiesystemen tussen verschillende modules te kunnen transporteren. Zie afbeelding hieronder. Dit wordt kwalitatief beschouwd in bijlage: *7. Variantenstudie*.



Figuur 19- Horizontale sparingsmogelijkheden door constructieve componenten, (1).

In de conclusie wordt beschreven dat voor een functie-flexibel gebouw een combinatie tussen verlaagd plafond en verhoogde vloer gewenst is. Echter, het gebouw beperkt zich tot 4 bouwlagen (zodat de hoogste gebruiksvloer maximaal op 13 meter t.o.v. maaiveld ligt) waardoor in relatie met de constructiehoogte onderzocht dient te worden of dit aantal bouwlagen haalbaar is.

Het toepassen van een combinatie tussen een verlaagd plafond en verhoogde vloer kan leiden tot extra materialisatie gebruik van het gebouw (extra gevelhoogte). Per situatie zal onderzocht moeten worden of deze installatie hoogte wel financieel haalbaar is. Dit vervolg onderzoek valt buiten dit afstudeeronderzoek. Deze vraag zal in relatie met de constructieve haalbaarheid en hoogtedimensionering behandeld worden in het afstudeeronderzoek.

Binnen de aangegeven hoogtes voor installatie wordt in de conclusie beschreven dat de materialisatie van het verlaagd plafond en de verhoogde vloer hierbinnen valt. Echter, er moet onderzocht worden of het geluidswerende pakket goed binnen deze aangegeven hoogtes past en moet gecontroleerd worden of hierdoor voldoende ruimte overblijft voor de installaties. Dit zal onderzocht moeten worden in een vervolgonderzoek.

5.0 Literatuurlijst

DYKA. (z.d.). *Technisch handboek binnenriolering*. Geraadpleegd op 19 maart 2021, van https://www.dyka.nl/media/documents/technisch-handboek-binnenriolering-nl.pdf

Geraedts, R. P. (2013). *Adaptief vermogen: Brononderzoek - literatuurinventarisatie. Eindrapportage fase 1*. Centre for Process Innovation in Building & Construction (CPI). Geraadpleegd van https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A9baadb74-94de-41ec-93a0-c41736a0e714

Hengeveld, D. J., & van Zanten, J. H. (2004). *Jellema 6B – Installaties Werktuigbouwkunde en gas* (2de editie). Utrecht/ Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Kamerling, M. W., & Kamerling, J. W. (2004). *Jellema 9 - Utiliteitsbouw* (2de editie). Utrecht/ Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Lemniskade Projecten BV. (2021, 13 januari). *Patch22 tekeningen*. Geraadpleegd op 18 maart 2021, van https://lemniskade.nl/downloads/

Luka Nederlandse Vereniging van Luchtkanalenfabrikanten (2009). *Kwaliteitshandboek luchtkanalen*. Geraadpleegd op 19 maart 2021, van https://www.luka.nl/wp-content/uploads/2014/08/luka-handboek.pdf

Meeuwissen, C., & Veelen, V. I. (2004). *Jellema 6A - Installaties Elektrotechnisch en Sanitair* (2de editie). Utrecht/ Zutphen, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Platform CB'23. (2019 juli). *Framework Circulair Bouwen*. Geraadpleegd op 18 maart 2021, van https://platformcb23.nl/images/downloads/20190704_PlatformCB23_Framework_Circulair_Bouwen_Versie_1.0.pdf

Bijlage 7: Variantenstudie

Zie volgende pagina voor de bijlage.

Afstudeeronderzoek, course 15 & 16 25-05-2021

Variantenstudie

Bijlage 7



In dit document is de variantenstudie tot stand gekomen door middel van een toegepast onderzoek waarbij het concept constructief is uitgewerkt.

Namen	Bob van Alst	619803
	Stijn van den Broek	600216
Cursus	Afstudeeronderzoek, course 15 & 16	
Organisaties	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau	
Begeleiders HAN	Ellen Rutgers, Ruben Onstein & Dickjan Schaap	
Begeleiders Croes	Maarten Braem & Friso Janssen	

Hout U Flexibel
Flexibele utilitaire houtbouw

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

HAN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhoudsopgave

1.0 Inleiding 3
1.1 Aanleiding 3
1.2 Doel en resultaat 3
1.3 Onderzoeksmethodiek 3
2.0 Stappenplan van dimensiorening tot realistische varianten 4
3.0 Constructieve varianten 5
3.1 Overzicht constructieve varianten 6
4.0 Varianten in één richting afdragend 7
4.1 Varianten beschouwing 7
4.2 Rekenprogrammatuur verifiëren Qec, CLT designer & Finnwood 8
4.3 Stappenplan constructieve toetsing 17
5.0 Varianten in twee richting afdragend 18
5.1 Varianten beschouwing 18
5.2 Rekenprogrammatuur verifiëren RFEM & CLT designer 20
5.3 Stappenplan constructieve toetsing RFEM 23
5.4 Varianten resultaten 27
5.5 Opgedane kennis 34
6.0 Multicriteria-analyse 36
6.1 Totaaltabel materialisatie V1 39
6.2 Totaaltabel materialisatie V2 41
6.3 Totaaltabel materialisatie V3 43
6.4 Realistische varianten 45
7.0 Kolommen 46
7.1 Rekenprogrammatuur verifiëren Qec 48
7.2 Materiaal toepassingen 50
7.3 Kolomafmetingen 51
8.0 Verbindingen, sparingsmogelijkheden en stabiliteit 52
8.1 Verbindingen 52
8.2 Sparingen ten behoeve van installaties 53
8.3 Stabiliteit 54
9.0 Fundering 55
10.0 Conclusie 56
11.0 Discussie 57
12.0 Literatuurlijst 58
Bijlagen 59
Bijlage 1: *Constructieve uitwerking variant 1* 59
Bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2* 118
Bijlage 3: *Constructieve uitwerking variant 3* 186

1.0 Inleiding

In het Plan van Aanpak is vermeld hoe het relatief brede afstudeeronderzoek is opgedeeld in diverse deelvragen. Door het beantwoorden van deze deelvragen middels deelonderzoeken wordt gewerkt naar het einddoel van het afstudeeronderzoek.

Dit deelonderzoek heeft betrekking op de laatste stap van het ontwerpproces en hierbij staat onderstaande deelvraag centraal.

Deelvraag 3.4: Welke constructieve overzichtsvarianten inclusief materialisatie en dimensionering zijn toepasbaar voor een voor een utilitair functie-flexibel geïndustrialiseerd elementenconcept?

1.1 Aanleiding

Om een functie-flexibel bouwwerk te realiseren in hout dient de hoofddraagconstructie berekend te worden. Om de hoofddraagconstructie te berekenen moet eerst een constructief ontwerp ontwikkeld te worden. Dit gaat gepaard met constructieve varianten om een haalbaar constructief ontwerp te realiseren. Vandaar dat deze studie is opgesteld.

1.2 Doel en resultaat

Het doel van dit deelonderzoek is om inzicht krijgen in en het bepalen van constructieve houten materialisatie en dimensionering voor het functie-flexibele elementenconcept.

Het resultaat van dit onderzoek is een rapportage met constructieve berekeningen aan de hand van opgestelde constructieve varianten. Deze constructieve varianten worden beoordeeld door middel van een multicriteria-analyse tot realistische varianten voor het functie-flexibele elementenconcept. De realistische varianten dienen opgenomen te worden binnen de eind brochure. Naast dit resultaat heeft het voor de afstudeerstudenten als doel om inzicht te krijgen in constructieve berekeningen met (gemodificeerde) houtconstructies.

1.3 Onderzoeksmethodiek

Voorafgaande aan een onderzoek dient een onderzoeksstrategie opgesteld te worden. Dit is afhankelijk van de beschikbare informatie, het doel en het beoogde resultaat van het onderzoek.

In deze studie naar houten constructieve overzichtsvarianten wordt voornamelijk toegepast onderzoek gebruikt. Dit betekent dat door middel van informatie een bepaald product wordt ontworpen die toepasbaar is voor de praktijk.

Binnen het toegepaste onderzoek worden eerst constructieve varianten opgesteld die mogelijk zijn binnen de stramienmaten die opgesteld zijn binnen het deelonderzoek. Vervolgens wordt van een long-list naar een short list gewerkt door middel van constructieve toetsingen en een multicriteria-analyse waar vervolgens ‘realistisch’ mogelijkheden overblijven door het functie-flexibel elementenconcept.

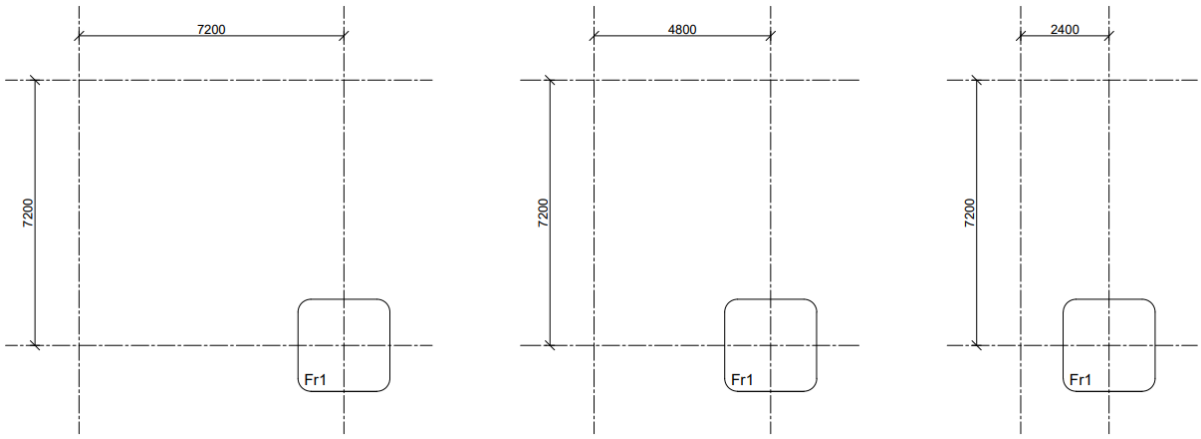
De constructieve varianten worden door middel van rekenprogrammatuur getoetst. Dit in verband met de repeterende werkzaamheden in combinatie met de beschikbare tijd voor het onderzoek. Binnen de hoofdstukken: 4.2, 5.2 en 7.1 *Rekenprogrammatuur verifiëren* worden verschillende constructieve toepassingen handmatig geverifieerd met de desbetreffende rekenprogrammatuur. Na de verificatie van de rekenprogrammatuur wordt het programma toegepast voor de berekeningen van de verschillende varianten. De untiy check (hierna te benoemen: U.C.) zijn per verschillende constructieve toepassing en verschillende variant terug te lezen in bijlage 1, 2 en 3: *Constructieve uitwerking*.

2.0 Stappenplan van dimensiorening tot realistische varianten

Het doel van dit onderzoek is om realistische constructieve varianten te realiseren door middel van een variantenstudie. Dit wordt gedaan middels onderstaand stappenplan:

Stap 1 Opstellen constructieve varianten:

De eerste stap binnen de variantenstudie is het opstellen van constructieve varianten. Dit is gedaan om door middel van verschillende overspanningen en verschillende constructieve concepten te onderzoeken welke varianten het meest 'realistisch' zijn voor het functie-flexibele elementenconcept. Het begrip 'realistisch' wordt het hoofdstuk 6.0 Multicriteria-analyse toegelicht. De constructieve varianten zijn opgesteld door middel van de stramienmaten uit het deelonderzoek: Stramienmaten. Zie afbeelding hieronder:



Figuur 1 – Stramienplan, (1).

Stap 2 Dimensioneren van de vloerconstructie inclusief ligger van de opgestelde constructieve varianten:

1. Varianten beschouwing:
    - Eerst worden de varianten constructief beschouwd. Dit wordt gedaan om mogelijke onrealistische varianten vroegtijdig uit te sluiten om de beschikbare tijd zo efficiënt mogelijk te benutten. Hierbij spelen het transport en de productie een centrale rol.
2. Rekenprogramma verifiëren:
    - Ten tweede worden gebruikte rekenprogrammatuur verifieerd met handberekeningen. Dit is gedaan om grip te krijgen op de constructieve dimensionering en toetsing. Wanneer hier geen grote verschillen ontstaan kan het rekenprogramma toegepast worden voor de desbetreffende berekeningen.
3. Stappenplan constructieve toetsing:
    - Ten derde wordt eerst per verschillende vloertypes een stappenplan uitgeschreven om te kunnen laten zien hoe de afstudeerders te werk zijn gegaan tot het realiseren van de constructieve dimensionering van de varianten.
4. Constructieve toetsing varianten:
    - Vervolgens de varianten constructief getoetst. Deze constructieve toetsingen zijn terug te lezen in de bijlage:
        - Bijlage 1: *Constructieve uitwerking variant 1*
        - Bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2*
        - Bijlage 3: *Constructieve uitwerking variant 3*

Stap 3 Multicriteria-analyse:
Vervolgens worden de gedimensioneerde varianten door middel van een multicriteria-analyse op waarde geschat. Dit waarde wordt bepaald door criteria en objectieve scores. Hieruit volgt een selectie van de meest realistische varianten in relatie met de criteria.

Stap 4 dimensionering kolommen:

Omdat de stramienmaten vast staan voor het functie-flexibele elementenconcept wordt verwacht dat de kolomafmetingen binnen één stramienmaat niet tot weinig in maat zullen verschillen. Hierdoor is ervoor gekozen om deze dimensionering na de multicriteria-analyse uit te voeren.

Stap 5 Verbindingen, sparingsmogelijkheden en stabiliteitsconcepten:

Vervolgens worden de verbindingen van de realistische varianten beschouwd. Dit wordt gedaan door middel van verbindingsmogelijkheden van leveranciers. Hierna wordt er gekeken naar horizontale sparingsmogelijkheden. Tot slot worden stabiliteitsconcepten opgesteld en visueel weergegeven.

Stap 6 Fundering:

Als laatste stap wordt de belasting op de fundering bepaald middels de reactiekrachten uit de constructieve componenten bij stap 2.

3.0 Constructieve varianten

In dit hoofdstuk zijn de constructieve varianten weergegeven. Deze zijn terug te vinden in hoofdstuk 3.1: *Overzicht constructieve varianten*. Binnen deze varianten kan er onderscheid gemaakt worden tussen twee vloertypes:

- In één richting dragende vloeren (alle vloerproducten)
- In twee richting dragende vloeren (alleen CLT)

De verschillende vloertypes zijn binnen het variantenoverzicht anders gearceerd, zie legenda:

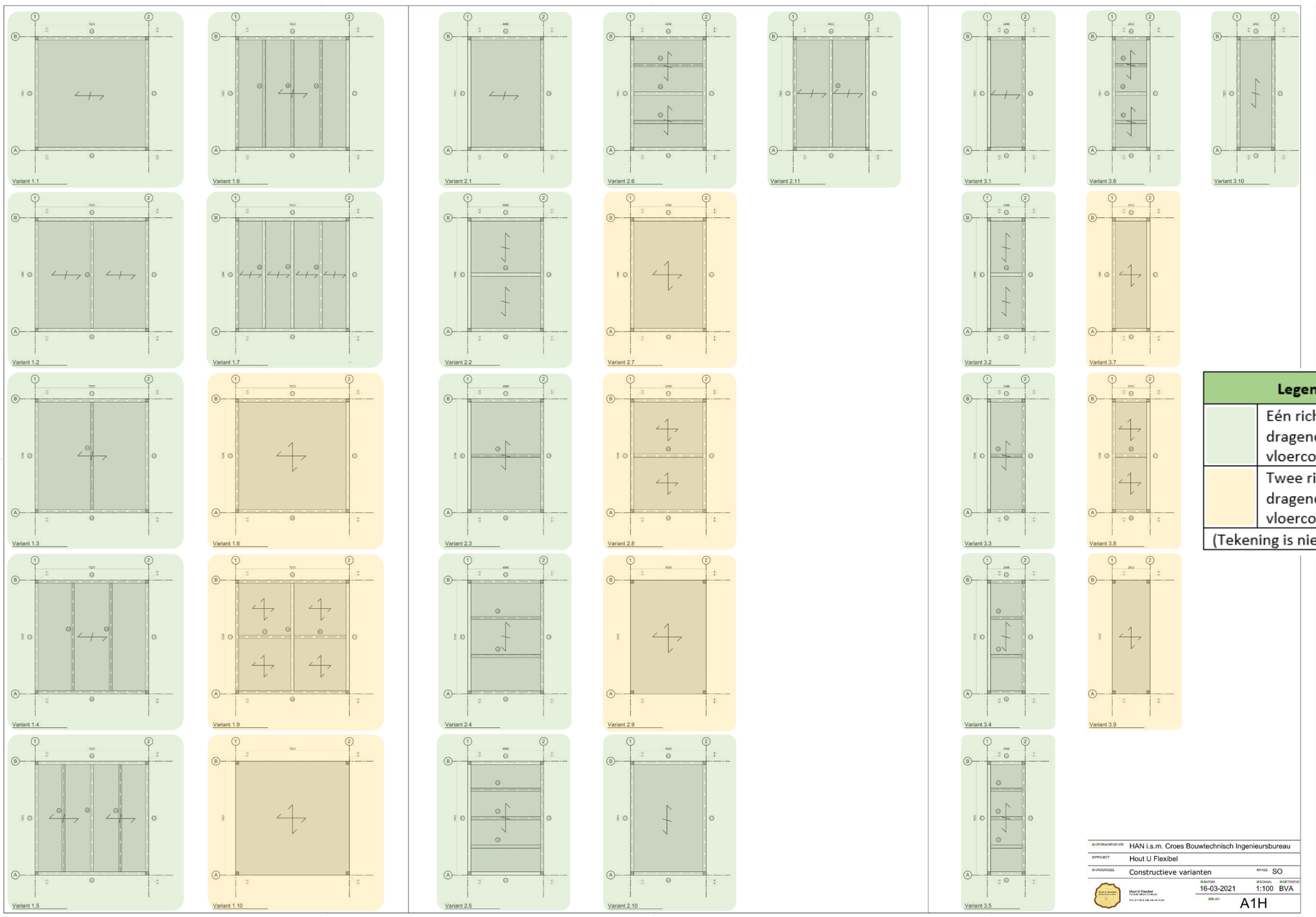
Legenda	
	Eén richting dragende vloerconstructie
	Twee richting dragende vloerconstructie
(Tekening is niet op schaal)	

Figuur 2 – Legenda overzicht constructieve varianten, (1).

Binnen het variantenoverzicht staat vermeld welke variant bij welk vloertype behoort. Deze verschillende vloertypes zijn in verschillende hoofdstukken beschreven omdat de manier van dimensioneren anders wordt uitgevoerd. Zie hoofdstuk:

- 4.0: *Varianten in één richting afdragend*
- 5.0: *Varianten in twee richting afdragend*

3.1 Overzicht constructieve varianten



Figuur 3 – Overzicht constructieve varianten, (1).

4.0 Varianten in één richting afdragend

4.1 Varianten beschouwing

Voordat constructieve berekeningen worden gemaakt van de varianten in één richting afdragend, zijn de varianten eerst kwalitatief beschouwd. Dit is hieronder terug te lezen in de tabel:

Varianten in één richting afdragend		
V1 (7,2x7,2 m)	V2 (4,8x7,2 m)	V3 (2,4x7,2 m)
Variant 1.1	Variant 2.1	Variant 3.1
Variant 1.2	Variant 2.2	Variant 3.2
Variant 1.3	Variant 2.3	Variant 3.3
Variant 1.4	Variant 2.4	Variant 3.4
Variant 1.5	Variant 2.5	Variant 3.5
Variant 1.6	Variant 2.6	Variant 3.6
Variant 1.7	Variant 2.10	Variant 3.10
	Variant 2.11	

Tabel 1 –Overzicht varianten in één richting afdragend, (1).

Binnen het beschouwen van de varianten die in één richting afdragen, zijn geen varianten ontdekt die niet mogelijk zijn of door bepaalde criteria niet meegenomen worden tot de constructieve toetsing. Dit betekent dat elke onderstaande variant constructief uitgewerkt wordt. Hieronder is een tabel aangegeven met daarin de aandachtspunten per variant:

Aandachtspunten per variant	
Variant	Aandachtspunt(en)
1.1	Een grote vloeroverspanning
1.2	Ligger L2 krijgen een grote puntlast als belasting
1.3	Ligger L2 krijgen een grote puntlast als belasting
1.4	Ligger L2 krijgen een twee puntlasten als belasting
1.5	Ligger L2 krijgen een drie puntlasten als belasting
1.6	Ligger L2 krijgen een drie puntlasten als belasting
1.7	Ligger L2 krijgen een drie puntlasten als belasting
2.1	Ligger L1 zal maatgevend zijn voor de constructiehoogte
2.2	Ligger L1 krijgen een grote puntlast als belasting
2.3	Ligger L1 krijgen een grote puntlast als belasting
2.4	Ligger L1 krijgen een twee puntlasten als belasting
2.5	Ligger L1 krijgen een drie puntlasten als belasting
2.6	Ligger L1 krijgen een drie puntlasten als belasting
2.10	Een grote vloeroverspanning
2.11	Ligger L2 krijgen een grote puntlast als belasting
3.1	Ligger L1 zal maatgevend zijn voor de constructiehoogte
3.2	Ligger L1 krijgen een grote puntlast als belasting
3.3	Ligger L1 krijgen een grote puntlast als belasting
3.4	Ligger L1 krijgen een twee puntlasten als belasting
3.5	Ligger L1 krijgen een drie puntlasten als belasting
3.6	Ligger L1 krijgen een drie puntlasten als belasting
3.10	Een grote vloeroverspanning

Tabel 2 –Aandachtspunten varianten in één richting afdragend, (1).

4.2 Rekenprogrammatuur verifiëren Qec, CLT designer & Finnwood

Liggers (Qec)

Rekenprogramma:

De liggers van de varianten zijn met behulp van Qec software berekend. Voor het toepassen van dit programma is eerst een verificatie gemaakt door middel van een handberekening. De ligger die is geverifieerd is ligger L2 van variant 1.2 uitgevoerd in LVL. Hieronder is een afbeelding weergegeven van de invoertoepassing van Qec in combinatie met de Unity Checks (U.C.).

materiaal-, hoogte- en modificatiefactoren							onderdeel
sterkteklasse	= Kerto S balk 21-90mm		materiaalfactor sterkte	γ_M=	1,20	-	
materiaal	= LVL (kerto)		hoogtefactor treksterkte;breedte	k_h=	1,09	-	
houtbreedte	b= 150	mm	hoogtefactor buigsterkte;hoogte	k_h=	1,00	-	
houthoogte	h= 700	mm	modificatiefactor sterkte	k_{mod}=	0,80	middellang	
klimaatklasse	= 1		modificatiefactor treksterkte	k_{mod}=	0,65	middellang	
belastingduurklasse comb. veranderlijk	= middellang		modificatiefactor sterkte	k_{mod}=	0,60	blijvend	
E en G corrigeren tgv art. 2.3.2.2(2)	nee	-	modificatiefactor treksterkte	k_{mod}=	0,50	blijvend	
factor voor volume-effect	s= 0,12	bij LVL	modificatiefactor vervorming	k_{def}=	0,60	-	
$\sigma_{m,crit}$ berekenen met formule	6. 31						

unity-checks

ULS	buiging 0,84	dwarskracht 0,47	stabiliteit 0,84	SLS	u_{eind} 0,82	u_{bij} 0,81

Figuur 4 – Rekenvoorbeeld Qec ligger L2 V1.2, overgenomen uit software Qec, van Swaay, Mom & Wouters, 2021.

Belastingen:

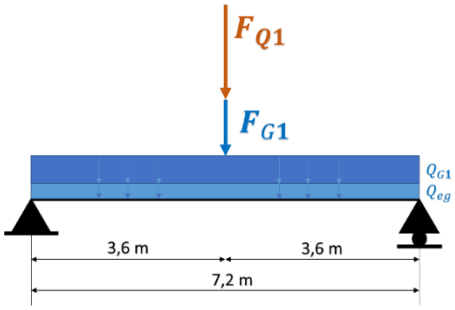
$F_{Q1} = 78{,}16\ kN$

$F_{G1} = 24{,}34\ kN$

$Q_{G1} = 4{,}3\ kN/m^1$

$Q_{eg} = 0{,}15 * 0{,}7 * 5{,}1 = 0{,}54\ kN/m^1$

Situatie:



Figuur 5 – Mechanica schema ligger L2 V1.2, (1).

Doorsnede-eigenschappen:

LVL ligger= 150x700 mm

$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 150 * 700^2 = 1.225{,}00 * 10^4\ mm^3$

$I_y = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 150 * 700^3 = 428.750{,}00 * 10^4\ mm^4$

$I_z = \frac{1}{12} * h * b^3 = \frac{1}{12} * 700 * 150^3 = 19.687{,}50 * 10^4\ mm^4$

$I_w = I_{tor} = \beta * b^3 * h$

h/b	4,0	4,66	5,0
β	0,281	0,28766	0,291

Tabel 3 – β factor bepalen, overgenomen uit Basisboek Toegepast Mechanica tabel 8.1 3 (p. 466) door Welleman, Dolfing & Hartman, 2016.

$I_w = I_{tor} = 0{,}28766 * 150^3 * 700 = 67.959{,}675 * 10^4\ mm^4$

Materiaaleigenschappen:

$f_{m,0,edge,k} = 44\ N/mm^2$ $\quad f_{v,0,edge,k} = 4{,}2\ N/mm^2$

$E_{0,05} = 11600\ N/mm^2$ $\quad p_{mean} = 510\ kg/m^3$

$k_{mod} = 0{,}8$ $\quad k_{def} = 0{,}6$ $\quad \gamma_m = 1{,}20$

Sterktetoets:

Buiging:

$$Moment\ puntlast\ F_{G1} = \frac{1}{4} * F * L = \frac{1}{4} * 24{,}34 * 7{,}2 = 43{,}812\ kNm$$

$$Moment\ puntlast\ F_{Q1} = \frac{1}{4} * F * L = \frac{1}{4} * 78{,}16 * 7{,}2 = 140{,}69\ kNm$$

$$Moment\ q\ last\ Q_{G1} + Q_{eg}\ = \frac{1}{8} * q * L^2 = \frac{1}{8} * (4{,}3 + 0{,}54) * 7{,}2^2 = 31{,}37\ kNm$$

$$6.10\ A\ = 1.35 * (43{,}812 + 31{,}37) + 1{,}50 * 140{,}69 * 0.5 = 207{,}03\ kNm$$

$$6.10\ B\ = 1.20 * (43{,}812 + 31{,}37) + 1{,}50 * 140{,}69 = 301{,}27\ kNm \rightarrow MAATGEVEND$$

$$\sigma_{ed} = \frac{M_{ed}}{W} = \frac{301{,}27 * 10^6}{12250000} = 24{,}59\ N/mm^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0{,}8 * 44}{1{,}20} = 29{,}33\ N/mm^2$$

$$U.C. = \frac{\sigma_{ed}}{\sigma_{Rd}} = \frac{24{,}59}{29{,}33} = 0{,}84 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Afschuiving:

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0{,}8 * 4{,}1}{1{,}20} = 2{,}73\ N/mm$$

$$VF_{G1} = \frac{1}{2} *\ 24{,}34 = 12{,}17\ kN \qquad VQ_{G1} + VQ_{eq}\ = \frac{1}{2} * (4{,}30 + 0{,}54) * 7{,}2 = 17{,}43\ kN$$

$$VF_{Q1} = \frac{1}{2} *\ 78{,}16 = 39{,}08\ kN$$

$$6.10\ A\ = 1.35 * (12{,}17 + 17{,}43) + 1{,}50 * 39{,}08 * 0.5 = 69{,}27\ kN$$

$$6.10\ B\ = 1.20 * (12{,}17 + 17{,}43) + 1{,}50 * 39{,}08 = 94{,}14\ kN \rightarrow MAATGEVEND$$

$$\tau_{max} = \frac{3 * V}{2 * A} = \frac{3 * 94{,}14 * 10^3}{2 * (150 * 700)} = 1{,}35\ N/mm$$

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0{,}8 * 4{,}2}{1{,}20} = 2{,}80\ N/mm$$

$$uc = \frac{\tau_{max}}{\tau_{Rd}} = \frac{1{,}35}{2{,}80} = 0{,}48 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Stabiliteit:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \qquad \sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} * I_z * G_{0,05} * I_{tor}}}{\ell_{ef} * W_y} \qquad G_{0,05} = \frac{1}{16} * E_{0,05} \qquad \sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$$G_{0,05} = \frac{1}{16} * 11600 = 725\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{11600 * 196875000 * 725 * 679596750}}{\left((7200 * 0{,}9_{lijnlast}) + (2x700_{drukzone})\right) * 12250000} = 34{,}52\ \text{N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{44}{34{,}52}} = 1{,}129 \qquad k_{crit} = 1{,}56 - 0{,}75 * \lambda_{rel,m} = 1{,}56 - 0{,}75 * 1{,}129 = 0{,}713$$

$k_{crit} =$ doordat de ligger over de gehele lengte in de drukzone wordt gesteund wordt voor $k_{crit} = 1{,}00$ aangehouden

$$U.C. = \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} = \frac{24{,}59}{1{,}00 * 29{,}33} = 0{,}84 \rightarrow VOLDOET$$

Stijfheidstoets:

Einddoorbuiging:

$$w_{eind} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28{,}8\ mm$$

$$w_{FQ1} = \frac{F_k * L^3}{48 * E_{mean} * I_y} = \frac{78{,}16 * 10^3 * 7200^3}{48 * 13600 * 428.750 * 10^4} = 10{,}42\ mm$$

$$w_{FG1} = \frac{F_k * L^3}{48 * E_{mean} * I_y} = \frac{24{,}34 * 10^3 * 7200^3}{48 * 13600 * 428.750 * 10^4} = 3{,}245\ mm$$

$$w_{qG1} = \frac{5 * q_k * L^4}{384 * E_{,mean} * I_y} = \frac{5 * 64{,}84 * 7200^4}{384 * 13600 * 428.750 * 10^4} = 2{,}904\ mm$$

$$w_{eind} = w_{FQ1} * \left(1 + k_{def} * \Psi_2\right) + w_{FG1} * \left(1 + k_{def}\right) + w_{qG1} * \left(1 + k_{def}\right)$$

$$w_{eind} = 10{,}42 * (1 + 0{,}6 * 0{,}6) + 3{,}245 * (1 + 0{,}6) + 2{,}904 * (1 + 0{,}6) = 24{,}0\ mm$$

$$U.C. = \frac{w_{eind}}{w_{eind,max}} = \frac{24{,}0}{28{,}8} = 0{,}83 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Bijkomende doorbuiging:

$$w_{bij,max} = \frac{L}{333} = \frac{7200}{333} = 21{,}6\ mm$$

$$w_{bij} = w_{FQ1} * \left(1 + k_{def} * \Psi_2\right) + w_{FG1} * k_{def} + w_{QG1} * k_{def}$$

$$w_{bij} = 10{,}42 * (1 + 0{,}6 * 0{,}6) + 3{,}245 * 0{,}6 + 2{,}904 * 0{,}6 = 17{,}86\ mm$$

$$U.C. = \frac{w_{bij}}{w_{bij,max}} = \frac{17{,}9}{21{,}6} = 0{,}83 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Controle

Hieronder zijn de U.C. weergegeven van de rekenprogrammatuur en de handberekening:

Toetsing	**U.C. Qec**	**U.C. handberekening**
UGT buiging	0,84	0,84
UGT dwarskracht	0,47	0,48
UGT stabiliteit	0,84	0,84
BGT w_{eind}	0,82	0,83
BGT w_{bij}	0,81	0,83

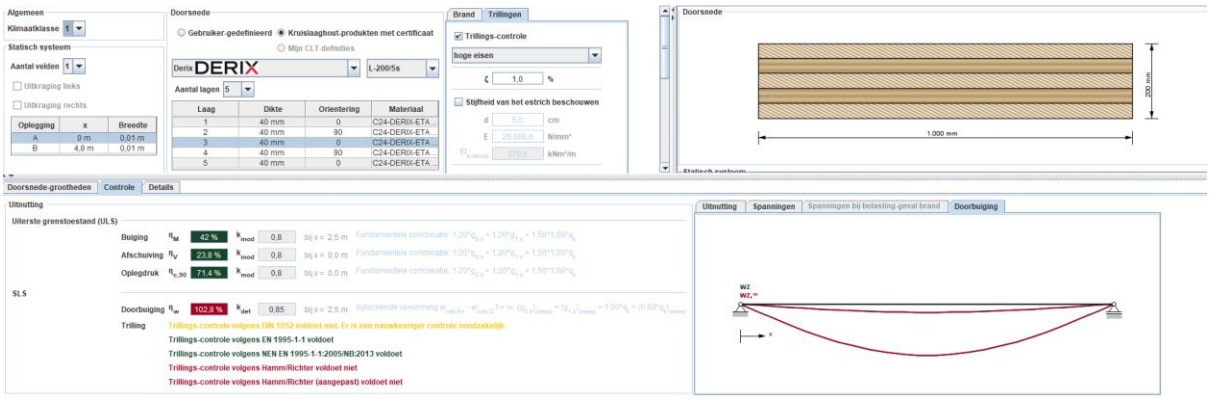
Tabel 4 – Controle U.C., (1).

De kleine verschillen binnen de UGT dwarskracht, BGT w_{eind} en BGT w_{bij} zijn te verklaren door afrondingen binnen de handberekeningen. Hierdoor is geconstateerd dat het rekenprogramma toegepast kan worden voor de liggerberekeningen van de varianten. Binnen het rekenprogramma wordt geen rekening gehouden met het eigengewicht van de liggers. Dit wordt gecompenseerd doordat het percentage van eigengewicht dermate klein is ten opzichte van opgelegde belastingen en door het niet reduceren van de overspanning-lengte door de kolomdikte.

CLT-vloer (CLT designer)

Rekenprogramma:

De CLT vloeren van de varianten zijn met behulp van CLT-designer berekend. Voor het toepassen van dit programma is eerst een verificatie gemaakt door middel van een handberekening. De CLT vloer die is geverifieerd is vloer 2.1 met een overspanning van 4,8 m. Hieronder is een afbeelding weergegeven van de invoertoepassing van CLT-designer in combinatie met de Unity Checks (U.C.).



Figuur 6 – Rekenvoorbeeld CLT-designer vloer V2.1, overgenomen uit software CLT designer, Holz.bau, 2009.

Belastingen:

Geschatte dikte = 200 → 1.1 kN/m²

Q_g = 1,1 + 1,0 (belastingaanname) = 2,1 kN/m²
Q_q = 6,03 kN/m² (belastingaanname)

Doorsnede-eigenschappen:

$$W_{x,net} = \frac{2*I_{x,net}}{h_{clt}}$$

$$I_{x,net} = b_x\left(\frac{t^3}{12} + \gamma * t * a^2\right)$$

Bij meerdere lagen wordt de basisformule verlengd. De γ geeft de reductie van de stijfheid door invloed van schuifkrachten weer. Deze waarde dient voor elke laag berekend te worden.

$y = 1$ (binnenste laag #3)

Overige lagen (#1 en #5):

$$y = \frac{1}{1+\frac{\pi^2 \cdot E_x \cdot t_1}{l_{ref}^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090,2}}} \rightarrow \frac{1}{1+\frac{\pi^2 \cdot 11000 \cdot 40}{4800^2} \cdot \frac{40}{50}} = 0{,}86897$$

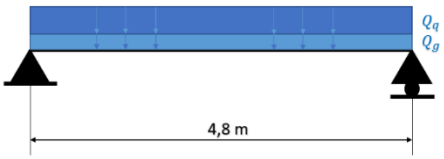
$$I_{x,net} = 1000 * \left(\left(2 * \frac{40^3}{12} + 40 * 80^2\right) + \left(\frac{40^3}{12}\right)\right) = 52.800{,}00 * 10^4 \ mm^4$$

$$I_{x,ef} = 1000 * \left(\left(2 * \frac{40^3}{12} + 0.86897 * 40 * 80^2\right) + \left(\frac{40^3}{12}\right)\right) = 46.091{,}20 * 10^4 \ mm^4$$

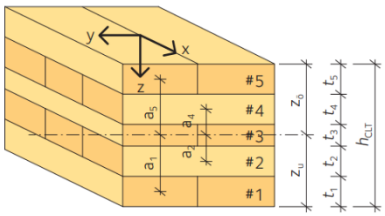
$$EI_{ef} = E_x * I_{x,ef} = 11000 * 4{,}60912 * 10^8 = 5{,}0700 * 10^{12}$$

$$W_{x,net} = \frac{2*52.800{,}00*10^4}{200} = 5280 * 10^3 \ mm^3$$

Situatie:



Figuur 7 – Mechanica schema vloer V2.1, (1).



Figuur 8 – Opbouw CLT 5-laags incl. benamingen lagen, overgenomen uit The CLT handbook 3.10 (p. 50) door Gustafsson, 2019.

Materiaaleigenschappen:

$f_{m,k} = 24\ N/mm^2$ $f_{v,k} = 2{,}5\ N/mm^2$ $f_{Rv,k} = 1{,}1\ N/mm^2$

$E_{0,mean} = 11000\ N/mm^2$ $p_{mean} = 450\ kg/m^3$

$k_{mod} = 0{,}8$ $k_{def} = 0{,}6$ $\gamma_m = 1{,}25$

Sterktetoets:

Buiging:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}8 * 24}{1{,}25} = 15{,}36\ N/mm^2$$

$$6.10\ A = 1.35 * 2{,}1 + 1{,}50 * 6{,}03 * 0.5 = 7{,}36\ kN/m^2$$

$$6.10\ B = 1.20 * 2{,}1 + 1{,}50 * 6{,}03 = 11{,}565\ kN/m^2 \rightarrow MAATGEVEND$$

$$M_d = \frac{q_d * L^2}{8} = \frac{11{,}57 * 4{,}8^2}{8} = 33{,}32\ kNm$$

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W_{x,net}} = \frac{33{,}32 * 10^6}{5280 * 10^3} = 6{,}31\ N/mm^2$$

$$uc = \frac{\sigma_d}{f_{m,d}} = \frac{6{,}31}{15{,}36} = 0{,}41 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Afschuiving :

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}8 * 2{,}5}{1{,}25} = 1{,}60\ N/mm^2$$

$$V_d = 0{,}5 * q_d * L = 0{,}5 * 11{,}57 * 4{,}8 = 27{,}77\ kN$$

$$S_{x,net} = b_x * t_1 * a_1 + b_x * \frac{t_3^2}{4 * 2} = 1000 * 40 * 80 + 1000 * \frac{40^2}{4 * 2} = 3400 * 10^3\ mm^3$$

$$\tau_d = \frac{V_d * S_{x,net}}{I_{x,net} * b_x} = \frac{27{,}77 * 10^3 * 3400 * 10^3}{52.800{,}00 * 10^4 * 1000} = 0{,}18\ N/mm^2$$

$$U.C. = \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0{,}18}{1{,}60} = 0{,}13 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

$$f_{Rv,d} = \frac{k_{mod} * f_{Rv,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}8 * 1{,}1}{1{,}25} = 0{,}70\ N/mm^2$$

$$S_{Rx,net} = b_x * t_1 * a_1 = 1000 * 40 * 80 = 3200 * 10^3\ mm^3$$

$$\tau_{Rv,d} = \frac{V_d * S_{Rx,net}}{I_{x,net} * b_x} = \frac{27{,}77 * 10^3 * 3200 * 10^3}{52.800{,}00 * 10^4 * 1000} = 0{,}17 N/mm^2$$

$$U.C. = \frac{\tau_{Rv,d}}{f_{Rv,d}} = \frac{0{,}17}{0{,}70} = 0{,}24 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Stijfheidstoets:

$$w_{eind} = \frac{L}{250} = \frac{4800}{250} = 19{,}2\ mm$$

$$w_{bij,max} = \frac{L}{333} = \frac{4800}{333} = 14{,}4\ mm$$

Korte termijn doorbuiging t=0:

$$w_{g,k} = \frac{5 * g_k * L^4}{384 * E_{x,mean} * I_{x,ef}} = \frac{5 * 2{,}1 * 4800^4}{384 * 11000 * 46.091{,}2 * 10^4} = 2{,}86\ mm$$

$$w_{q,k} = \frac{5 * q_k * L^4}{384 * E_{x,mean} * I_{x,ef}} = \frac{5 * 6{,}03 * 4800^4}{384 * 11000 * 46.091{,}2 * 10^4} = 8{,}22\ mm$$

$$w_{inst} = w_{g,k} + w_{q,k} = 2{,}86 + 8{,}22 = 11{,}1\ mm$$

$$uc = \frac{w_{inst}}{w_{eind}} = \frac{11{,}1}{19{,}2} = 0{,}58 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Einddoorbuiging en Bijkomdende doorbuiding t=∞:

$$k_{def} = 0{,}85\ voor\ klimaatklasse\ 1\ \leq 7\ lagen$$

$$w_{eind} = w_{inst} + w_{kruip}$$

$$w_{eind,g} = w_{g,k} * (1 + k_{def}) = 2{,}86 * (1 + 0{,}85) = 5{,}29\ mm$$

$$w_{eind,q} = w_{q,k} * (1 + \Psi_2 * k_{def}) = 8{,}22 * (1 + 0{,}6 * 0{,}85) = 12{,}41\ mm$$

$$w_{eind} = 5{,}29 + 12{,}41 = 17{,}7\ mm$$

$$uc = \frac{w_{eind}}{w_{eind,max}} = \frac{17{,}7}{19{,}2} = 0{,}92\ \text{VOLDOET}$$

$$w_{bij} = (5.29 - 2.86) + 12{,}41 = 14{,}84\ mm$$

$$uc = \frac{w_{bij}}{w_{bij,max}} = \frac{14{,}8}{14{,}4} = 1{,}03\ \text{VOLDOET NIET}$$

Controle

Hieronder zijn de U.C. weergegeven van de rekenprogrammatuur en de handberekening:

Toetsing	U.C. CLT designer	U.C. handberekening
UGT buiging	0,42	0,41
UGT dwarskracht	0,24	0,24
BGT w_{eind}	0,92	0,92
BGT w_{bij}	1,03	1,03

Tabel 5 – Controle U.C., (1).

Het kleine verschil binnen de UGT buiging (momentsterkte) is te verklaren door afrondingen binnen de handberekeningen. Hierdoor is geconstateerd dat het rekenprogramma toegepast kan worden voor de CLT vloer-berekeningen van de varianten.

Kerto Ripa-vloer (Finnwood)

Rekenprogramma:

De Kerto Ripa vloeren van de varianten zijn met behulp van Finnwood software berekend. Voor het toepassen van dit programma is eerst een verificatie gemaakt door middel van een handberekening. De Kerto Ripa vloer die is geverifieerd is Kerto Ripa T 5 rib van variant 1.1. Hieronder is een afbeelding weergegeven van de invoertoepassing van Finnwood in combinatie met de Unity Checks (U.C.). De groen gearceerde waardes zijn geverifieerd.

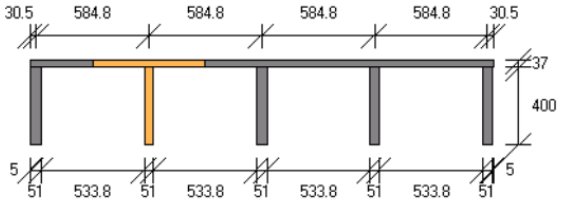
Effectieve buigstijfheid			
Overstek/Overspanning		EI,eff,ULS:	EI,eff,SLS:
Overspanning 1	A	9781.8 kNm2	9781.8 kNm2

	Boven plaat	Rib
fm,k (My)	36.00 N/mm²	42.51 N/mm²
fc,0,k	26.00 N/mm²	35.00 N/mm²
fc,90,k	2.20 N/mm²	6.00 N/mm²
ft,0,k	24.67 N/mm²	33.21 N/mm²
fv,k (Vz)	2.30 N/mm²	4.10 N/mm²
E	10500 N/mm²	13800 N/mm²
G	120 N/mm²	600 N/mm²
E0.05	8800 N/mm²	11600 N/mm²
f_v,k (rolschuifspanning)	1.30 N/mm²	4.10 N/mm²

Belasting factoren	
Boven plaat	1.20
Rib	1.20

Factoren k_mod		
Belastingduurklasse	Boven plaat	Rib
Permanent:	0.600	0.600
Lange duur:	0.700	0.700
Middellange duur:	0.800	0.800
Korte duur:	0.900	0.900
Zeer korte duur:	1.100	1.100

	Boven plaat	Rib
Factor k_def	0.600	0.600



GEOMETRIE GEGEVENS

Soort constructie	Vloerconstructie
Profiel	KRT-2400x37-5x51x400 (m)
Klimaatklasse	1
Risico klasse	CC2 (KFI=1.0)
h.o.h. afstand	585 mm (voor vlaklasten)

Lengte overstekken	
Lengte overstek	Horizontaal [mm]:
Overspanning 1	7200.0
Totaal	7200.0

Opleggingen	Plaats x [mm]	Lengte [mm]	Type
1:	0	150	Vaste oplegging (X,Z)
2:	7200	150	Roloplegging (Z)

Onderdelen vloerelement			
Boven plaat	2400x37	0.037 m3/m2	KERTO-Q (27-69)
Ribben	5x51x400	0.042 m3/m2	KERTO-S

EXTREME BEREKENINGSRESULTATEN

Controle		Optredend		Toegestaan	Werkingsgraad	Plaats x	
V, lijmnaad boven		0.72 N/mm²		0.87 N/mm²	83.4 %	0 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
V, ligger (rib), afschuiving	B	1.37 N/mm²	C	2.73 N/mm²	50.2 %	0 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
M, boven plaat, druk		5.14 N/mm²		17.33 N/mm²	29.6 %	3600 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
M, ligger (rib), buiging	D	16.62 N/mm²	E	28.34 N/mm²	58.6 %	3600 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
M, ligger (rib), trek		5.45 N/mm²		22.14 N/mm²	24.6 %	3600 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
Steunpunt 1:		21.99 kN	F	36.72 kN	59.9 %	0 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
Steunpunt 2:		21.99 kN		36.72 kN	59.9 %	7200 mm	Comb. 3/1, Middellange duur
Overspan. 1, Uz_bijk		20.7 mm		21.6 mm	95.8 %	3600 mm	Comb. 11/1 (karakteristiek)
Overspan. 1, Uz_eind	G	26.1 mm		28.8 mm	90.5 %	3600 mm	Comb. 11/1 (karakteristiek)
Doorbuiging w		0.49 mm		1.00 mm	49.2%	(Controle trilling)	
Frequentie f1		8.41 Hz		8.00 Hz	95.1%	(Controle trilling)	
Snelheid v		0.0031 m/(Ns2)		0.0934 m/(Ns2)	3.4%	(Controle trilling)	

t = top (bovenzijde), t fl. = top flange (bovenste flens), m = mean (gemiddeld)

Figuur 9 – Rekenvoorbeeld Finnwood Kerto Ripa T-vloer V1.1, overgenomen uit software Finnwood, MetsäWood, 2020.

A: EI_{eff} samengesteld profiel:

Zwaartelijn t. o. v. onderkant: $\frac{(A_{plaat} * a_{plaat} * E_{plaat}) + (A_{rib} * a_{rib} * E_{rib})}{(A_{plaat} * E_{plaat}) + (A_{rib} * E_{rib})}$

$$z = \frac{(584.8 * 37 * 418.5 * 10500) + (52 * 400 * 200 * 13800)}{(584{,}8 * 37 * 10500) + (51 * 400 * 13800)} = 297{,}6\ mm\ vanaf\ de\ onderkant$$

$$EI_{eff} = (I_{plaat} + A_{plaat} * {a_{plaat}}^2) * E_{plaat} + (I_{rib} + A_{rib} * {a_{rib}}^2) * E_{rib}$$

$$EI_{eff} = \left(\frac{1}{12} * 584{,}8 * 37^3 + 584{,}8 * 37 * (437 - 297{,}6 - 0.5 * 37)^2\right) * 10500$$
$$+ \left(\frac{1}{12} * 51 * 400^3 + 51 * 400 * (297{,}6 - 0{,}5 * 400)^2\right) * 13800 = 9{,}782 * 10^{12}\ mm^4$$

B: Schuifspanning rib (optredend):

$$\tau_{Ed} = \frac{V * S * E}{b * EI_{eff}} = \frac{21.990 * \left(297{,}6 * 51 * \frac{297{,}6}{2}\right) * 13.800}{51 * 9{,}782 * 10^{12}} = 1{,}37\ N/mm^2$$

C: Schuifspanning rib (toegestaan):

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0{,}8 * 4{,}1}{1{,}20} = 2{,}73\ N/mm^2$$

D: Buigspanning rib (optredend):

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_y * e * E_{rib}}{EI_{eff}} = \frac{39{,}58 * 10^6 * 297{,}6 * 13.800}{9{,}782 * 10^{12}} = 16{,}62\ N/mm^2$$

E: Buigspanning rib (toegestaan):

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0{,}8 * 42{,}51}{1{,}20} = 28{,}34\ N/mm^2$$

F: Oplegskracht (toegestaan):

$$F_{Rd} = f_{c,o,d} * A = \frac{0{,}8 * 6}{1{,}2} * (150 + 15) * 51 = 33{,}66\ kN$$

Het contactoppervlakte mag vermeerderd worden met 15 mm.

G: Eindvervorming (optredend):

Permanent:

$$w = 1{,}6\ (kruip) * \frac{5ql^4}{384EI_{eff}} = 1{,}6 * \frac{5*(0{,}5848*(2{,}17+1+0{,}8))*7200^4}{384*9{,}782*10^{12}} = 12{,}21\ mm$$

Variabel:

$$w = 1{,}36\ (kruip) * \frac{5ql^4}{384EI_{eff}} = 1{,}6 * \frac{5 * (0{,}5848 * 5{,}23) * 7200^4}{384 * 9{,}782 * 10^{12}} = 13{,}68\ mm$$

$$w_{eind} = 12{,}21 + 13{,}68 = 25{,}89\ mm$$

Controle

Hieronder zijn de waardes weergegeven van de rekenprogrammatuur en de handberekening:

Toetsing	Finnwood	Handberekening
A	$9{,}7818 * 10^{12}\ mm^4$	$9{,}782 * 10^{12}\ mm^4$
B	$1{,}37\ N/mm^2$	$1{,}37\ N/mm^2$
C	$2{,}73\ N/mm^2$	$2{,}73\ N/mm^2$
D	$16{,}62\ N/mm^2$	$16{,}62\ N/mm^2$
E	$28{,}34\ N/mm^2$	$28{,}34\ N/mm^2$
F	$36{,}72\ kN$	$33{,}66\ kN$
G	$26{,}10\ mm$	$25{,}89\ mm$

Tabel 6 – Controle U.C., (1).

Het verschil binnen F is te verklaren doordat voor de toegestane oplegkracht het oplegvlak vermeerderd mag worden. Binnen het LVL handboek staat beschreven dat dit met 15 mm vergroot mag worden. Echter, het kan dat de leverancier deze waarde anders aanhoudt binnen de berekening. Tijdens het omgekeerd redeneren van de uitkomst van het rekenprogramma is gebleken dat hierbij een vermeerdering van 30 mm is aangehouden. Het verschil binnen A en G is te verklaren door de afrondingen binnen de handberekening.

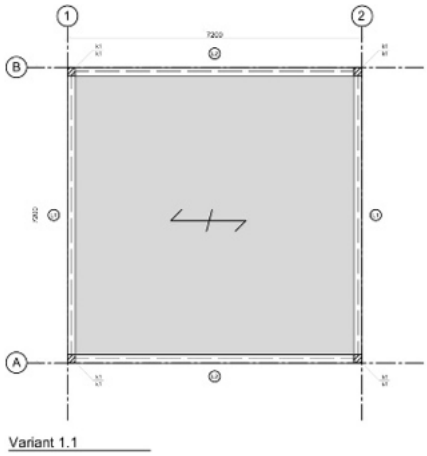
4.3 Stappenplan constructieve toetsing

Om inzicht te krijgen in de werkwijze hoe de varianten die in één richting afdragen zijn getoetst, is een stappenplan met visuele onderbouwing opgesteld. Dit stappenplan heeft betrekking op elke variant. Ter verduidelijking wordt de werkwijze van variant 1.1 hieronder toegelicht.

Stap 1: Uitsplitsen variant:

Eerst wordt de variant uitgesplitst in constructieve elementen:

- Vloerconstructiemogelijkheden:
  - CLT-vloer
  - Kerto Ripa T
  - Kerto Ripa open Box
  - Houtenbalklaag
- Liggerconstructiemogelijkheden (L1 & L2):
  - Glulam liggers (gelamineerde ligger)
  - LVL liggers
  - Gezaagde houtenbalken



Figuur 10 – Variant 1.1., (1).

Stap 2: Toetsing Vloerconstructies:

Vervolgens worden de vloerconstructiemogelijkheden constructief getoetst aan de hand van de belastingaannames. Binnen de berekeningen wordt vervolgens gekeken per vloerconstructiemogelijkheid welke de hoogste reactiekrachten (in BGT, per belastinggeval) bedraagt. Deze worden vermeld binnen de berekeningen voor het constructief toetsen voor de liggerconstructies. De CLT-vloer wordt berekend door middel van het rekenprogramma CLT designer, de Kerto Ripa vloeren worden berekend door middel van Finnwood en de houten balklagen wordt getoetst door middel van Qec. Als alle Unity Checks binnen een toetsing lager zijn dan 1,00 dan wordt de deze vermeld binnen de multicriteria-analyse als maatvoering.

Stap 3: Toetsing Liggerconstructies:

Ten slotte worden de liggerconstructiemogelijkheden constructief getoetst aan de hand van de reactiekrachten vanuit de hoogste waardes van vloerconstructiemogelijkheden. De verschillenden liggermogelijkheden worden door middel van Qec getoetst. Als alle Unity Checks binnen een toetsing lager zijn dan 1,00 dan wordt de deze vermeld binnen de multicriteria-analyse als maatvoering.

Constructieve berekeningen:

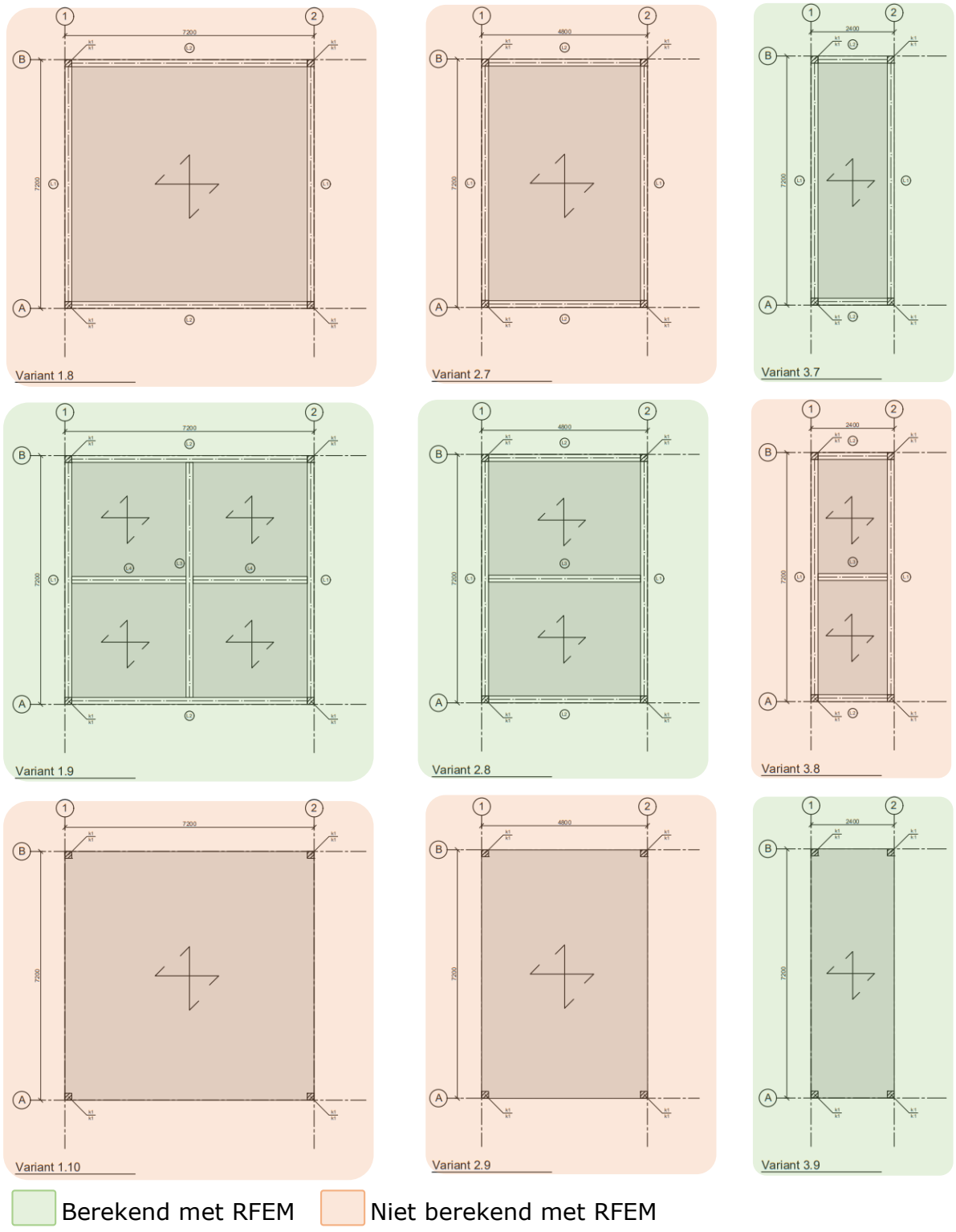
De constructieve berekeningen zijn terug te lezen in bijlage:

- Bijlage 1: *Constructieve uitwerking variant 1*
- Bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2*
- Bijlage 3: *Constructieve uitwerking variant 3*

5.0 Varianten in twee richting afdragend

5.1 Varianten beschouwing

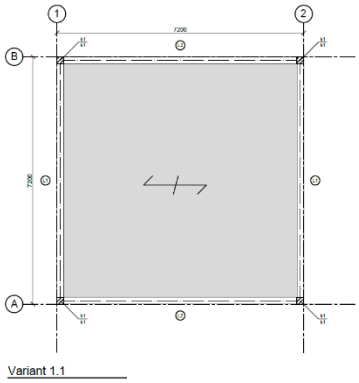
Voordat er constructieve berekeningen worden gemaakt van de varianten in twee richting afdragend zijn de varianten eerst kwalitatief beschouwd. Hieronder staan de varianten waarbij de vloeren in twee richtingen kunnen afdragen:



Figuur 11 – Varianten in twee richtingen afdragend, (1).

De varianten die niet constructief worden getoetst zijn:

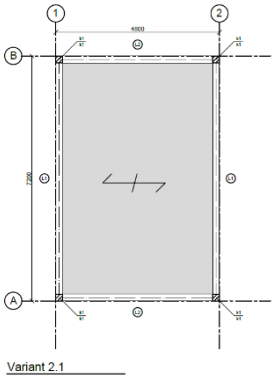
1.8: Aangezien de afmeting van de vloerplaat van 7,2 x 7,2m dient deze door transport beperkingen opgeknipt te worden. Door maximale transportbreedte van 3,5 m dient deze vloer opgeknipt te worden in drie stroken. Zonder extreme materiaal toevoegingen en hoogteverlies is het niet haalbaar om CLT-plaat koppelingen 100% moment vast te maken *(CLT handboek, jaar, p. 76)*. In dit geval zal de middelste vloerplaat zich voornamelijk gaan gedragen als een vloer op twee steunpunten, zoals in variant V1.1 hiernaast.



Figuur 12 – Variant 1.1, (1).

1.10: Door het gebrek aan momentoverdracht bij gekoppelde vloerplaten kan deze variant niet uitgevoerd worden door de transportbeperkingen.

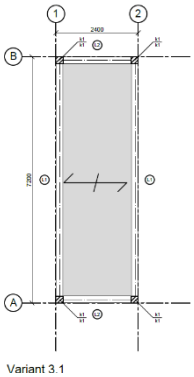
2.7: Net zoals variant 1.8 en 1.10 is deze variant niet rendabel door het gebrek aan momentoverdracht en transportbeperkingen. Wanneer de vloerconstructie in de korte richting overspant zal de middelste vloerplaat zich gedragen als een vloer op twee steunpunten, zoals in variant V2.1.



Figuur 13 – Variant 2.1, (1).

2.9: Deze variant is niet uitvoerbaar door een gebrek aan momentoverdracht en transportbeperkingen zie variant V1.10.

3.8: De CLT vloer dient in de korte overspanning als hoofdrichting te worden uitgevoerd. Door de kleine overspanning kan deze CLT vloer dun uitgevoerd worden, namelijk drie laags. Dit resulteert in grote stijfheidsverschillen tussen de hoofd- en de kruislaag-richting. Hierdoor wordt verwacht dat de CLT in de kruislaag-richting, in dit geval de lange overspanning, nauwelijks belasting opneemt/ afdraagt. Daarom wordt verwacht dat de vloerconstructie zich gedraagt als variant V.3.1.

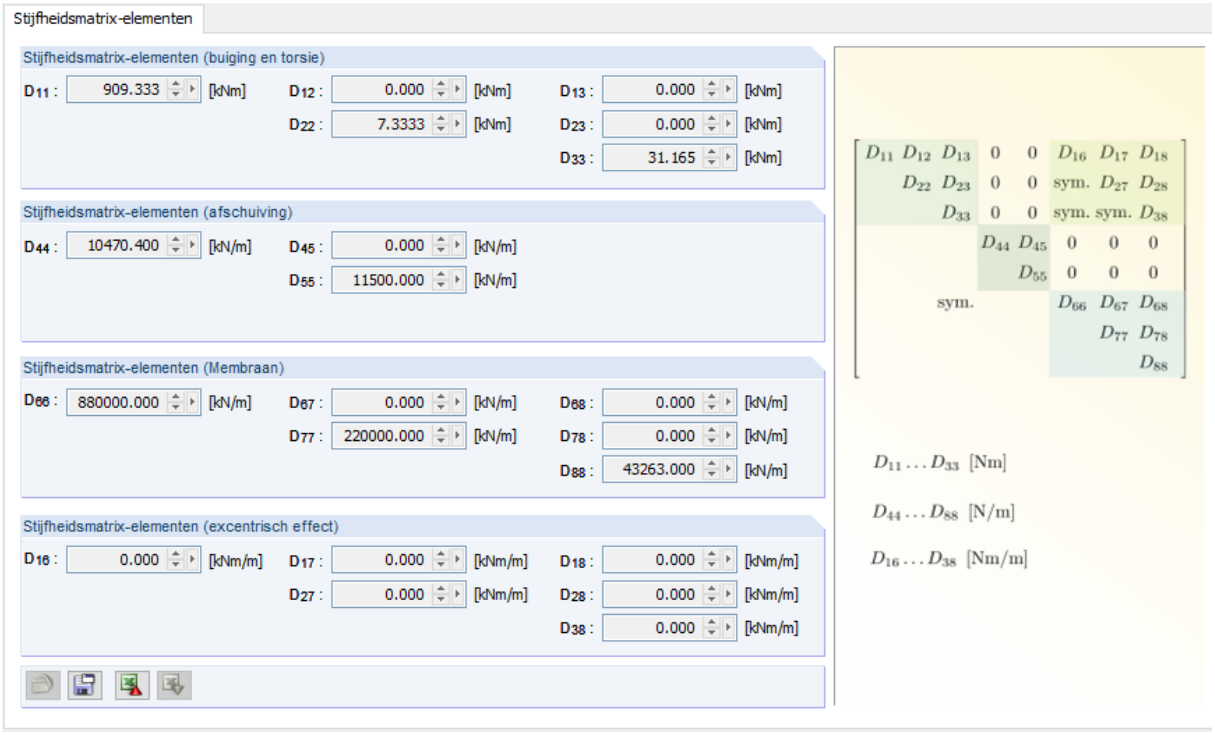


Figuur 14 – Variant 3.1, (1).

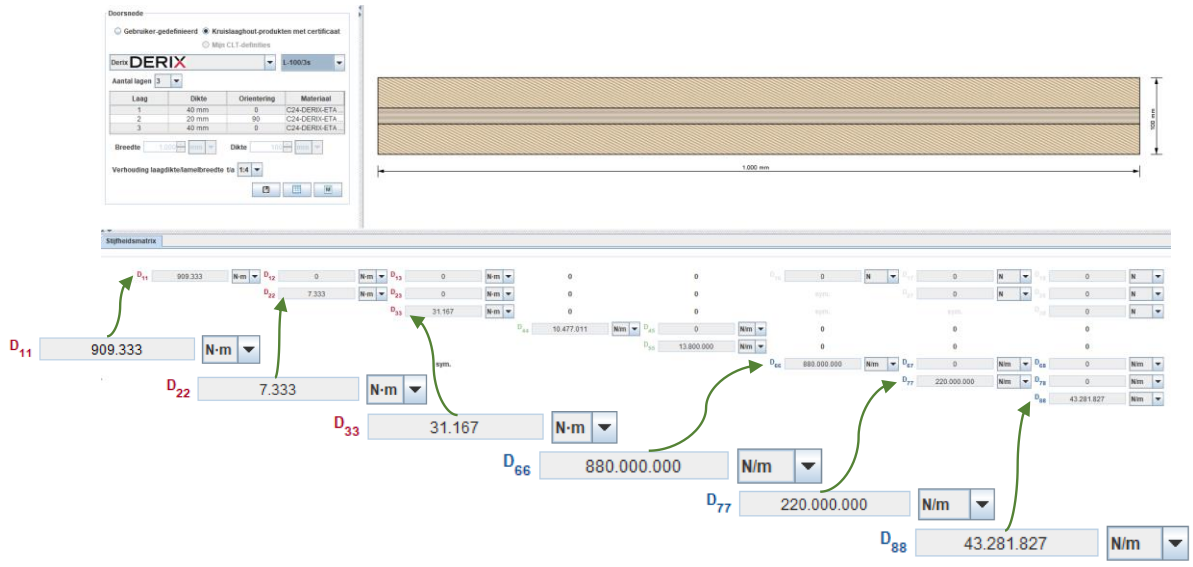
5.2 Rekenprogrammatuur verifiëren RFEM & CLT designer

Rekenprogramma:

De CLT-vloeren van de varianten die in twee richtingen afdragen is de stijfheidsmatrix met behulp van CLT designer software berekend. Deze stijfheidsmatrix is vervolgens toegepast in het softwareprogramma RFEM. Voor het toepassen van dit programma is eerst een verificatie gemaakt door middel van een handberekening. De CLT vloer die is geverifieerd is toegepast bij variant 3.7. Hieronder is een afbeelding weergegeven van de invoertoepassing van RFEM en CLT designer.



Figuur 15 – Rekenvoorbeeld RFEM CLT-vloer V3.7, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.



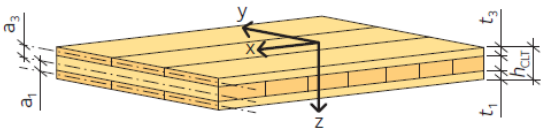
Figuur 16 – Rekenvoorbeeld CLT designer CLT-vloer V3.7, overgenomen uit software CLT designer, Holz.bau, 2009.

Doorsnede-eigenschappen:

3-laags CLT vloer Derix L100/3s

$t_1 = t_3 = 40\ mm$ $t_2 = middelste\ laag = 20\ mm$

$a_1 = a_3 = 40\ mm$



Figuur 17 – Opbouw CLT 3-laags incl. benamingen lagen, overgenomen uit The CLT handbook figuur 3.9 (p. 49) door Gustafsson, 2019.

Materiaaleigenschappen:

$E_{0,mean} = 11000\ N/mm^2$ $G = 690\ N/mm^2$

$f_{m,k} = 24\ N/mm^2$

Berekenen D_{11} momentstijfheid x-richting:

$$D_{11} = \frac{E_1 * h^3}{(12(1 - v_{12} * v_{21}))}$$

$$D_{11} = \frac{E_{0,\text{mean}} * I_{x,net}}{(1 - v_{\text{xy}} * v_{\text{yx}})} \qquad waarbij\ v_{xy} = v_{yx} = 0$$

$$I_{x,net} = b_x\left(\frac{t^3}{12} + t * a^2\right) = 1000 * \left(2 * \left(\frac{40^3}{12} + 40 * 30^2\right)\right) = 8.266{,}7 * 10^4\ mm^4$$

$$D_{11} = \frac{11000 * 8.266{,}7 * 10^4}{(1-0*0)*1000} = 9{,}093 * 10^8 Nmm = 909{,}333\ kNm$$

Berekenen D_{22} momentstijfheid y-richting:

$$D_{22} = \frac{E_2 * h^3}{(12(1 - v_{12} * v_{21}))}$$

$$D_{22} = \frac{E_{0,\text{mean}} * I_{y,net}}{(1-v_{\text{xy}}*v_{\text{yx}})} \qquad waarbij\ v_{xy} = v_{yx} = 0$$

$$I_{y,net} = b_y\left(\frac{t^3}{12}\right) = 1000 * \left(\frac{20^3}{12}\right) = 66{,}67 * 10^4\ mm^4$$

$$D_{22} = \frac{11000 * 66{,}67 * 10^4}{(1-0*0)*1000} = 7{,}333 * 10^6 Nmm = 7{,}333\ kNm$$

Berekenen k_{33} en k_{88}:

De k_{33} en k_{88} factoren zijn een reductie van de torsiestijfheid en de schuifstijfheid. Deze reducties zijn afkomstig van het gebrek aan het overdragen van schuifspanningen veroorzaakt door het niet volledig verlijmen van de houten latten. De zijkanten van de latten zijn namelijk niet tot nauwelijks verlijmd.

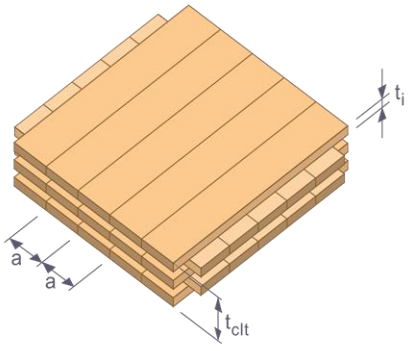
Definition of the Reduction Factor of the Torsional Stiffness D33 and Shear Stiffness D88 for Cross-Laminated Timber

Overall height	t_{CLT}	100 mm
Number of layers	n	3
Board width	a	120 mm
Average board height	t_i	30 mm

	Number of Layers		
	3	5	7
p_D	0,89	0,67	0,55
q_D	1,33	1,26	1,23
p_S	0,53	0,43	0,43
q_S	1,21	1,21	1,21

$$\kappa_{33} = \frac{1}{1 + 6 \cdot p_D \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^{q_D}} = \quad \mathbf{0{,}542}$$

$$\kappa_{88} = \frac{1}{1 + 6 \cdot p_S \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^{q_S}} = \quad \mathbf{0{,}627}$$



Figuur 18 – Berekening k_{33} en k_{88}, overgenomen uit Excel sheet Stiffnes reduction factors k33 and k88 in RF-Laminate, Dlubal Software GmbH, 2019.

Berekenen D_{33} torsiestijfheid:

$$D_{33} = \frac{G_{12} * h^3}{12} = k_{cr} * G_{0,mean} * \frac{h_{CLT}^3}{12} \quad met\ k_{cr} = k_{33}\ zie\ figuur\ 18$$

$$D_{33} = 0{,}542 * 690 * \frac{100^3}{12} = 31{,}165 * 10^6 Nmm = 31{,}165\ kNm$$

Berekenen D_{88}:

$$D_{88} = G_{s,mean} * h_{CLT}$$

$$G_{s,mean} = G_{0,mean} * k_{88}$$

$$D_{88} = (690 * 0.627) * 100 = 43.263\ N/mm = 43.263\ \text{kN/m}$$

Berekenen D_{66}:

$$D_{66} = E_{0,mean} * h_x = 11.000 * 80 = 880.000\ N/mm = 880.000\ kN/m$$

Berekenen D_{77}:

$$D_{77} = E_{0,mean} * h_y = 11.000 * 20 = 880.000\ N/mm = 220.000\ kN/m$$

Controle

Hieronder zijn de waardes weergegeven van de rekenprogrammatuur en de handberekening. De waardes van CLT designer worden omgeschreven naar kNm en kN/m:

Toetsing	RFEM	CLT designer	Handberekening
D_{11}	909,333 kNm	909,333 kNm	909,333 kNm
D_{22}	7,3333 kNm	7,333 kNm	7,333 kNm
D_{33}	31,165 kNm	31,167 kNm	31,165 kNm
D_{66}	880.000 kN/m	880.000 kN/m	880.000 kN/m
D_{77}	220.000 kN/m	220.000 kN/m	220.000 kN/m
D_{88}	43.263 kN/m	43.282 kN/m	43.263 kN/m

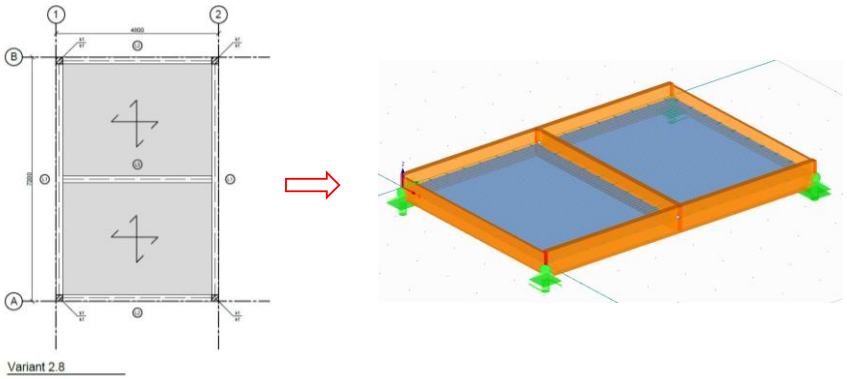
Tabel 7 – Controle waardes van RFEM en CLT designer voor de stijfheidsmatrix, (1).

De kleine verschillen binnen de D_{33} en D_{88} zijn te verklaren door afrondingen binnen de handberekeningen. Hierdoor is geconstateerd dat het rekenprogramma toegepast kan worden voor de CLT-vloer berekeningen in RFEM. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het juist en handmatig invullen van de k_{33} en k_{88} waarde en de juiste materiaaleigenschappen van producent Derix die vermeld worden binnen de CLT designer, zoals de E-modules en de Poisson-factor.

5.3 Stappenplan constructieve toetsing RFEM

Om inzicht te krijgen in de werkwijze waarop de CLT-vloeren met behulp van RFEM zijn getoetst, is een stappenplan met visuele onderbouwing opgesteld. Dit stappenplan heeft betrekking op elke variant. Ter verduidelijking wordt de werkwijze van variant 2.8 hieronder toegelicht.

Stap 1: Variant opstellen:



Figuur 19 – Variant 2.8 modelleren in RFEM, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

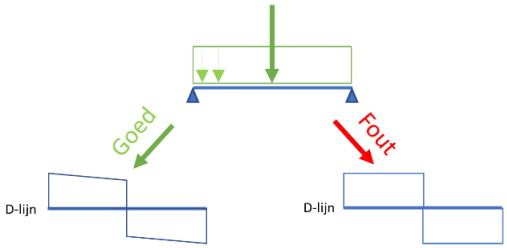
- Tijdens het modelleren diende extra aandacht besteed te worden aan de verbindingen. Hierbij dient nagedacht te worden over de vrijheidsgraden van de aansluitingen van constructieve elementen. Zowel bij de aansluiting van ligger op ligger als de aansluiting van vloer op ligger is gekozen voor een scharnierende verbinding. Dit is gerealiseerd door de hoekverdraaiing om de Y-as vrij te geven.
- Door de vloeren in het hart van de liggers aan te laten grijpen, zal de vloer geen extra stijfheid in de vorm van een meewerkende breedte van een T-ligger creëren. Dit is namelijk niet te bedoeling omdat in deze fase van het project niet bekend was of de vloer in ligger in praktijk daadwerkelijk zo gaan werken in verband met verbindingscapaciteiten.
- Om de reductie van schuifspanning veroorzaakt door het niet volledig verlijmen van de latten in een CLT-vloer, dienen de factoren k_{33} en k_{88} ingevoerd te worden om tot de juiste stijfheden te komen.

Stap 2: Proefbelasting:

- Voordat de daadwerkelijke belastingen en belastingcombinaties bij het model werden ingevoerd, is eerst een proefbelasting toegepast. Deze proefbelasting (gelijkmatige vlaklast) diende ter controle van het model. Aan de hand van de resultaten kon gekeken worden of het model juist was gemodelleerd. Deze controle bestond uit de volgende onderdelen:

  1. Vervormingen: hierbij is gelet op symmetrie, pieken en vaste punten.
  2. Momentlijnen: hierbij is gelet op eventuele steunpuntsmomenten.
  3. Normaalkracht in liggers: deze diende niet of in geringe mate aanwezig te zijn.

4. Dwarskrachtenlijn liggers: wanneer de dwarskrachtenlijn als een constante lijn wordt weergegeven, betekent dit dat de ligger geen vloerbelasting opneemt. Dit kan het gevolg zijn van verkeerde scharnierende eigenschappen van de aansluiting tussen vloer en ligger. Hiernaast staat een visueel voorbeeld van de N-lijn van een hoofdligger met aansluitende ligger.

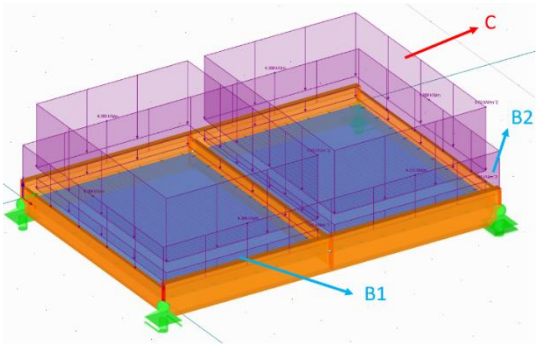


Figuur 20 – Controle dwarskrachtenlijn, (1).

5. Torsiemomenten in ligger: wanneer een torsiemoment in de liggers optreedt, kan dit het gevolg zijn van een monolithische (moment vaste) verbinding tussen ligger en vloer of tussen ligger en ligger. Echter, in de praktijk zal deze verbinding scharnierend gedragen. Hierdoor wordt gestreefd naar geen of gering torsiemoment.
6. Los van de controle punten zoals hierboven beschreven, gaf RFEM een foutmelding wanneer het model niet uitgerekend kon worden. Dit had voornamelijk te maken met instabiliteiten zoals in de verbindingen tussen ligger en vloer.

Stap 3: Belastingen opstellen:

- Nadat het model is gecontroleerd aan de hand van de proefbelastingen, kon de daadwerkelijke belastingen in het model worden toegepast. Deze belastingen zijn verdeel onder de volgende categorieën:
  - G_k: Eigen gewicht
    - (A) situatie afhankelijk
  - G_k: Opgelegd
    - (B1, vloer) 1,00 kN/m²
    - (B2, gevel) 4,30 kN/m[1]
  - Q_k: Personen
    - (C, vloer) 6,03 kN/m²
- Zie belastingaannames voor de afkomst van de belastingen.



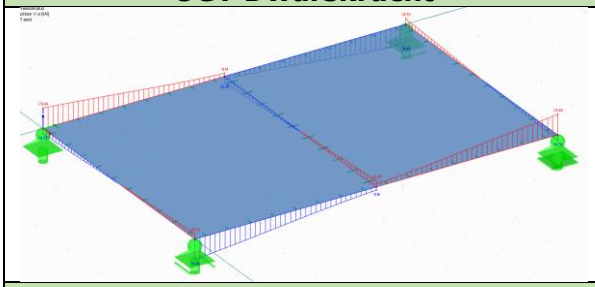
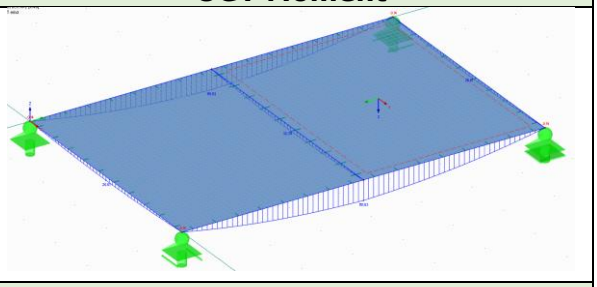
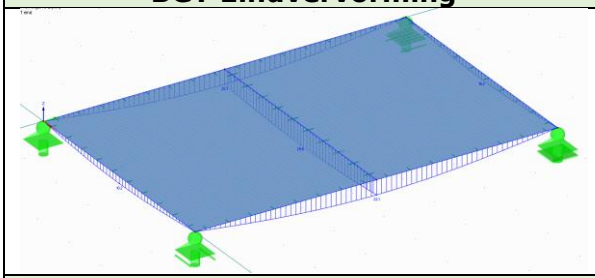
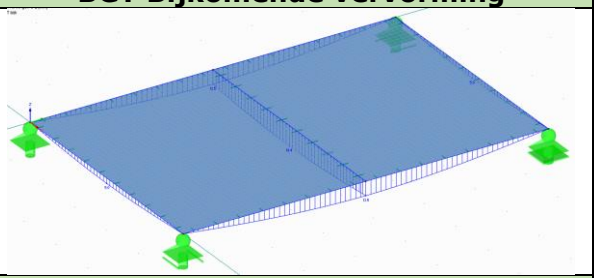
Figuur 21 – Variant 2.8 opgelegde belastingen in RFEM, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Stap 4: Belasting combinaties aanmaken:

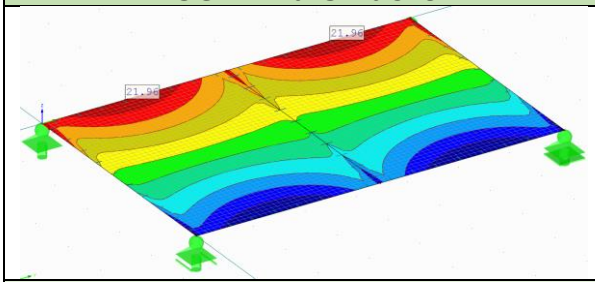
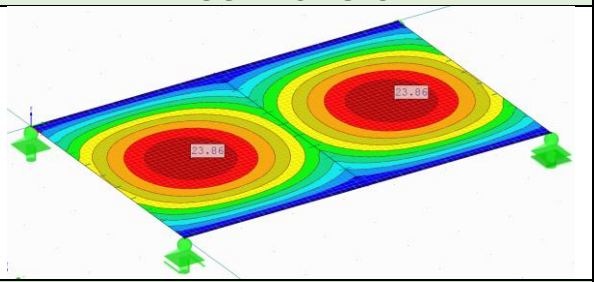
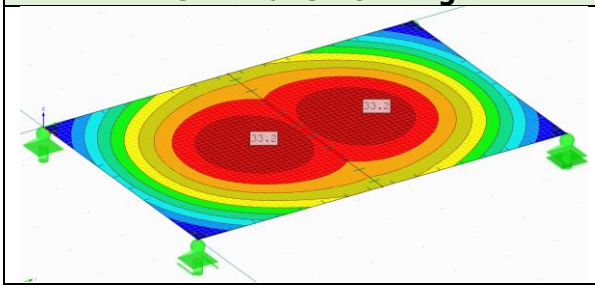
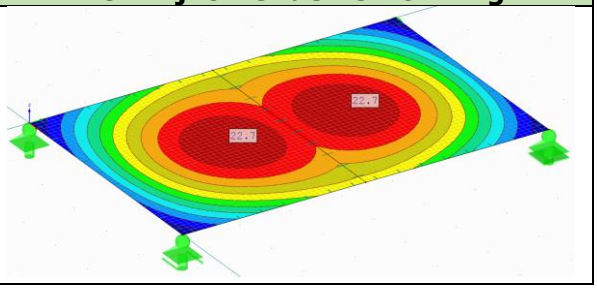
- Belastingcombinaties: nu de belastinggevallen ingevoerd zijn, diende belastingcombinaties aangemaakt te worden. Deze worden gebruikt tijdens het toetsen van de constructieve componenten.
  De combinaties zijn verdeeld in UGT en BGT:
  - UGT: alle belasting gevallen inclusief veiligheidsfactoren
  - BGT eind: alle belastinggevallen zonder veiligheidsfactoren
  - BGT bijk.: enkel variabele belasting zonder veiligheidsfactoren

Stap 5: Resultaten uitvoeren en analyseren:

- Nu het model klaar is voor gebruik, kunnen de resultaten uitgevoerd worden. Aan de hand van de resultaten kunnen de constructieve componenten getoetst worden. In onderstaande tabellen staan vermeld op welke aspecten de componenten worden getoetst. De toetsing zelf staat vermeld in: *Toetsingstabel liggers tabel 8, Toetsingstabel vloeren tabel 9.*

Toetsingsaspecten liggers	
UGT Dwarskracht	**UGT Moment**
	
Toelichting: aan de hand van het maximale dwarskracht zijn de liggers getoetst op afschuifspanning.	Toelichting: aan de hand van het maximale moment zijn de liggers getoetst op buigspanning.
BGT Eindvervorming	**BGT Bijkomende vervorming**
	
Toelichting: aan de hand van het maximale eindvervorming zijn de liggers getoetst.	Toelichting: aan de hand van het maximale bijkomende vervorming zijn de liggers getoetst.

Tabel 8 – Toetsingstabel liggers, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Toetsingsaspecten vloeren	
UGT Dwarskracht	**UGT Moment**
	
BGT Eindvervorming	**BGT Bijkomende vervorming**
	

Tabel 9 – Toetsingstabel vloeren, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

- De vloeren worden in de UGT op dezelfde wijze getoetst als de liggers. Hierbij is de capaciteit berekend aan de hand van een zelfgemaakte spreadsheet i.v.m. de orthotrope CLT-vloeren. In de BGT worden de vervormingen als een totale constructie getoetst. De totale zakking worden vergeleken met de maximale toelaatbare zakking. Dit maximum is gebaseerd op een promillage van de diagonale afstand van steunpunt tot steunpunt.

Stap 6: Optimaliseren dimensionering:

- Aan de hand van de toetsingen is gebleken of de constructieve componenten voldoen aan de optredende belastingen. In de laatste fase worden de dimensies van de componenten geoptimaliseerd. Doordat de vloer in twee richtingen afdraagt kan een verandering van één constructief component grote gevolgen hebben op de andere componenten. Het optimaal construeren van de constructie is een iteratief proces waarbij alle criteria (bijvoorbeeld constructiehoogte en materiaalefficiëntie) zijn meegenomen.

Constructieve berekeningen:

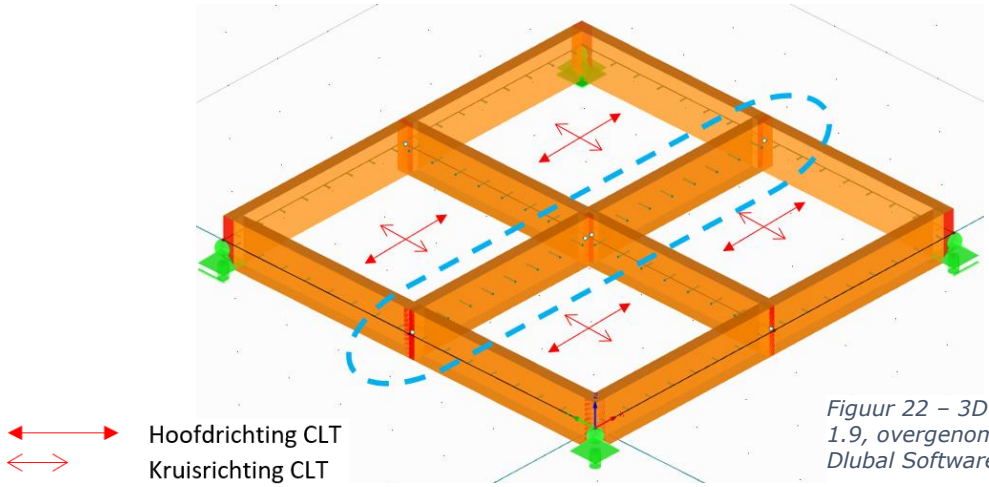
De constructieve berekeningen zijn terug te lezen in bijlage:

- Bijlage 1: *Constructieve uitwerking variant 1*
- Bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2*
- Bijlage 3: *Constructieve uitwerking variant 3*

5.4 Varianten resultaten

Variant 1.9

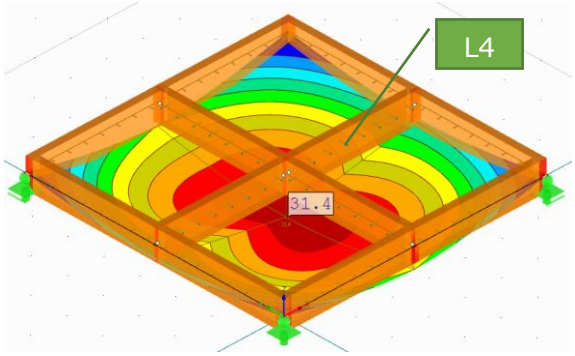
In onderstaande afbeelding is de vloeroverspanning weergegeven. Hierbij is de vraag ontstaan of de ligger, gearceerd met een blauwe stippellijn, nog relevant is. Deze ligt namelijk parallel aan de hoofdafdracht-richting van de CLT-vloer.



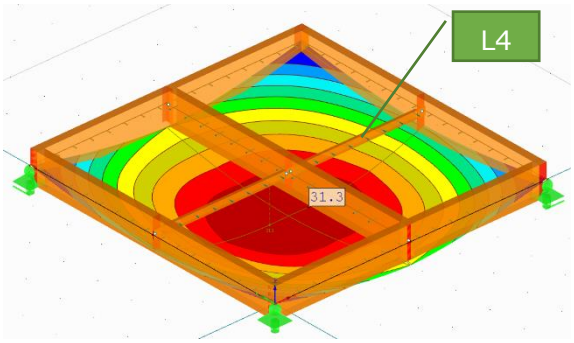
Figuur 22 – 3D weergave RFEM variant 1.9, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Om dit te onderzoeken zijn vier modellen gemodelleerd. Deze staan hieronder weergegeven. De dimensionering van de Glulam liggers is, tenzij andere vermeld, geschat op 200x800 mm.

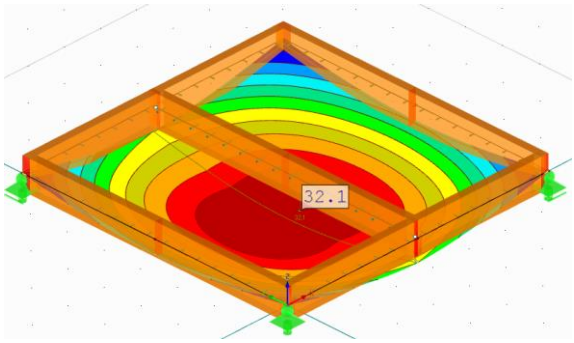
Variant 1.9A₁
In twee richtingen afdragend
met L4=200x800



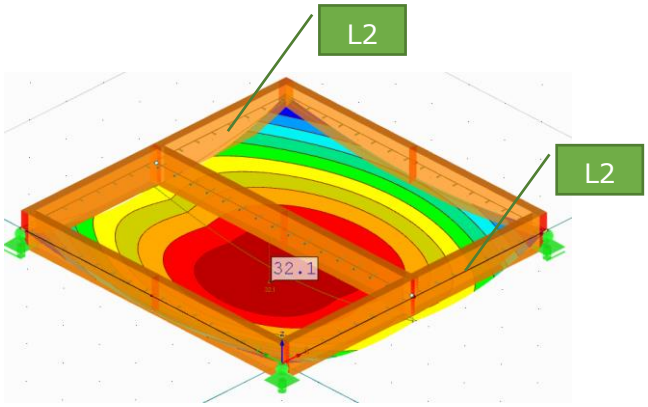
Variant 1.9A₂
In twee richtingen afdragend
met L4=72x200



Variant 1.9B
In twee richting afdragend zonder ligger



Variant 1.9C
In één richting afdragend

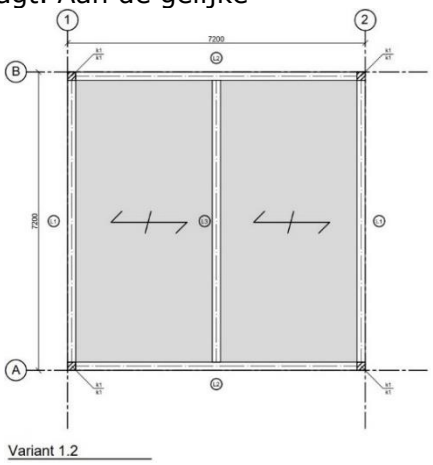


Figuur 23 – 3D weergave RFEM varianten binnen variant 1.9, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Conclusie:
Uit het onderzoek tussen variant 1.9A$_1$ en 1.9A$_2$ blijkt dat de ligger dimensie van L4 weinig invloed heeft op de vervorming. Als gevolg van deze conclusie zijn varianten 1.9B en 1.9C opgesteld. Hierbij is L4 achterwege gelaten. Bij variant 1.9B draagt de vloer in twee richtingen af en bij variant 1.9C is de vloer volledig losgekoppeld van L2 waardoor deze vloer zich als een vloer op twee steunpunten gedraagt. Aan de gelijke vervormingen te zien, valt te concluderen dat de vloer niet in 2 richtingen afdraag en geen voordelen oplevert. Dit kan verklaard worden door het volgende:

- de stijfheidsverschillen tussen de hoofdafdracht-richting (D11) en de kruisafdracht-richting (D22) blijken dusdanig groot te zijn dat de CLT-vloer zich is gaan gedragen als een ligger op twee steunpunten.

Aan de hand van bovenstaande resultaten en conclusies is gebleken dat variant 1.9 vrijwel niet verschilt met variant 1.2 (zie figuur hiernaast). Met deze reden is ervoor gekozen om deze variant niet verder uit te werken omdat deze niet relevant is voor de verdere variantenstudie.



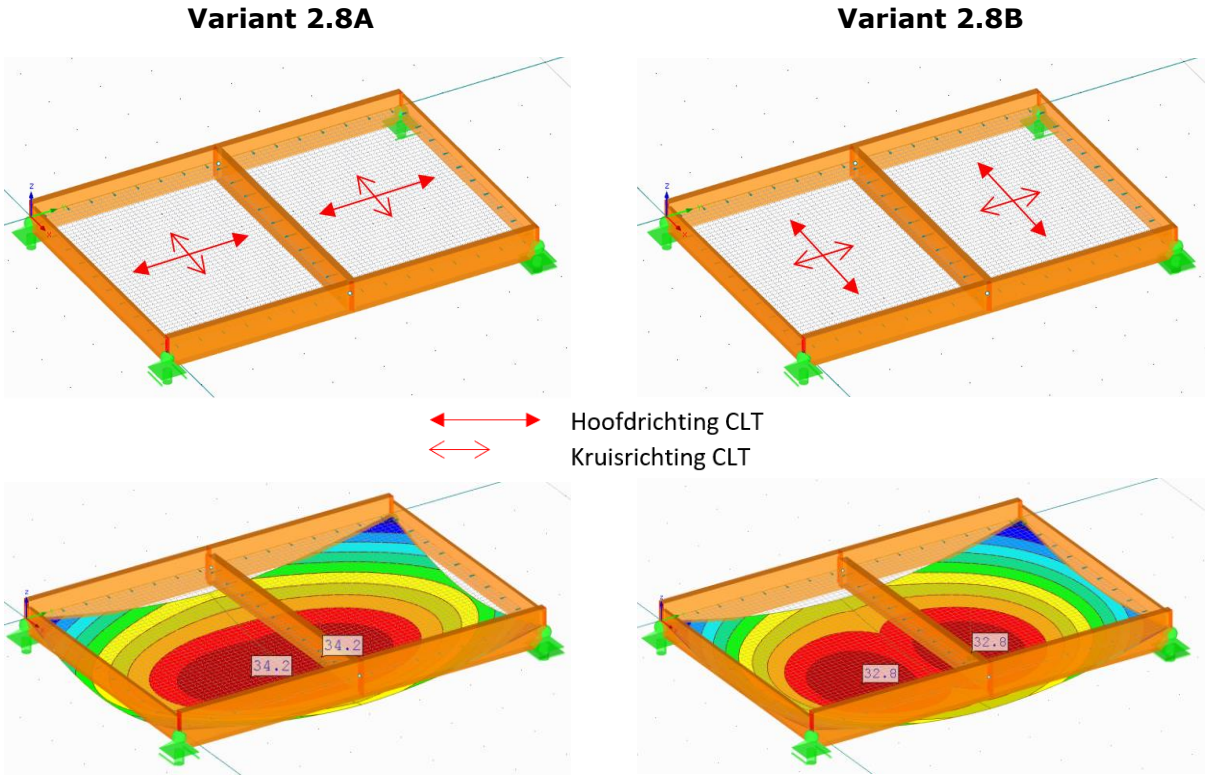
Figuur 24 – Variant 1.2., (1).

Discussie:
De variant kan geoptimaliseerd worden door de liggers stijver te maken zodat de vloer meer mag vervormen. De U.C. op sterkte van de vloer is namelijk zeer laag.

Ook kan ervoor gekozen worden om de vloeren momentvast met elkaar te verbinden. In dit geval kan gevarieerd worden met de stijfheden van de steunpunten waardoor het veld en steunpuntsmoment gelijk aan elkaar worden gesteld. Dit is efficiënt construeren. Echter is het momentvast koppelen van CLT vloerplaten in dit geval praktisch niet haalbaar.

Variant 2.8

Voordat deze variant constructief uitgewerkt wordt, dient bepaald te worden wat de optimale oriëntatie van de vloer is. Hiermee wordt bedoeld in welke richting de CLT-vloer dient te liggen zodat dit tot een positieve invloed op de vervorming zal leiden. In onderstaand figuur staan de varianten welke ten aanzien van de vloeroriëntatie van elkaar verschillen. Om te bepalen welke variant constructief het best toepasbaar is, wordt gekeken naar de maximale eindvervorming in beide gevallen.



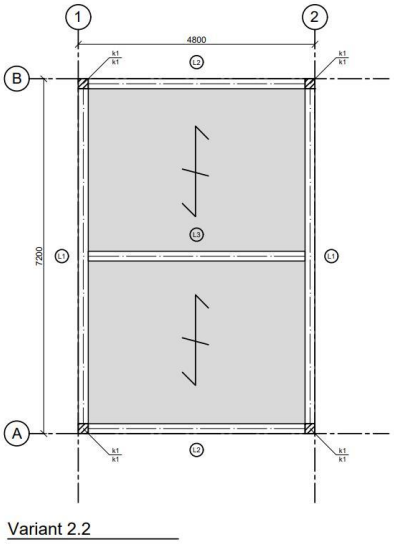
Figuur 25 – 3D weergave RFEM varianten binnen variant 2.8, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Conclusie:

In bovenstaande afbeeldingen staat weergegeven dat de eindvervorming van de rechter variant kleiner is dan de linker variant bij dezelfde toepassing van constructieve dimensionering. Met deze reden is ervoor gekozen om voor 'Variant 2.8' enkel de rechter optie constructief uit te werken.

Voor het toetsen van de constructieve elementen op sterkte en vervorming, dienen deze elementen een begindimensie te krijgen. Deze dimensies zijn geschat aan de hand van vergelijkbare varianten. Bij deze variant betrof de vergelijkbare variant V2.2, zie de figuur hiernaast. Vervolgens zijn de dimensies geoptimaliseerd door middel van een iteratief proces.

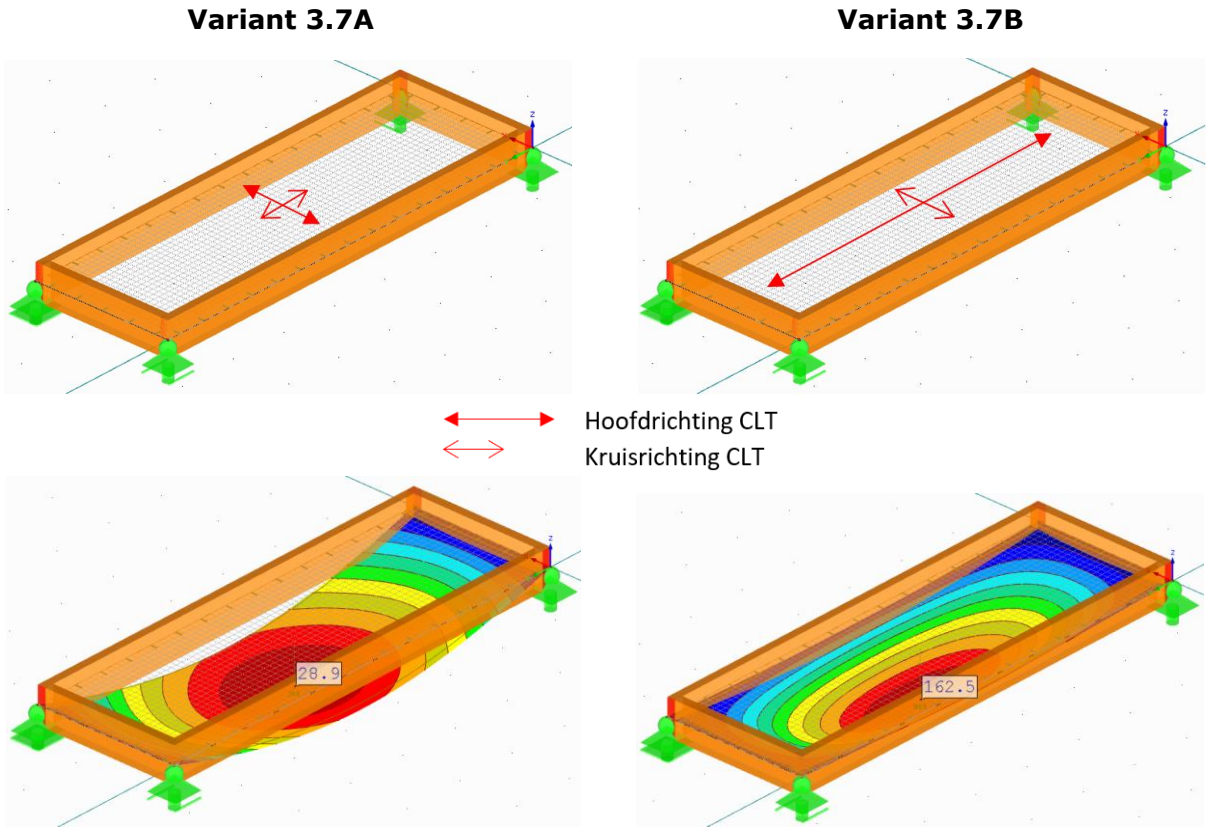
Hierna zijn de constructieve componenten op sterkte en vervorming getoetst volgens het stappenplan. Voor de resultaten zie bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2*.



Figuur 26 – Variant 2.2., (1).

Variant 3.7

Als gevolg van de grote lengte/breedte verhouding, namelijk 3, diende eerst onderzocht te worden welke hoofdafdracht-richting van de CLT-vloer zal leiden tot een materiaal-efficiënt ontwerp. Dit is onderzocht door de vervorming van beide varianten te berekenen.



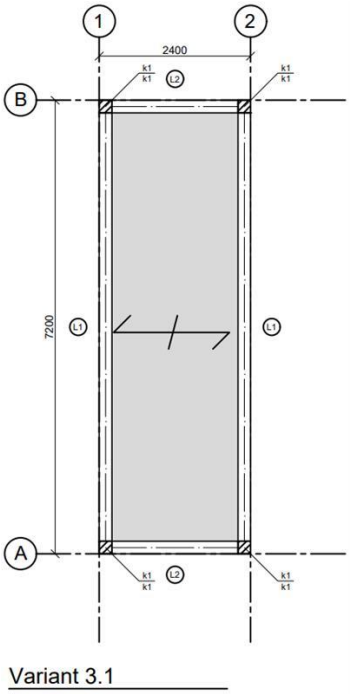
Figuur 27 – 3D weergave RFEM varianten binnen variant 3.7, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Conclusie:

In bovenstaand figuur is duidelijk gebleken dat de CLT-vloer met de hoofdafdracht in de richting van de korte overspanning gepositioneerd dient te worden. Variant 3.7A is met die reden verder constructief uitgewerkt.

Nu de vloeroriëntatie van de variant bekend is, dient een overige vraag onderzocht te worden. Door de vanuit eerder varianten opgedane kennis over de (vaak) geringe stijfheid en dus de afdracht in de kruislaag-richting, is twijfel ontstaan of deze variant rendabel is of dat deze op het gebied van materialisatie niet maatgevend is ten opzichte van variant 3.1 (zie figuur hiernaast).

Het antwoord op deze vraag wordt beantwoord door de variant te dimensioneren met dezelfde dimensies als die van variant 3.1. Vervolgens wordt gekeken naar de eindvervormingen. Wanneer de vervorming bij variant 3.7 gering afwijkt van de maximaal toelaatbare vervorming (overeenkomend met variant 3.1) wil dit zeggen dat de variant niet lichter uitgevoerd kan worden, wat resulteert in een niet relevante variant ten opzichte van variant 3.1



Figuur 28 – Variant 3.1., (1).

BGT eindvervorming Glulam

Toetsingen totaalvervorming				
Geometrie	Onderdeel		Totaal: maximale vervorming	
	Overspanning	mm	Diagonaal	7589
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	30,4
	Optredend	mm	28,9	
	U.C.		0,95	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	22,77
	Optredend	mm	16,8	
	U.C.		0,74	

Tabel 10 – BGT eindvervorming Glulam, (1).

BGT eindvervorming LVL

Toetsingen totaalvervorming				
Geometrie	Onderdeel		Totaal: maximale vervorming	
	Overspanning	mm	Diagonaal	7589
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	30,4
	Optredend	mm	31,7	
	U.C.		1,04	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	22,77
	Optredend	mm	18,2	
	U.C.		0,80	

Tabel 11 – BGT eindvervorming LVL, (1).

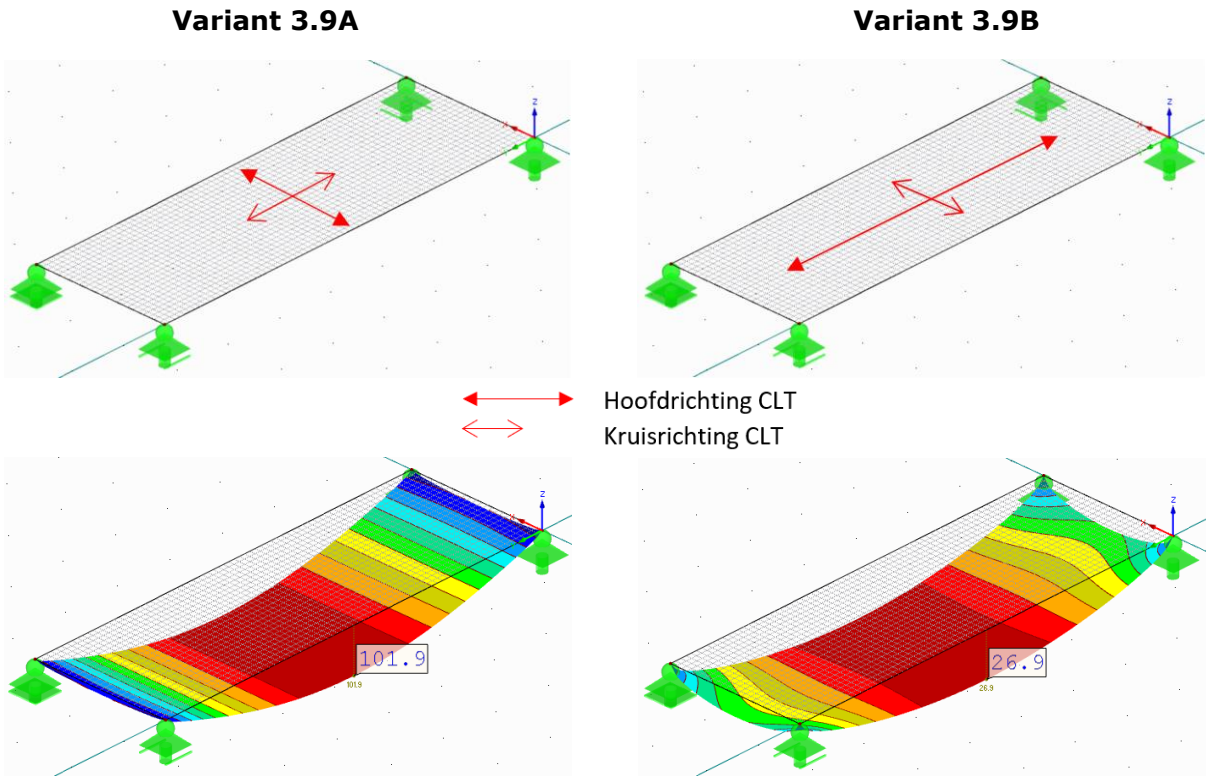
In bovenstaande tabellen staan de vervormingen (zowel eind als bijkomend) van de totale constructie weergegeven met de bijbehorende Unity Checks, hierna te benoemen U.C. Deze zijn verdeeld in de varianten waarbij enkel Glulam liggers en enkel LVL-liggers, zoals in variant 3.1 bepaald, zijn toegepast. Uit de resultaten is de volgende conclusie te trekken: De U.C. van beide varianten zijn dusdanig benut dat de dimensionering niet lichter uitgevoerd kan worden. Hierdoor is bewezen dat variant 3.7, waarbij de vloer in twee richting afdraagt, niet meer materiaalefficiënt is dan variant 3.1, waarbij de vloer in één richting afdraagt.

De reden van het verschijnsel dat de vloer zicht niet tot nauwelijks gedraagt als een in twee richtingen afdragende plaat heeft te maken met de stijfheidsverhouding D11 en D22 en met de lengte/breedte verhouding van de plaat.

Variant 3.9

Variant 3.9 verschilt ten opzichte van de voorgaande varianten omdat bij deze variant geen liggers zijn toegevoegd. Hier wordt namelijk een vrijdragende in twee richtingen afdragende CLT-vloer toegepast.

Net als bij vele voorgaande varianten wordt eerst bepaald hoe de CLT-vloer georiënteerd dient te worden. Of de hoofdrichting van de vloer, net als bij de voorgaande varianten, in de korte overspanningsrichting het best tot zijn recht komen, zal onderzocht moeten worden. Dit is gedaan aan de hand van twee modelvarianten zoals hieronder vermeld. Hierbij is de totale eindvervormingen van beide varianten met elkaar vergeleken.

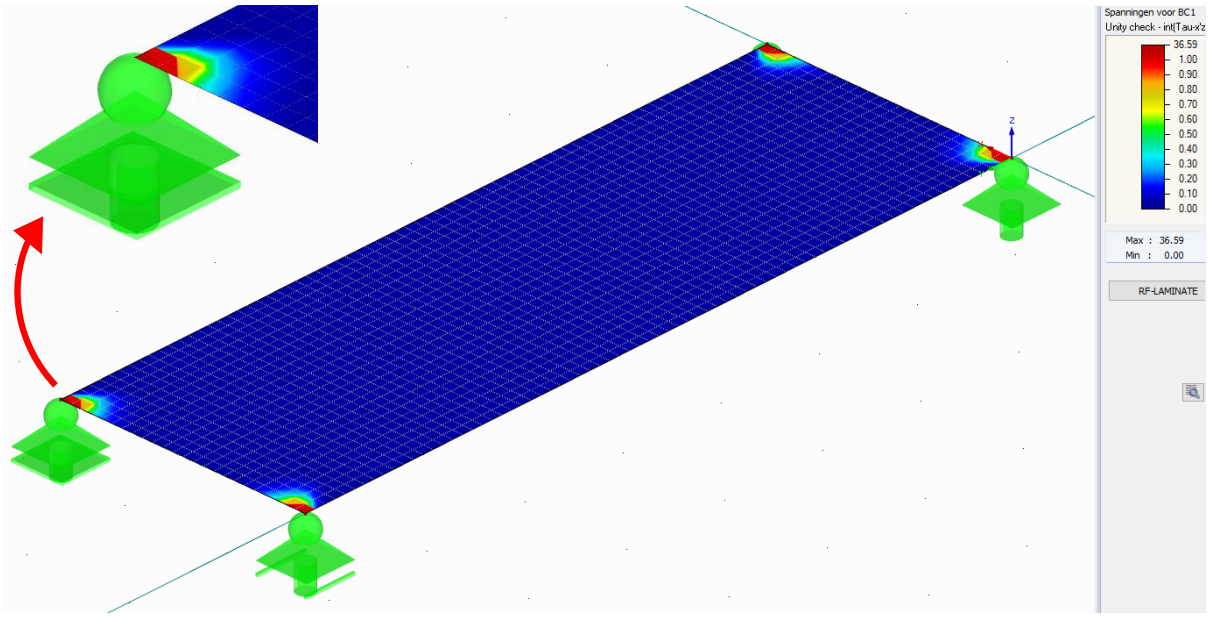


Figuur 29 – 3D weergave RFEM varianten binnen variant 3.9, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Conclusie:

In bovenstaande situatie is gebleken dat puntondersteunde CLT-vloeren niet, wat wel bleek bij andere varianten, geschikt is voor de oriëntatie waarbij de hoofdafdraagrichting de kortste overspanning maakt. Dit heeft te maken met de breedte/lengte verhouding van de plaat. Uit dit onderzoek is gebleken dat puntondersteunde CLT-vloeren niet tot nauwelijks te vergelijken zijn met lijnondersteunde platen op het gebied van afdracht en vervormingen.

Tijdens het toetsen van de CLT-vloer op sterkte met betrekking tot de dwarskracht is opgevallen dat piekspanningen ter plaatse van de steunpunten optreden. Dit resulteert in een U.C. voor de afschuiving van 36. Deze piekspanningen zijn de verklaren door het onbekende maar geringe oplegoppervlakte van de steunpunten. Met deze reden is ervoor gekozen om de dwarskracht te toetsen aan de hand van rekensoftware van CLTdesigner.



Figuur 30 – 3D weergave RFEM Unity Checks afschuiving variant 3.9, overgenomen uit software RFEM, Dlubal Software GmbH, 2020.

Voor de toetsing van de oplegspanning en afschuiving dient de dimensionering van de kolom bekend te zijn. Deze is geschat aan de hand van de reactiekracht van N_{Ed} = 77,42 kN * 4 bouwlagen minus reductie variabele belasting. Hieruit volgde een kolomdimensie van 230x230 mm. Om de plaat te toetsen op oplegspanning en afschuiving wordt een kleinere kolom dimensie aangehouden. Een oplegvlak van 200x200 mm wordt toegepast in de rekensoftware.

De rekensoftware geeft een U.C. van 0,831 (zie bijlage 3) aan bij een belasting van één bouwlaag (= 77,42 kN). Met dit resultaat is bewezen dat de vloer de belasting van bovenliggende kolommen (meerdere bouwlagen) niet kan dragen. De vloerplaat zal zich dan gaan gedragen als een spons. De oplossing hiervoor is:

- De vloer tussen de kolommen hangen
- De kolommen op een stalen voetje afdragen welke door de vloer loopt.

Discussie:

Uit de UGT- en BGT-toetsing blijkt dat een CLT-vloer dik 360 mm 9-laags toegepast dient te worden. Dit is een zeer grote hoeveelheid hout. Of deze dimensionering kan concurreren met varianten waarbij wel liggers worden toegepast, zal naar voren komen bij de multicriteria-analyse. Hierbij worden verschillende criteria meegewogen.

5.5 Opgedane kennis

Tijdens het uitvoeren van dit constructief verdiepende onderzoek is diverse kennis opgedaan met betrekking tot in twee richting afdragende CLT-vloeren.

Ten eerste is gebleken dat bepaalde factoren invloed hebben op de efficiëntie van de in twee richtingen afdragende vloer:

- *Lengte/breedte verhouding*: de lengte/breedte verhouding van de CLT-platen hebben invloed op de krachtswerking. Over het algemeen is gebleken dat de CLT-vloeren het meest efficiënt werken wanneer de hoofdoverspanningsrichting de kortste overspanning maakt. Bij een grotere verhouding tussen de lengte en de breedte van de vloerplaat zal de vloer zich steeds meer als een vloer op twee steunpunten gedragen waarbij de kruislaag-richting weinig tot geen belasting opneemt en afdraagt. Dit kan gevolgen hebben voor aansluitende constructieve componenten. Zo kunnen liggers vrijwel niet belast worden, waardoor deze weggelaten kunnen worden.
- *Stijfheidsverhouding vezelrichting*: de krachtwerking van CLT-vloeren welke in twee richtingen afdragen hangt af van meerdere factoren. De stijfheid in de hoofdafdracht-richting (D_{11}) en in de kruislaag-richting (D_{22}) zijn het meest van belang. Hierbij gaat het voornamelijk om de verhouding tussen deze stijfheden. Zelfs bij vloeren met dezelfde hoogte kunnen de verschillen enorm zijn. Dit is afhankelijk van de laagopbouw. In de tabel hieronder staan twee vloer-opbouwen met beiden een hoogte van 100 mm.

Profiel	L-100/3s	L-100/5s
Opbouw	40-20-40	20-20-20-20-20
Verhouding richtingen	80/20	60/40
D11	909333	726000
D22	7333	190667
Verhouding stijfheden	124,0	3,8

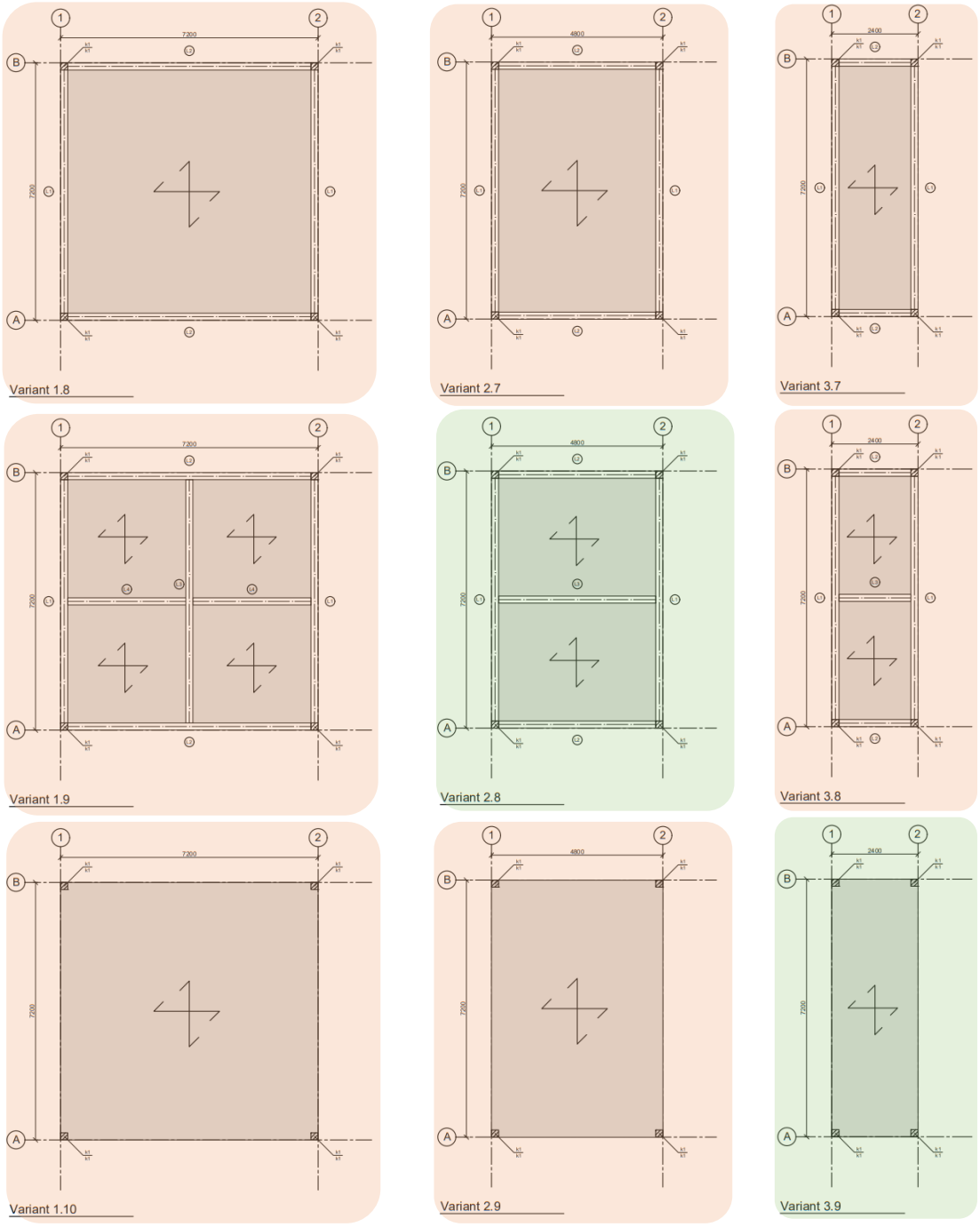
Tabel 12 – stijfheidsverschillen, (1).

Zoals te zien in bovenstaande tabel verschillen de stijfheidsverhoudingen enorm. Dit komt voornamelijk voor bij relatief dunne platen waarbij 3 lagen worden toegepast. Wanneer een CLT-vloer wordt ontworpen om in twee richtingen af te dragen, dient hier rekening mee gehouden te worden. Hierbij is een kleine verhouding tussen D_{11} en D_{22} gewenst. Over het algemeen geldt, hoe meer lagen (van dezelfde laaghoogte, zie L-100/5s), hoe kleiner de stijfheidsverhoudingen. Echter, dit kan leiden tot een grotere benodigde vloerhoogte doordat de hoofdafdracht-richting (D_{11}) hierdoor gereduceerd wordt.

- *Stijfheid overige constructieve componenten*: Bij de varianten welke statisch onbepaald zijn, zullen de stijfheden van de liggers en vloeren met elkaar samenwerken en zo de krachtafdracht onderling verdelen. Over het algemeen nemen stijve componenten meer belasting naar zich toe waardoor minder stijve componenten ontlast kunnen worden. Dit kan het vinden van de optimale dimensionering van de constructieve componenten lastig maken. Wanneer één element lichter wordt uitgevoerd, kan het hele krachtenspel veranderen. Dit kan ook invloed hebben op de werking van de in twee richtingen afdragende CLT-vloeren. Hierbij kan door middel van parametrisch ontwerpen een optimale dimensionering opleveren. Echter, in verband met de beschikbare tijd is dit niet verder uitgewerkt dan hierboven beschreven.

Overgebleven variant(en)

Aan de hand van bovenstaande onderzoeken is gebleken dat enkele varianten niet relevant zijn. Hier waren verschillende redenen voor, zie variantconclusies. In onderstaand overzicht staat vermeld welke varianten niet zijn afgevallen en wel meegenomen worden in de multicriteria-analyse:



Figuur 31 – Overzicht varianten in twee richting afdragend wel of niet meegenomen in MCA, (1).

6.0 Multicriteria-analyse

Om tot 'realistische' varianten te komen binnen het elementenconcept is een multicriteria-analyse opgesteld. De constructieve varianten inclusief materialisatie door constructieve toetsing worden getoetst op de onderstaande criteria:

- Kubieke meter hout per vierkante meter vloeroppervlakte (m³/m²)
  - Het aantal kubieke meters hout bestaat uit de vloerconstructiemogelijkheid + liggerconstructiemogelijkheid.
- Kostprijs materialisatie per vierkante meter vloeroppervlakte (€/m²)
  - Bij verschillende leveranciers zijn kostprijzen per kubieke meter materiaal opgevraagd. In verband met anonimiteit en het fluctueren van prijzen zijn deze bronnen niet vermeld. De volgende prijzen zijn aangehouden:
    - Liggerconstructie:
      - Gezaagd € 320,00 per m³
      - Glulam € 950,00 per m³
      - LVL € 725,00 per m³
    - Vloerconstructie
      - CLT: € 1200,00 per m³
      - Kerto Ripa € 900,00 per m³
      - Multiplex € 665,00 per m³
  - De kostprijs per vierkante meter vloeroppervlak bedraagt de vloerconstructiemogelijkheid + liggerconstructiemogelijkheid.
- Hoogte vloerconstructie
  - Per variant is bekeken wat de constructiehoogte bedraagt per variant in millimeter. De constructiehoogte bedraagt de vloerconstructiemogelijkheid + liggerconstructiemogelijkheid. Als het mogelijk is om binnen een variant de vloerconstructiemogelijkheid tussen de liggerconstructiemogelijkheid te plaatsen is de hoogte van de liggerconstructiemogelijkheid aangehouden als constructiehoogte.
- Hoeveelheid lijm in constructie (kilogram) per vierkante meter vloeroppervlakte (kg/m²)
  - De volgende lijmmassapercentages zijn aangehouden:
    - CLT 0,90% *(Storaenso & Holz & Funktion AG, p.2, z.d.)*
    - LVL en multiplex 6,00% *(Finnish Woodworking Industries, p.20, 2019)*
    - Glulam 2,00% *(De Groot Vroomshoop B.V., 2020)*
  - De volgende massa's zijn aangehouden (bron staat vermeld in Voorstudie zie bijlage: *1. Voorstudie* hoofdstuk 2):
    - CLT 500 kg/m³
    - LVL en multiplex 510 kg/m³
    - Glulam 415 kg/m³
  - De lijm hoeveelheid (massa in kilogram) per vierkante meter vloeroppervlak bedraagt de vloerconstructiemogelijkheid + liggerconstructiemogelijkheid.

De multicriteria-analyse is doormiddel van 2 stappen uitgevoerd

Gedurende de multicriteria-analyse is gebruik gemaakt van twee stappen. Deze hebben geresulteerd in onderstaande tabeltypes:

1. Totaaltabel: In de totaaltabel materialisatie (V1, V2 en V3) zijn per vloerconstructiemogelijkheid de vier criteria berekend, hierin is het gemiddelde van de liggerconstructies (gezaagd, Glulam en LVL) per variant meegenomen. Vervolgens is er een schaalverdeling toegekend per criteria. Hieruit volgt de eerste berekening van de multicriteria-analyse. Vanuit deze eerste berekening zijn de vier beste 'realistische' varianten toegepast bij stap 2.
2. Verdiepende tabel: In de verdiepende tabel materialisatie (V1, V2 en V3) is per vloerconstructiemogelijkheid en per liggerconstructiemogelijkheid de vier criteria berekend. Vervolgens is er een schaalverdeling toegekend per criteria. Hieruit volgt de tweede berekening van de multicriteria-analyse. Vanuit deze tweede berekening zijn de vier beste 'realistische' varianten toegekend die dienen als mogelijkheid voor het elementenconcept.

Scoren:

De scores worden door middel van een schaalverdeling van 10 stappen toegekend. De stappen worden verdeeld door middel van het verschil van de grootste waarde en de laagste waarde per criterium te bepalen en deze vervolgens te verdelen in 10 stappen. De wegingsfactoren worden door middel van een schaalverdeling van 5 stappen toegekend. De waarde van de wegingsfactor zijn naar rato van significantie en relevantie opgesteld. De varianten met ten hoogste totaalscore blijken het meest realistisch te zijn voor het elementenconcept.

Wegingscriteria

In onderstaande toelichting worden de toegepaste criteria vermeld en uitgelegd. De criteria krijgen een wegingsfactor toegekend binnen een schaalverdeling van 1 tot en met 5.

Kubieke meter hout per vierkante meter [in m^3/m^2]:

Efficiënt materiaal gebruik is op de kosten na de belangrijkste criterium voor deze variantenstudie. De hoeveelheid hout heeft invloed op vele criteria. Zo heeft het toepassen van een lage hoeveelheid hout een positieve invloed op de uitstoot van transport bewegingen en productie, minder ontbossing, meer bruikbaar gebouwinhoud en dit resulteert in lichter bouwen wat voordelig is voor de uitvoering en de fundatie. Houtconstructies zijn opzich zelf al duurzamer dan constructies in staal en/of beton door het minder uitstoten van CO_2 en door de opslag van CO_2. Het extra toepassen van een materiaal wat CO_2 opslaat waarbij dit geen constructieve voordelen heeft, is niet duurzaam ontwerpen. De varianten scoren hoger voor deze criterium wanneer een lage hoeveelheid hout per vierkante meter wordt toegepast.

Wegingsfactor: 4

Kostprijs per vierkante meter in €/m^2:

Vanuit het oogpunt van realiteit draait de bouwsector voornamelijk op kosten. Hierdoor is dit criterium zeer belangrijk. Voor de transitie in de bouw is een kosten efficiënte vernieuwing nodig om investeerders te stimuleren. Er wordt verwacht dat dit in de toekomst niet zal veranderen. Het kosten aantrekkelijk maken van duurzame bouwmethodieken kan veroorzaakt worden door een daling van de kosten voor deze methodiek of het stijgen van kosten voor niet duurzame bouwmethodieken door belastingen of regelgeving. Varianten met een lage kostprijs per vierkante meter zullen een relatief hoge score toegekend krijgen.

Wegingsfactor: 5

Vloer-constructie hoogte in mm:
Een hoge constructiehoogte zal een negatieve invloed hebben op de gevelkosten. Echter, de extra gevelkosten die worden veroorzaakt door een hoge constructiehoogte zullen relatief meevallen in vergelijking tot de levensduur van dit concept. Het concept wordt uitgevoerd tot 4 bouwlagen hoog, hierbij heeft de constructie hoogte en indirect de verdiepingshoogte minder invloed op de opbrengst en de bruikbaarheid van het gebouw. Bij hoogbouw is dit meer van belang omdat elke extra hoogte per bouwlaag kan lijden tot een groot hoogteverschil door het grote aantal bouwlagen. De vrijehoogte moet altijd aan de gestelde eisen voldoen. De varianten krijgen een hoge score toegekend voor dit criterium bij een lage constructiehoogte.

Wegingsfactor: 3

Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²:
Tot op heden zijn er vele ontwikkelingen binnen de lijmsoorten die toegepast worden. In de toekomst wordt verwacht dat er duurzamere lijmsoorten op de markt verschijnen waardoor deze criterium in de toekomst minder belangrijk is. Daarnaast heeft onderzoek uitgewezen dat niet biobased lijmsoorten schadelijk kunnen zijn voor mens en milieu. Echter, deze concentraties zijn dusdanig laag dat deze voldoen aan de wetgeving. Hierdoor heeft dit criteria een lage wegingsfactor. Echter, binnen de verschillende gemodificeerde houtsoorten zie je een groot verschil in lijmpercentage. Hoe minder percentage lijm hoe duurzamer de variant. Dit resulteert in een hogere score.

Wegingsfactor: 2

6.1 Totaaltabel materialisatie V1

Variant V1 7,2 x 7,2 m

V	Liggers t.	Ant.	L		Gezaagd b x h	Glulam b x h	LVL b x h	m³/m²	Vloeren soort	type	m³/m²	kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	kostprijs per vierkante meter in €/m²	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²
1.1	L1	2	7200	x	- x -	150 x 900	150 x 730	**0,034**	CLT	L- 300 /9s	**0,300**	**0,344**	**€ 397,21**	**815**	**2,166**
	L2	2	7200	x	- x -	72 x 500	75 x 480	**0,010**	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 37 - 5 x 51 x 400 (m)	**0,080**	**0,123**	**€ 108,76**	**815**	**0,816**
	L3				-			-	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 31 - 5 x 45 x 300 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,078**	**0,122**	**€ 99,61**	**815**	**0,816**
							Totaal	**0,044**	Houten balklaag	-	-	-	-	-	-
1.2	L1	2	7200	x	- x -	135 x 700	150 x 600	**0,026**	CLT	L- 160 /5s	**0,160**	**0,236**	**€ 241,84**	**800**	**2,114**
	L2	2	7200	x	- x -	150 x 900	150 x 700	**0,033**	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 31 - 5 x 45 x 200 (m)	**0,050**	**0,125**	**€ 108,88**	**800**	**2,917**
	L3	1	7200	x	- x -	150 x 900	150 x 700	**0,017**	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,058**	**0,134**	**€ 116,37**	**800**	**3,171**
							Totaal	**0,076**	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,050**	**0,125**	**€ 76,27**	**800**	**1,945**
1.3	L1	2	7200	x	- x -	150 x 600	75 x 750	**0,020**	CLT	L- 130 /5s	**0,130**	**0,207**	**€ 222,20**	**905**	**1,922**
	L2	2	7200	x	- x -	200 x 800	150 x 750	**0,038**	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	**0,044**	**0,121**	**€ 105,57**	**975**	**2,675**
	L3	1	7200	x	- x -	200 x 800	150 x 750	**0,019**	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,058**	**0,135**	**€ 118,45**	**988**	**3,113**
							Totaal	**0,077**	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,050**	**0,127**	**€ 78,36**	**1064**	**1,887**
1.4	L1	2	7200	x	- x -	115 x 600	75 x 650	**0,016**	CLT	L- 90 /s	**0,090**	**0,174**	**€ 179,18**	**900**	**1,934**
	L2	2	7200	x	- x -	200 x 800	150 x 820	**0,039**	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	**0,044**	**0,128**	**€ 110,56**	**1045**	**2,868**
	L3	2	7200	x	- x -	150 x 700	150 x 650	**0,028**	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 225 (m)	**0,038**	**0,121**	**€ 105,07**	**1023**	**1,529**
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,058**	**0,142**	**€ 123,44**	**1023**	**3,306**
							Totaal	**0,084**	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	**0,041**	**0,125**	**€ 98,32**	**1024**	**2,080**
1.5	L1	2	7200	x	- x -	115 x 600	75 x 650	**0,016**	CLT	L- 80 /3s	**0,080**	**0,185**	**€ 184,78**	**905**	**2,369**
	L2	2	7200	x	- x -	185 x 900	225 x 750	**0,047**	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	**0,044**	**0,149**	**€ 128,15**	**975**	**3,348**
	L3	2	7200	x	- x -	185 x 700	150 x 700	**0,033**	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	**0,036**	**0,141**	**€ 88,78**	**1038**	**2,009**
	L4	1	7200	x	- x -	115 x 700	75 x 750	**0,009**	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,058**	**0,163**	**€ 141,03**	**1038**	**3,499**
							Totaal	**0,105**	Houten balklaag	plaat 18 + 59 x 146 h.o.h. 610	**0,032**	**0,137**	**€ 100,83**	**989**	**2,560**
1.6	L1	2	7200	x	- x -	90 x 600	51 x 700	**0,012**	CLT	L- 80 /3s	**0,080**	**0,168**	**€ 170,27**	**855**	**2,054**
	L2	2	7200	x	- x -	200 x 800	225 x 750	**0,046**	Kerto Ripa T 5rib	-	-	-	-	-	-
	L3	2	7200	x	- x -	115 x 700	90 x 700	**0,020**	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	**0,036**	**0,124**	**€ 74,27**	**988**	**2,803**
	L4	1	7200	x	- x -	115 x 700	90 x 700	**0,010**	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,058**	**0,146**	**€ 126,53**	**988**	**3,470**
							Totaal	**0,088**	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,050**	**0,138**	**€ 86,44**	**1064**	**2,244**
1.7	L1	2	7200	x	- x -	115 x 600	75 x 630	**0,016**	CLT	L- 80 /3s	**0,080**	**0,162**	**€ 166,26**	**775**	**1,778**
	L2	2	7200	x	- x -	200 x 800	150 x 750	**0,038**	Kerto Ripa T 5rib	-	-	-	-	-	-
	L3	3	7200	x	- x -	135 x 600	75 x 700	**0,028**	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	**0,036**	**0,118**	**€ 102,89**	**775**	**3,194**
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,058**	**0,140**	**€ 122,52**	**775**	**3,194**
							Totaal	**0,082**	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 171 h.o.h. 610	**0,038**	**0,120**	**€ 82,36**	**775**	**1,968**
1.8	**Niet van toepassing**														
1.9	**Niet van toepassing**														
1.10	**Niet van toepassing**														

Tabel 13 –Totaaltabel materialisatie varianten 1., (1).

Multicriteria analyse varianten 1.

Criteria	Weging [1-5]	Variant	1.1						1.2							1.3							1.4							1.5							1.6							1.7						
			CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag	
kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	**4**		1	4	10	40	10	40	5	20	10	40	10	40	10	40	7	28	10	40	10	40	10	40	8	32	10	40	10	40	9	36	10	40	8	32	9	36	9	36	9	36	10	40	8	32	10	40	9	36	10	40	10	40	10	40
kostprijs per vierkante meter in €/m²	**5**		1	5	9	45	10	50	5	25	9	45	9	45	10	50	6	30	10	50	9	45	10	50	7	35	9	45	10	50	9	45	10	50	7	35	9	45	10	50	7	35	10	50	8	40	10	50	9	45	10	50	8	40	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	**3**		9	27	9	27	9	27	10	30	10	30	10	30	10	30	6	18	4	12	3	9	1	3	6	18	1	3	2	6	2	6	2	6	6	18	4	12	1	3	1	3	3	9	8	24	3	9	3	9	1	3	10	30	10	30	10	30	10	30
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	**2**		5	10	10	20	10	20	6	12	3	6	2	4	6	12	6	12	4	8	2	4	7	14	6	12	3	6	8	16	1	2	6	12	5	10	1	2	6	12	1	2	4	8	6	12	3	6	1	2	5	10	7	14	2	4	2	4	6	12
		Totaal:	**46**		**132**		**137**		**87**		**121**		**119**		**132**		**88**		**110**		**98**		**107**		**97**		**94**		**112**		**89**		**108**		**95**		**95**		**101**		**76**		**107**		**108**		**105**		**92**		**103**		**120**		**124**		**119**		**132**	

Tabel 14 –Multicriteria-analyse stap 1 van totaaltabel materialisatie varianten 1., (1).

Verdiepende tabel materialisatie V1

Variant V1 7,2 x 7,2 m												
	Liggers						Vloeren		kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	kostprijs per vierkante meter in €/m²	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²
V	t.	Ant.	L	x	afmetingen b x h		soort	type				
1.1 Glulam	L1	2	7200	x	150 x 900		Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 37 - 5 x 51 x 400 (m)	0,175	€ 116,68	900	2,827
	L2	2	7200	x	72 x 500		Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 31 - 5 x 45 x 300 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,173	€ 115,44	900	2,785
1.1 LVL	L1	2	7200	x	150 x 730		Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 37 - 5 x 51 x 400 (m)	0,160	€ 100,85	730	2,433
	L2	2	7200	x	75 x 480		Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 31 - 5 x 45 x 300 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,159	€ 99,61	730	2,391
1.2 Glulam	L1	2	7200	x	135 x 700		Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,196	€ 90,54	900	1,236
	L2	2	7200	x	150 x 900							
	L3	1	7200	x	150 x 900							
1.2 LVL	L1	2	7200	x	150 x 600		Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,172	€ 62,01	700	2,655
	L2	2	7200	x	150 x 700							
	L3	1	7200	x	150 x 700							
1.7 Glulam	L1	2	7200	x	115 x 600		Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 171 h.o.h. 610	0,266	€ 104,59	800	1,359
	L2	2	7200	x	200 x 800							
	L3	3	7200	x	135 x 600							
1.7 LVL	L1	2	7200	x	75 x 630		Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 171 h.o.h. 610	0,192	€ 60,12	750	2,578
	L2	2	7200	x	150 x 750							
	L3	3	7200	x	75 x 700							

Tabel 15 –Verdiepende tabel materialisatie varianten 1., (1).

Multicriteria analyse varianten 1.												
Variant		1.1				1.2		1.7				
Criteria	Weging [1-5]	Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		Houten balk-laag				
		Glulam		LVL		Glulam		LVL		Glulam		LVL	
kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	4	9	36	10	40	9	36	10	40	7	28	9	36	1	4	7	28
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	1	5	3	15	1	5	4	20	5	25	10	50	3	15	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	1	3	9	27	1	3	9	27	1	3	10	30	6	18	8	24
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	1	2	3	6	1	2	3	6	10	20	2	4	10	20	2	4
Totaal:		46		88		46		93		76		120		57		106	

Tabel 16 –Multicriteria-analyse stap 2 van verdiepende tabel materialisatie varianten 1., (1).

6.2 Totaaltabel materialisatie V2

Variant V2 7,2 x 4,8 m

V	t.	Ant.	L	Liggers Gezaagd b x h	Liggers Glulam b x h	Liggers LVL b x h	m³/m²	Vloeren soort	Vloeren type	m³/m²	m³/m² hout	kostprijs per vierkante meter in €/m²	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²
2.1	L1	2	7200 x	- x -	185 x 700	150 x 660	0,048	CLT	L- 220 /7s	0,220	0,275	€ 298,74	680	1,978
	L2	2	4800 x	- x -	90 x 300	75 x 320	0,007	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 300 (m)	0,053	0,108	€ 94,38	680	0,988
	L3				-		-	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,061	0,116	€ 101,35	680	0,988
						Totaal	0,055	Houten balklaag	-	-	-	-	-	-
2.2	L1	2	7200 x	- x -	185 x 700	150 x 600	0,046	CLT	L- 160 /5s	0,160	0,231	€ 235,86	650	1,982
	L2	2	4800 x	- x -	115 x 500	108 x 440	0,015	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 31 - 5 x 45 x 200 (m)	0,050	0,121	€ 105,26	650	2,785
	L3	1	4800 x	- x -	135 x 600	150 x 470	0,011	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,129	€ 112,75	650	3,039
						Totaal	0,071	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,050	0,120	€ 72,75	650	1,813
2.3	L1	2	7200 x	- x -	150 x 800	150 x 640	0,045	CLT	L- 130 /5s	0,130	0,200	€ 200,10	850	1,841
	L2	2	4800 x	- x -	115 x 500	75 x 500	0,013	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,113	€ 98,70	865	2,595
	L3	1	4800 x	- x -	150 x 600	150 x 500	0,011	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,128	€ 111,58	933	3,033
						Totaal	0,070	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,050	0,119	€ 71,59	1009	1,807
2.4	L1	2	7200 x	- x -	185 x 700	150 x 720	0,049	CLT	L- 90 /3s	0,090	0,169	€ 160,11	800	1,859
	L2	2	4800 x	- x -	115 x 400	75 x 430	0,011	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,122	€ 106,04	945	2,793
	L3	2	4800 x	- x -	135 x 500	150 x 430	0,018	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 225 (m)	0,038	0,116	€ 100,55	923	2,607
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,137	€ 118,92	923	3,231
						Totaal	0,079	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	0,041	0,119	€ 78,84	924	2,005
2.5	L1	2	7200 x	- x -	185 x 700	207 x 600	0,053	CLT	L- 80 /3s	0,080	0,161	€ 151,04	730	1,879
	L2	2	4800 x	- x -	90 x 400	75 x 410	0,009	Kerto Ripa T 5rib	-	-	-	-	-	-
	L3	2	4800 x	- x -	115 x 500	75 x 500	0,013	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	0,036	0,117	€ 101,08	863	2,628
	L4	1	4800 x	- x -	90 x 500	75 x 500	0,006	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,139	€ 120,71	863	3,296
						Totaal	0,081	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,050	0,131	€ 80,72	939	2,070
2.6	L1	2	7200 x	- x -	150 x 800	225 x 750	0,060	CLT	L- 80 /3s	0,080	0,175	€ 168,27	855	2,258
	L2	2	4800 x	- x -	115 x 400	75 x 440	0,011	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,139	€ 118,23	975	3,237
	L3	2	4800 x	- x -	115 x 600	108 x 500	0,017	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	0,036	0,131	€ 111,48	1038	3,008
	L4	1	4800 x	- x -	115 x 500	75 x 500	0,007	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 200 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,063	0,158	€ 135,33	1038	3,819
						Totaal	0,095	Houten balklaag	plaat 18 + 59 x 146 h.o.h. 610	0,032	0,127	€ 90,95	939	2,449
2.7	Niet van toepassing													
2.8	L1	2	7200 x	- x -	150 x 700	150 x 650	0,042	CLT	L- 160 /5s	0,160	0,221	€ 236,26	675	1,910
	L2	2	4800 x	- x -	72 x 500	75 x 480	0,010	Kerto Ripa T 5rib	-	-	-	-	-	-
	L3	1	4800 x	x	115 x 500	150 x 500	0,009	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	-	-	-	-	-	-
						Totaal	0,061	Houten balklaag	-	-	-	-	-	-
2.9	Niet van toepassing													
2.10	L1	2	7200 x	- x -	72 x 500	75 x 480	0,015	CLT	L- 300 /9s	0,300	0,338	€ 385,98	550	2,064
	L2	2	4800 x	- x -	150 x 600	150 x 500	0,023	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 37 - 5 x 51 x 400 (m)	0,080	0,117	€ 103,54	550	3,147
	L3				-		-	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 31 - 5 x 45 x 300 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,078	0,116	€ 102,30	550	3,105
						Totaal	0,038	Houten balklaag	-	-	-	-	-	-
2.11	L1	2	7200 x	- x -	135 x 600	108 x 600	0,030	CLT	L- 100 /3s	0,100	0,172	€ 166,45	650	1,761
	L2	2	4800 x	- x -	135 x 700	108 x 600	0,022	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,116	€ 100,45	650	2,650
	L3	1	7200 x	- x -	135 x 700	150 x 610	0,019	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-		-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,061	0,133	€ 115,86	650	3,174
						Totaal	0,072	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	0,041	0,113	€ 73,26	650	1,862

Tabel 17 –Totaaltabel materialisatie varianten 2., (1).

Multicriteria analyse varianten 2.

Variant		2.1						2.2								2.3							
Criteria	Weging [1-5]	CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag	
kubieke meter hout per vierkante meter in m^3/m^2	4	3	12	10	40	10	40	5	20	10	40	10	40	10	40	6	24	10	40	10	40	10	40
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	3	15	10	50	10	50	5	25	9	45	9	45	10	50	6	30	10	50	9	45	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	4	12	4	12	3	9	1	3
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	7	14	10	20	10	20	7	14	4	8	3	6	8	16	7	14	5	10	3	6	8	16
Totaal:		65		134		134		83		117		115		130		80		112		100		109	

Variant		2.4										2.5							
Criteria	Weging [1-5]	CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag	
kubieke meter hout per vierkante meter in m^3/m^2	4	8	32	10	40	10	40	9	36	9	36	8	32	10	40	9	36	10	40
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	8	40	9	45	10	50	9	45	9	45	8	40	10	50	9	45	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	5	15	2	6	3	9	3	9	3	9	7	21	4	12	4	12	3	9
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	7	14	4	8	5	10	3	6	7	14	7	14	5	10	2	4	7	14
Totaal:		101		99		109		96		104		107		112		97		113	

Variant		2.6										2.8		2.10						2.11							
Criteria	Weging [1-5]	CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag	
kubieke meter hout per vierkante meter in m^3/m^2	4	8	32	10	40	10	40	8	32	10	40	6	24	1	4	10	40	10	40	8	32	10	40	9	36	10	40
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	7	35	10	50	10	50	8	40	10	50	5	25	1	5	9	45	10	50	7	35	10	50	9	45	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	4	12	2	6	1	3	1	3	3	9	8	24	10	30	10	30	10	30	8	24	8	24	8	24	8	24
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	6	12	3	6	3	6	1	2	5	10	7	14	7	14	3	6	3	6	8	16	5	10	3	6	7	14
Totaal:		91		102		99		77		109		87		53		121		126		107		124		111		128	

Tabel 18 –Multicriteria-analyse stap 1 van totaaltabel materialisatie varianten 2., (1).

Verdiepende tabel materialisatie V2

Variant V2 7,2 x 4,8 m												
	Liggers					Vloeren		kubieke meter hout per vierkante meter in m^3/m^2	kostprijs per vierkante meter in €/m^2	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m^2
V	t.	Ant.	L	x	afmetingen b x h	soort	type				
2.1 Glulam	L1	2	7200	x	185 x 700	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 300 (m)	**0,176**	**€ 106,20**	**700**	**2,136**
	L2	2	4800	x	90 x 300	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,184**	**€ 113,17**	**700**	**2,373**
2.1 LVL	L1	2	7200	x	150 x 660	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 300 (m)	**0,149**	**€ 82,55**	**660**	**1,626**
	L2	2	4800	x	75 x 320	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,157**	**€ 89,53**	**660**	**1,863**
2.2 Glulam	L1	2	7200	x	185 x 700	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,201**	**€ 89,38**	**700**	**1,225**
	L2	2	4800	x	115 x 500						
	L3	1	4800	x	135 x 600						
2.2 LVL	L1	2	7200	x	150 x 600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,161**	**€ 56,12**	**600**	**2,402**
	L2	2	4800	x	108 x 440						
	L3	1	4800	x	150 x 470						
2.11 Glulam	L1	2	7200	x	135 x 600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	**0,181**	**€ 87,88**	**700**	**1,212**
	L2	2	4800	x	135 x 700						
	L3	1	7200	x	135 x 700						
2.11 LVL	L1	2	7200	x	108 x 600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	**0,150**	**€ 58,63**	**600**	**2,511**
	L2	2	4800	x	108 x 600						
	L3	1	7200	x	150 x 610						

Tabel 19 –Verdiepende tabel materialisatie varianten 2., (1).

Multicriteria analyse varianten 2.																
Variant		**2.1**								**2.2**				**2.11**			
Criteria	**Weging [1-5]**	Kerto Ripa T 5rib				Kerto Ripa O.B.				Houten balk-laag				Houten balk-laag			
		Glulam		LVL		Glulam		LVL		Glulam		LVL		Glulam		LVL	
kubieke meter hout per vierkante meter in m^3/m^2	**4**	5	20	10	40	4	16	9	36	1	4	7	28	4	16	10	40
kostprijs per vierkante meter in €/m^2	**5**	2	10	6	30	1	5	5	25	5	25	10	50	5	25	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	**3**	1	3	5	15	1	3	5	15	1	3	10	30	1	3	10	30
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m^2	**2**	3	6	7	14	2	4	6	12	10	20	1	2	10	20	1	2
	Totaal:	**39**		**99**		**28**		**88**		**52**		**110**		**64**		**122**	

Tabel 20 –Multicriteria-analyse stap 2 van verdiepende tabel materialisatie varianten 2., (1).

6.3 Totaaltabel materialisatie V3

Variant V3 7,2 x 2,4 m

V	Liggers: t.	Ant.	L	x	Gezaagd b x h	Glulam b x h	LVL b x h	m³/m²	Vloeren: soort	type	m³/m²	m³/m² hout	kostprijs per vierkante meter in €/m²	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²
3.1	L1	2	7200	x	- x -	135 x 600	150 x 530	0,067	CLT	L- 100 /3s	0,100	0,170	€ 178,51	565	2,312
	L2	2	2400	x	71 x 171	72 x 200	75 x 160	0,004	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,114	€ 97,89	565	3,201
	L3				-			-	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,061	0,131	€ 113,30	565	3,725
							Totaal	0,070	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	0,041	0,111	€ 70,90	565	2,413
3.2	L1	2	7200	x	- x -	135 x 600	150 x 520	0,066	CLT	L- 160 /5s	0,160	0,236	€ 230,10	560	4,273
	L2	2	2400	x	- x -	72 x 300	75 x 250	0,006	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 31 - 5 x 45 x 200 (m)	0,050	0,125	€ 82,87	560	5,075
	L3	1	2400	x	- x -	72 x 400	75 x 340	0,004	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,134	€ 90,35	560	5,330
							Totaal	0,076	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,050	0,125	€ 50,65	560	4,104
3.3	L1	2	7200	x	- x -	150 x 600	150 x 540	0,071	CLT	L- 130 /5s	0,130	0,217	€ 203,91	700	5,098
	L2	2	2400	x	142 x 246	72 x 300	75 x 250	0,007	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,131	€ 87,28	765	5,852
	L3	2	2400	x	- x -	90 x 400	75 x 400	0,009	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,145	€ 100,16	783	6,290
							Totaal	0,087	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,050	0,137	€ 60,46	859	5,064
3.4	L1	2	7200	x	- x -	135 x 600	150 x 600	0,071	CLT	L- 90 /3s	0,090	0,170	€ 149,51	690	3,766
	L2	2	2400	x	71 x 271	72 x 250	75 x 220	0,005	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,123	€ 80,88	825	4,700
	L3	1	2400	x	- x -	90 x 300	75 x 300	0,003	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 225 (m)	0,038	0,117	€ 75,40	813	4,513
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,138	€ 93,76	813	5,138
							Totaal	0,080	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	0,041	0,120	€ 53,90	814	3,912
3.5	L1	2	7200	x	- x -	135 x 600	207 x 600	0,086	CLT	L- 80 /3s	0,080	0,180	€ 138,79	680	4,757
	L2	2	2400	x	142 x 196	72 x 250	75 x 210	0,006	Kerto Ripa T 5rib	-	-	-	-	-	-
	L3	2	2400	x	- x -	72 x 300	75 x 250	0,006	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	0,036	0,137	€ 75,42	813	5,507
	L4	1	2400	x	142 x 246	72 x 300	75 x 250	0,003	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,158	€ 95,05	813	6,174
							Totaal	0,100	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,050	0,150	€ 55,35	889	4,948
3.6	L1	2	7200	x	- x -	150 x 600	150 x 600	0,075	CLT	L- 80 /3s	0,080	0,170	€ 144,00	680	4,969
	L2	2	2400	x	142 x 196	72 x 250	75 x 220	0,006	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,044	0,134	€ 87,38	825	5,948
	L3	2	2400	x	x	72 x 400	75 x 280	0,007	Kerto Ripa T 3rib	KRT-2400x 25 - 3 x 45 x 200 (m)	0,036	0,127	€ 80,63	813	5,718
	L4	1	2400	x	x	72 x 300	75 x 250	0,003	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 150 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,058	0,149	€ 100,26	813	6,385
							Totaal	0,090	Houten balklaag	plaat 18 + 59 x 146 h.o.h. 610	0,032	0,123	€ 60,24	764	5,160
3.7	Niet van toepassing														
3.8	Niet van toepassing														
3.9	L1				-			-	CLT	LL- 360 /9s	0,360	0,360	€ 432,00	360	1,620
	L2				-			-	Kerto Ripa T 5rib	-	-	-	-	-	-
	L3				-			-	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	-	-	-	-	-	-
							Totaal	-	Houten balklaag	-	-	-	-	-	-
3.10	L1	2	7200	x	- x -	72 x 500	150 x 400	0,040	CLT	LL- 300 /9s	0,300	0,349	€ 400,15	450	4,442
	L2	2	2400	x	- x -	90 x 400	75 x 400	0,009	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 37 - 5 x 51 x 400 (m)	0,080	0,129	€ 111,70	450	5,525
	L3				-			-	Kerto Ripa T 3rib	-	-	-	-	-	-
	L4				-			-	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 31 - 5 x 45 x 300 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,078	0,127	€ 110,46	450	5,483
							Totaal	0,049	Houten balklaag	-	-	-	-	-	-

Tabel 21 –Totaaltabel materialisatie varianten 3., (1).

Multicriteria analyse varianten 3.

Variant		3.1								3.2								3.3							
Criteria	Weging [1-5]	CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag	
kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	4	8	32	10	40	10	40	10	40	6	24	10	40	10	40	10	40	6	24	10	40	9	36	9	36
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	7	35	9	45	9	45	10	50	6	30	10	50	9	45	10	50	6	30	10	50	9	45	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	7	21	7	21	7	21	7	21	7	21	7	21	7	21	7	21	4	12	3	9	3	9	1	3
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	9	18	7	14	6	12	9	18	5	10	3	6	3	6	5	10	3	6	2	4	1	2	3	6
Totaal:		106		120		118		129		85		117		112		121		72		103		92		95	

Variant		3.4										3.5							
Criteria	Weging [1-5]	CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag	
kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	4	8	32	10	40	10	40	9	36	10	40	8	32	9	36	9	36	9	36
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	8	40	10	50	10	50	9	45	10	50	8	40	10	50	9	45	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	4	12	2	6	2	6	2	6	2	6	4	12	2	6	2	6	1	3
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	6	12	4	8	4	8	3	6	6	12	4	8	3	6	2	4	4	8
Totaal:		96		104		104		93		108		92		98		91		97	

Variant		3.6										3.9		3.10					
Criteria	Weging [1-5]	CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa T 3rib		Kerto Ripa O.B.		Houten balk-laag		CLT		CLT		Kerto Ripa T 5rib		Kerto Ripa O.B.	
kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	4	8	32	10	40	10	40	9	36	10	40	1	4	1	4	10	40	10	40
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	8	40	10	50	10	50	9	45	10	50	1	5	1	5	9	45	9	45
Vloer-constructie hoogte in mm	3	4	12	2	6	2	6	2	6	3	9	10	30	9	27	9	27	9	27
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	3	6	1	2	2	4	1	2	3	6	10	20	5	10	2	4	2	4
Totaal:		90		98		100		89		105		59		46		116		116	

Tabel 22 –Multicriteria-analyse stap 1 van totaaltabel materialisatie varianten 3., (1).

Verdiepende tabel materialisatie V3

Variant V3 7,2 x 2,4 m												
	Liggers						Vloeren		kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	kostprijs per vierkante meter in €/m²	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²
V	t.	Ant.	L	x	afmetingen b x h		soort	type				
3.1 Glulam	L1	2	7200	x	135 x 600		Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,187	€ 107,30	600	1,932
	L2	2	2400	x	72 x 200		Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,204	€ 122,71	600	2,456
							Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	0,176	€ 80,32	600	1,144
3.1 LVL	L1	2	7200	x	150 x 530		Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	0,176	€ 89,82	530	2,894
	L2	2	2400	x	75 x 160		Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	0,200	€ 105,24	530	3,992
							Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	0,173	€ 62,84	530	2,680
3.2 Glulam	L1	2	7200	x	135 x 600		Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,201	€ 86,18	600	1,194
	L2	2	2400	x	72 x 300							
	L3	1	2400	x	72 x 400							
3.2 LVL	L1	2	7200	x	150 x 520		Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	0,194	€ 66,02	520	2,808
	L2	2	2400	x	75 x 250							
	L3	1	2400	x	75 x 340							

Tabel 23 –Verdiepende tabel materialisatie varianten 3., (1).

Multicriteria analyse varianten 3.																
Variant		3.1												3.2		
Criteria	Weging [1-5]	Kerto Ripa T 5rib				Kerto Ripa O.B.				Houten balk-laag				Houten balk-laag		
		Glulam		LVL		Glulam		LVL		Glulam		LVL		Glulam		LVL
kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	4	6	24	10	40	1	4	2	8	10	40	10	40	1	4	4	16
kostprijs per vierkante meter in €/m²	5	3	15	6	30	1	5	3	15	8	40	10	50	7	35	10	50
Vloer-constructie hoogte in mm	3	1	3	9	27	1	3	9	27	1	3	9	27	1	3	10	30
Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²	2	8	16	4	8	6	12	1	2	10	20	5	10	10	20	5	10
Totaal:		58		105		24		52		103		127		62		106	

Tabel 24 –Multicriteria-analyse stap 2 van verdiepende tabel materialisatie varianten 3., (1).

6.4 Realistische varianten

Vanuit de multicriteria-analyse zijn de hieronder aangegeven realistische varianten toepasbaar voor het elementenconcept:

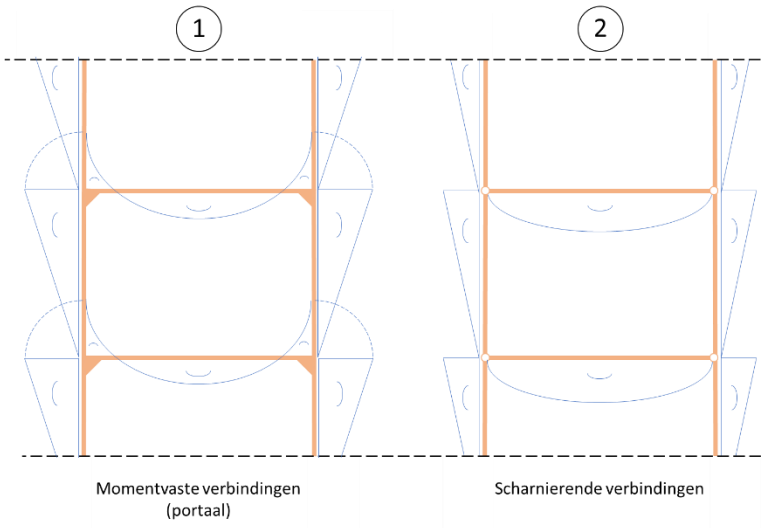
Realistische' varianten															
	Liggers							Vloeren		kubieke meter hout per vierkante meter in m³/m²	kostprijs per vierkante meter in €/m²	Vloer-constructie hoogte in mm	Lijm hoeveelheid per variant in kg/m²
					afmetingen								
V	t.	Ant.	L	x	b	x	h	soort	type				
Varianten 1. 7,2 x 7,2 m													
1.1 LVL	L1	2	7200	x	150	x	730	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 37 - 5 x 51 x 400 (m)	**0,160**	**€ 100,85**	**730**	**2,433**
	L2	2	7200	x	75	x	480	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 31 - 5 x 45 x 300 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,159**	**€ 99,61**	**730**	**2,391**
1.2 LVL	L1	2	7200	x	150	x	600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,172**	**€ 62,01**	**700**	**2,655**
	L2	2	7200	x	150	x	700						
	L3	1	7200	x	150	x	700						
1.7 LVL	L1	2	7200	x	75	x	630	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 171 h.o.h. 610	**0,192**	**€ 60,12**	**750**	**2,578**
	L2	2	7200	x	150	x	750						
	L3	3	7200	x	75	x	700						
Varianten 2. 4,8 x 7,2 m													
2.1 LVL	L1	2	7200	x	150	x	660	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 300 (m)	**0,149**	**€ 82,55**	**660**	**1,626**
	L2	2	4800	x	75	x	320	Kerto Ripa O.B.	KRO-2400x 25 - 5 x 45 x 180 - 5 x 150 / 300 x 38 (m)	**0,157**	**€ 89,53**	**660**	**1,863**
2.2 LVL	L1	2	7200	x	150	x	600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,161**	**€ 56,12**	**600**	**2,402**
	L2	2	4800	x	108	x	440						
	L3	1	4800	x	150	x	470						
2.11 LVL	L1	2	7200	x	108	x	600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	**0,150**	**€ 58,63**	**600**	**2,511**
	L2	2	4800	x	108	x	600						
	L3	1	7200	x	150	x	610						
Varianten 3. 2,4 x 7,2 m													
3.1 Glulam	L1	2	7200	x	135	x	600	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	**0,176**	**€ 80,32**	**600**	**1,144**
	L2	2	2400	x	72	x	200						
3.1 LVL	L1	2	7200	x	150	x	530	Kerto Ripa T 5rib	KRT-2400x 25 - 5 x 45 x 200 (m)	**0,176**	**€ 89,82**	**530**	**2,894**
	L2	2	2400	x	75	x	160	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 196 h.o.h. 610	**0,173**	**€ 62,84**	**530**	**2,680**
3.2 LVL	L1	2	7200	x	150	x	520	Houten balklaag	plaat 18 + 71 x 271 h.o.h. 610	**0,194**	**€ 66,02**	**520**	**2,808**
	L2	2	2400	x	75	x	250						
	L3	1	2400	x	75	x	340						

Tabel 25 –Overzicht realistische varianten, (1).

De hierboven weergegeven varianten dienen als basis voor de kolomberekeningen, verbindingen en sparingsmogelijkheden.

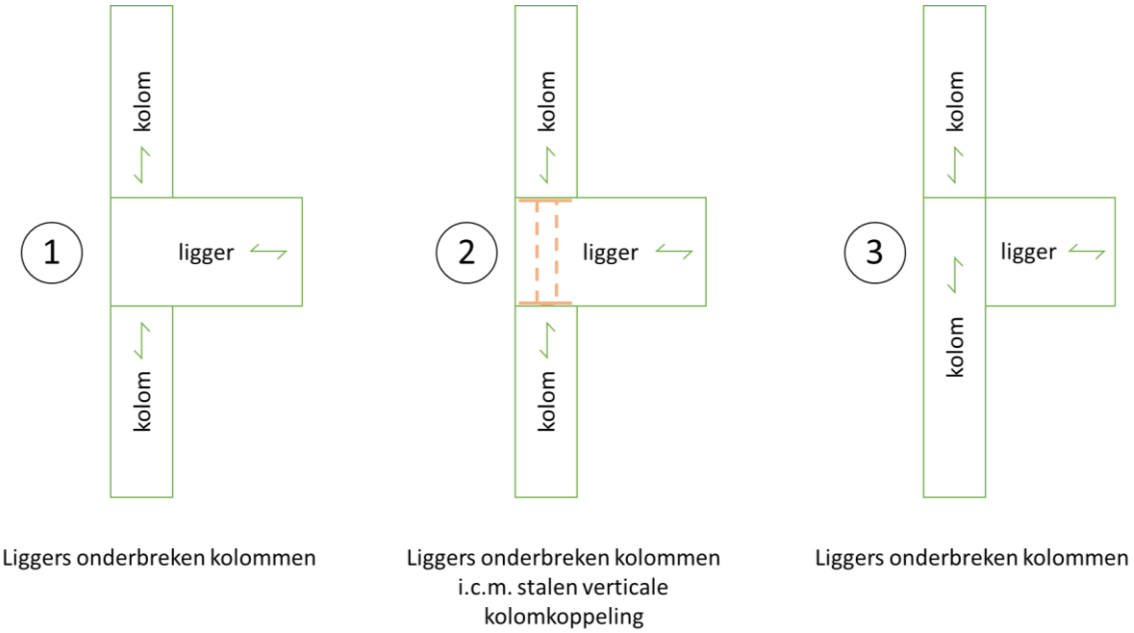
7.0 Kolommen

De aansluiting van ligger op kolom heeft invloed op de momentenlijn en daarmee de dimensionering. In de hiernaast weergegeven afbeelding staan twee situaties met bijbehorende momentenlijnen geschetst. Om grote momenten in de kolommen te voorkomen (t.b.v. vrij-indeelbaarheid) is gekozen voor situatie 2, waarbij de liggers scharnierend zijn opgelegd op of tussen de kolommen. Tevens hoeven de kolommen en liggers niet al portalen te werken omdat de stabiliteit uit wanden of windverbanden kan worden gehaald.



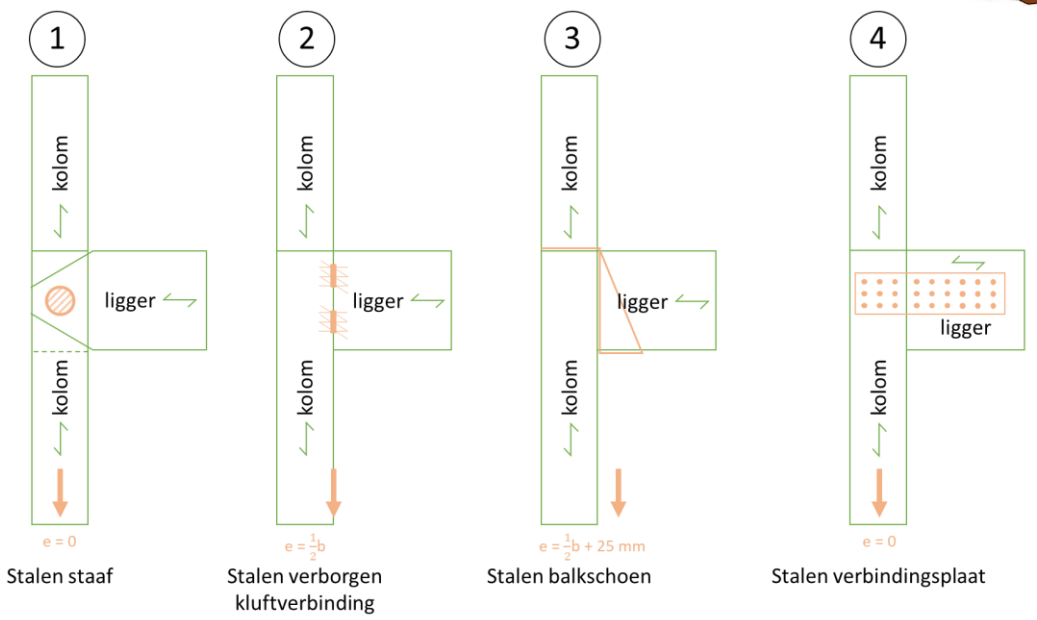
Figuur 32 –Weergave momentenlijnen, (1).

Excentriciteit: Echter, enig moment zal optreden door een excentriciteit van de kracht aangrijpend op de kolom. De excentriciteit welke aangehouden dient te worden bij de kolomberekening hangt af van de detaillering van de kolom-ligger aansluiting. Tijdens het ontwerp en dimensioneringsproces zijn drie aansluitmogelijkheden geschetst, zie hieronder.



Figuur 33 –Stapelingsmogelijkheden kolom-ligger, (1).

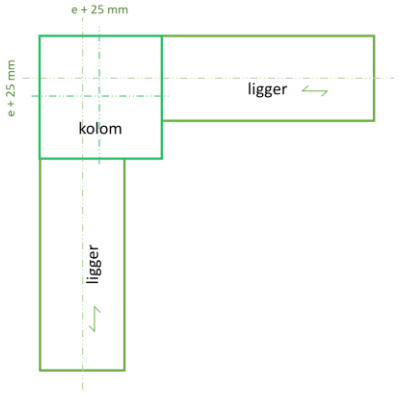
Aan de hand van webinars en onderzoek is gebleken dat hout slecht druk loodrecht op de vezel op kan nemen. Met deze reden wordt variant 1 vermeden, de ligger wordt in deze situatie als een 'spons' in elkaar gedrukt. Variant 2 en 3 zijn wel toepasbaar. In onderstaand overzicht wordt aan de hand van schetsen gekeken naar de aan te houden excentriciteit voor de kolomberekening. Deze schetsen zijn deelvarianten van variant 3. De excentriciteit bij variant 2 is tevens 0 mm.



Figuur 34 –Verbindingsmogelijkheden kolom-ligger, (1).

In bovenstaande schetsen is te zien dat de aan te houden excentriciteit beïnvloed wordt door de manier van detailleren. Voor een veilige aanname wordt de excentriciteit van variant 3 (e = $\frac{1}{2}$b + 25 mm) aangehouden. Deze excentriciteit geldt niet voor de gehele belasting maar alleen voor de reactiekracht van de aansluitende ligger. De kracht uit bovenstaande kolommen wordt als perfect verticaal beschouwd waarbij geen excentriciteit wordt aangehouden.

Nu de excentriciteit in het aanzicht is bepaald, dient de excentriciteit van bovenaf te worden beschouwd. Uit concept berekening is namelijk gebleken dat de kolommen een grotere dimensie zullen krijgen dan de aansluitende liggers. In de hiernaast gelegen afbeelding is te zien dat een extra excentriciteit optreedt door de asymmetrische aansluiting van ligger aan kolom. Als schatting is een extra excentriciteit van 25 mm aangehouden. In totaal zal de aan te houden excentriciteit bij de kolomberekening e = $\frac{1}{2}$b + 50 mm bij de kracht uit de aansluitende ligger en e = 0 voor de kracht uit bovenstaande kolommen zijn. Het hierdoor optredende moment dient getoetst te worden in de berekening.



Figuur 35 –Excentriciteit kolom-ligger, (1).

De aan te houden belasting op de kolommen is bepaald door een maximale belasting van 4x de verdiepingsvloer. Hierbij is rekening gehouden met de reductie van variabele belastingen door de meerdere bouwlagen. Voor de dakbelasting is een aparte belastingaanname aangehouden, zie bijlage 6: *Eisen functie-flexibel bouwen*.

De constructieve berekeningen zijn terug te lezen in bijlage:

- Bijlage 1: *Constructieve uitwerking variant 1*
- Bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2*
- Bijlage 3: *Constructieve uitwerking variant 3*

7.1 Rekenprogrammatuur verifiëren Qec

Rekenprogramma:

De kolommen van de varianten zijn met behulp van Qec software berekend. Voor het toepassen van dit programma is eerst een verificatie gemaakt door middel van een handberekening. De kolom die is geverifieerd is kolom 1 van variant 1.1 uitgevoerd in Glulam. Hieronder is een afbeelding weergegeven van de invoertoepassing van Qec in combinatie met de Unity Checks (U.C.).

6,19	$\frac{\sigma^2_{c;0;d}}{f^2_{c;0;d}}$	+	$\frac{\sigma_{m;y;d}}{f_{m;y;d}}$	+	k_m	$\frac{\sigma_{m;z;d}}{f_{m;z;d}}$	=	$\frac{6,29^2}{15,36^2}$	+	$\frac{7,87}{19,21}$	+	0,70	$\frac{0,93}{19,21}$	=	n.v.t.			
6.20	$\frac{\sigma^2_{c;0;d}}{f^2_{c;0;d}}$	+	k_m	$\frac{\sigma_{m;y;d}}{f_{m;y;d}}$	+	$\frac{\sigma_{m;z;d}}{f_{m;z;d}}$	=	$\frac{6,29^2}{15,36^2}$	+	0,7	$\frac{7,87}{19,21}$	+	$\frac{0,93}{19,21}$	=	n.v.t.			
6,23	$\frac{\sigma_{c;0;d}}{k_{c;y} \quad f_{c;0;d}}$	+	$\frac{\sigma_{m;y;d}}{f_{m;y;d}}$	+	k_m	$\frac{\sigma_{m;z;d}=}{f_{m;z;d}}$	0,91	$\frac{6,29}{15,36}$	+	$\frac{7,87}{19,21}$	+	0,7	$\frac{0,93}{19,21}$	=	0,89			
6,24	$\frac{\sigma_{c;0;d}}{k_{c;z} \quad f_{c;0;d}}$	+	k_m	$\frac{\sigma_{m;y;d}}{f_{m;y;d}}$	+	$\frac{\sigma_{m;z;d}=}{f_{m;z;d}}$	0,91	$\frac{6,29}{15,36}$	+	0,7	$\frac{7,87}{19,21}$	+	$\frac{0,93}{19,21}$	=	0,79			

Figuur 36 – Rekenvoorbeeld Qec kolom K1 V1.1, overgenomen uit software Qec, van Swaay, Mom & Wouters, 2021.

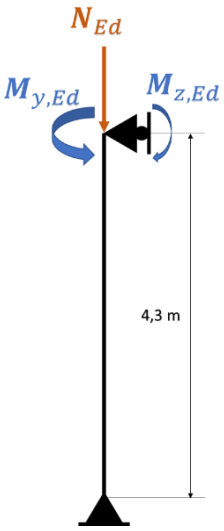
Belastingen:

$N_{Ed} = 556\ kN$

$M_{y,Ed} = 35{,}4\ kNm$

$M_{y,Ed} = 4{,}2\ kNm$

Situatie:



Figuur 37 – Mechanica schema kolom K1 V1.1, (1).

Profielschatting:

A.d.h.v. drukspanning → $f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,d}}{\gamma_m} = \frac{0{,}8*24}{1{,}25} = 15{,}36\ N/mm^2$

$A_{geschat} = \frac{N_{Ed}}{f_{c,0,d}} = \frac{556.000}{15{,}36} = 36.849\ \text{mm}^2 \rightarrow \sqrt{36.849} = 192\ \text{mm}$

Door het moment en het knikgedrag wordt het geschatte profiel vermenigvuldigd met een factor 1,5. Dit resulteert in een geschat profiel van 300x300 mm in GL28c.

Doorsnedeeigenschappen:

$L_{\text{buc,y}} = L_{\text{buc,z}} = 4300\ \text{mm}$ A: 300x300 $= 90.000\ \text{mm}^2$

$E_{0,05} = 10200\ N/mm^2$

$W_y = W_z = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}300^3 = 4.500 * 10^3 \text{mm}^3$

$I_y = I_z = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}300^4 = 67.500 * 104\ mm^4$ $\quad i_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{67.500*10^4}{90.000}} = 86{,}6\ mm$

$k_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{67.500*10^4}{90.000}} = 86{,}6\ mm$ $\quad \lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{buc}}{i_{y/z}} = \frac{4300}{86{,}6} = 49{,}7$

$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{buc}}{i_{y/z}} = \frac{4300}{86{,}6} = 49{,}7$ $\quad \lambda_{\text{rel,y}} = \lambda_{\text{rel,z}} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = \frac{49{,}7}{\pi} * \sqrt{\frac{24{,}0}{10200}} = 0{,}767$

$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_{y,z} + \sqrt{k^2_{y,z} - \lambda^2_{\text{rel,y,z}}}} = \frac{1}{0{,}82 + \sqrt{0{,}82^2 - 0{,}767^2}} = 0{,}90$

$k_y = k_y = 0{,}5\left(1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel,y,z}} - 0{,}3) + \lambda^2_{\text{rel,y,z}}\right) = 0{,}5\ (1 + 0{,}1(0{,}767 - 0{,}3) + 0{,}767^2 = 0{,}82$

$\beta_c = 0{,}1$ (gelamineerd)

$k_h = (\frac{600}{h})^{0,1} = (\frac{600}{300})^{0,1} = 1{,}07$ $\quad k_m = 0{,}7$ (rechthoekige doorsnede)

Materiaaleigenschappen:

$f_{m,k} = 28\ N/mm^2$ $f_{c,0,k} = 24\ N/mm^2$ $E_{0,05} = 10200\ N/mm^2$

$k_{mod} = 0{,}8$ $k_{def} = 0{,}7$ $\gamma_m = 1{,}25$

Spanningen:

Optredend:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{566.000}{90.000} = 6{,}29\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{35{,}4*10^6}{4.500*10^4} = 7{,}87\ N/mm^2 \qquad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{4{,}2*10^6}{4.500*10^4} = 0{,}93\ N/mm^2$$

Capaciteit:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod}*f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0{,}8*24}{1{,}25} = 15{,}36\ N/mm^2 \qquad f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = \frac{k_{mod}*f_{m,k}}{\gamma_m} * k_h = \frac{0{,}8*28}{1{,}25} * 1{,}07 = 19{,}21\ N/mm^2$$

U.C.

Het profiel wordt getoetst op een gecombineerde spanning afkomstig van de N_{Ed} en de $M_{y/z,Ed}$. Voor het toetsen van het profiel worden twee van de twee onderstaande formules toegepast. Welke gebruikt dienen te worden hangt af van de $\lambda_{rel,y}$ en $\lambda_{rel,z}$.

Indien $\lambda_{rel,y/z} \leq 0{,}3$ dienen formule *6.19* en *6.20* toegepast te worden.

Formule 6.19:

$$\text{U.C.} = \frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1{,}00$$

Formule 6.20:

$$\text{U.C.} = \frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1{,}00$$

Indien $\lambda_{rel,y/z} > 0{,}3$ dienen formule *6.23* en *6.24* toegepast te worden.
$\lambda_{rel,y/z} = 0{,}767$ → *6.23* en *6.24* toepassen.

Formule 6.23:

$$\text{U.C.} = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}*f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1{,}00 \rightarrow \frac{6{,}29}{0{,}91*15{,}36} + \frac{7{,}87}{19{,}21} + 0{,}7 * \frac{0{,}93}{19{,}21} = 0{,}90 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Formule 6.24:

$$\text{U.C.} = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1{,}00 \rightarrow \frac{6{,}29}{0{,}91*15{,}36} + 0{,}7 * \frac{7{,}87}{19{,}21} + \frac{0{,}93}{19{,}21} = 0{,}79 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Controle

Hieronder zijn de U.C. weergegeven van de rekenprogrammatuur en de handberekening:

Toetsing	U.C. Qec	U.C. handberekening
6.19	n.v.t.	n.v.t.
6.20	n.v.t.	n.v.t.
6.23	0,89	0,90
6.24	0,79	0,79

Tabel 26 – Controle U.C., (1).

Het kleine verschil binnen 6.23 is te verklaren door afrondingen binnen de handberekeningen. Hierdoor is geconstateerd dat het rekenprogramma toegepast kan worden voor de kolom-berekeningen van de varianten.

7.2 Materiaal toepassingen

Binnen het constructief toetsen van de kolommen is gekeken naar de materialisatie van LVL en Glulam. Hieronder wordt beschreven wat de mogelijkheden zijn betreffende kolomafmetingen binnen de type materialisatie.

Glulam:

Binnen gelamineerd hout (Glulam) bestaan standaard maximale profiel afmetingen. Volgens Mayr-Melnhof Holz *(Mayr-Melnhof Holz, p.17, 2019)* zijn deze standaard maximale afmetingen:

- Breedte: 50 mm ≤ b ≤ 300 mm
- Hoogte: 100 mm ≤ h ≤ 2500 mm

Echter als andere afmetingen gewenst zijn kan dit overlegd worden met de fabrikant(en) over de mogelijkheden.

LVL:

Binnen LVL bestaan geadviseerde profiel afmetingen. Volgens European LVL Handbook van Finnish Woodworking Industries *(Finnish Woodworking Industries, p.86, 2019)* zijn dit de volgende maten:

- Kolomdikte: 84, 90, 96, 108, 120, 133 en 144 mm
- Kolombreedte: 200, 225, 240, 260, 300, 360, 450, en 600 mm

Echter, volgens European LVL Handbook is het mogelijk om kolommen te realiseren met een maximale dikte van 400 mm en een breedte van 2000 mm. Na overleg met MetsäWood over deze toepassingen is te horen gekregen dat deze toepassingen niet gerealiseerd worden door de fabrikant en deze toepassingen door de afnemer zelf gerealiseerd moeten worden door standaard diktes aan elkaar te verlijmen. Ook wordt deze toepassing niet gegarandeerd door MetsäWood. Om deze toepassing te gebruiken zal vervolgonderzoek gedaan moeten worden naar het verlijmen van standaard LVL platen op elkaar met een grotere dikte dan 144 mm.

Conclusie:

Door de excentriciteit van de aansluiting van de liggers op de kolommen ontstaat er in twee richtingen een buigend moment in de kolom. Na het berekenen van de kolommen uitgevoerd in LVL is geconcludeerd dat dit niet mogelijk is binnen de geadviseerde profielmaten van LVL. Hierdoor is ervoor gekozen om alleen Glulam kolommen toe te passen voor het concept, omdat producent MetsäWood geen garantie verleent aan het product dat men zelf verlijmt en omdat hier een vervolgonderzoek naar uitgevoerd moeten worden.

7.3 Kolomafmetingen

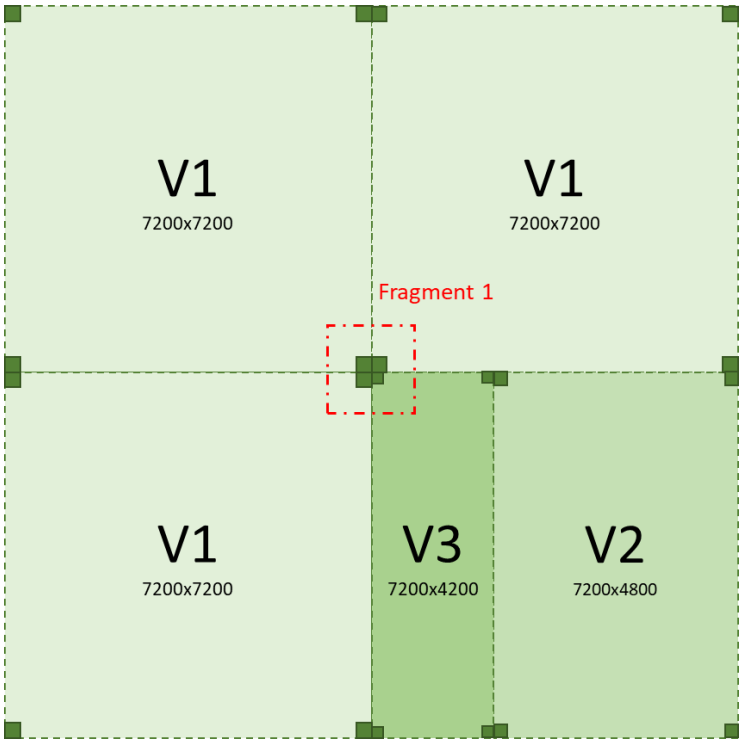
Na het constructief toetsen van de kolommen van de realistische varianten zijn er 3 verschillende kolomafmetingen in Glulam (gelamineerd hout) gedimensioneerd. Elke stramienvariant krijgt een eigen kolomdimensie, zie tabel hiernaast:

Variant	Stramien [mm]	Kolommaat Glulam bxh [mm]
V1	7200x7200	300x300
V2	7200x4800	260x260
V3	7200x2400	220x220

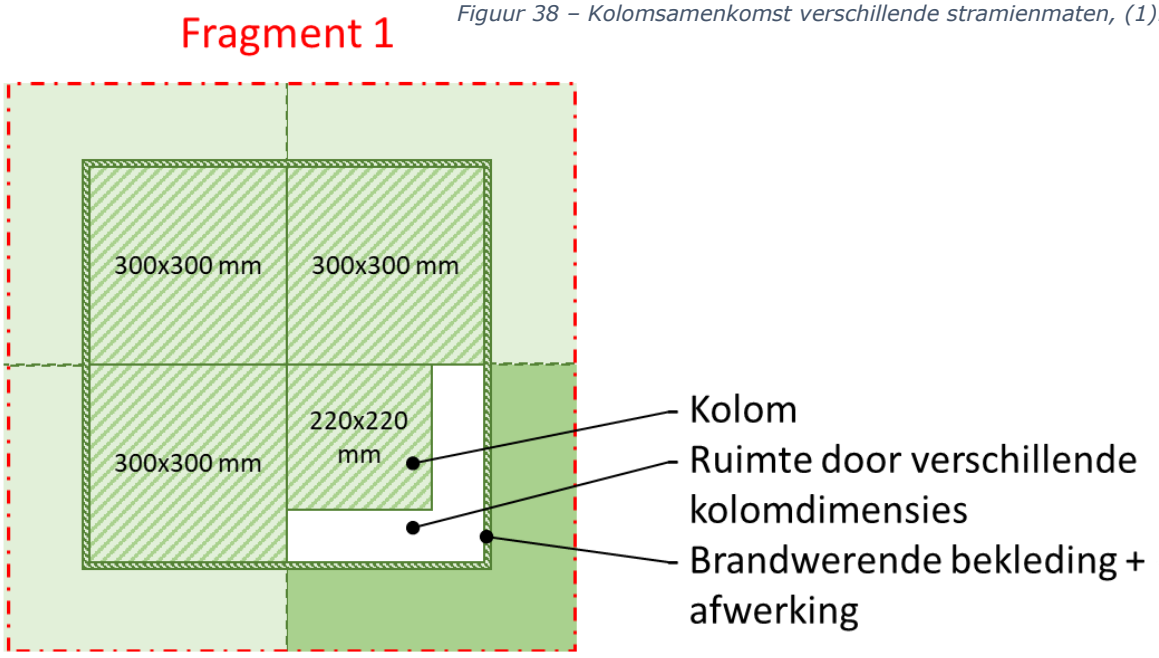
Tabel 27 – Kolomafmetingen, (1).

Vanuit deze afmetingen ontstaan binnen het ontwerpen van een gebouw met het elementconcept verschillende soorten kolomsamenkomsten in de hoeken, zie figuur 38 hiernaast:

In de ruimte, die ontstaat bij kleinere kolomafmetingen, kan gebruik worden gemaakt van het verticale transport W- en E-distributiesystemen. Vervolgens moeten de kolom/ kolomsamenkomsten brandwerkend afgetimmerd worden, zie figuur 39 hieronder als voorbeeld wat mogelijk kan ontstaan bij het ontwerpen met het elementenconcept.



Figuur 38 – Kolomsamenkomst verschillende stramienmaten, (1).



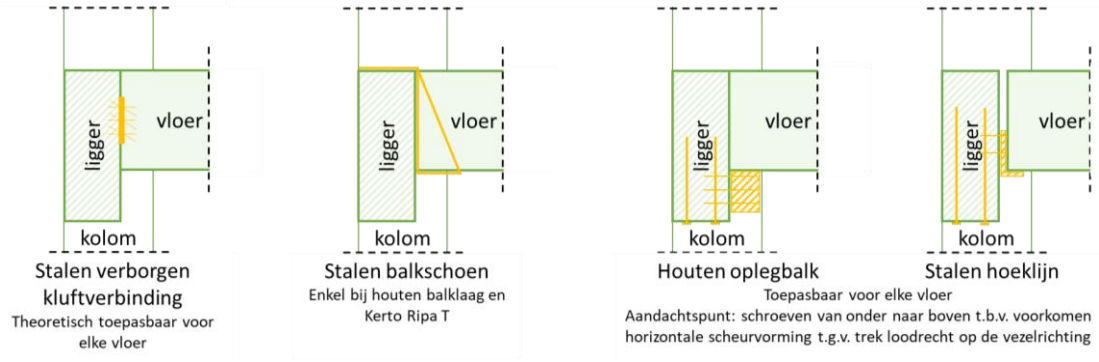
Figuur 39 – Fragment 1 kolomsamenkomst verschillende stramienmaten, (1).

8.0 Verbindingen, sparingsmogelijkheden en stabiliteit

8.1 Verbindingen

In hoofdstuk 7.0: *Kolommen* wordt een excentriciteit aangehouden welke afkomstig is van de manier van het verbinden van de ligger en de kolom. In dit hoofdstuk wordt deze verbinding evenals de verbinding tussen vloer en ligger en tussen kolomkop en kolomvoet constructief beschouwd en geschetst. Een vervolgonderzoek zal uit moeten wijzen welke verbindingen het meest realistisch zijn. Hierbij dient tevens aandacht besteed te worden aan geluids- en brandeisen. Het uitgangspunt van deze verbindingen is dat deze scharnierend werken. Hierbij wordt verwacht dat de verbindingen niet maatgevend zullen zijn voor de dimensionering van de constructieve componenten.

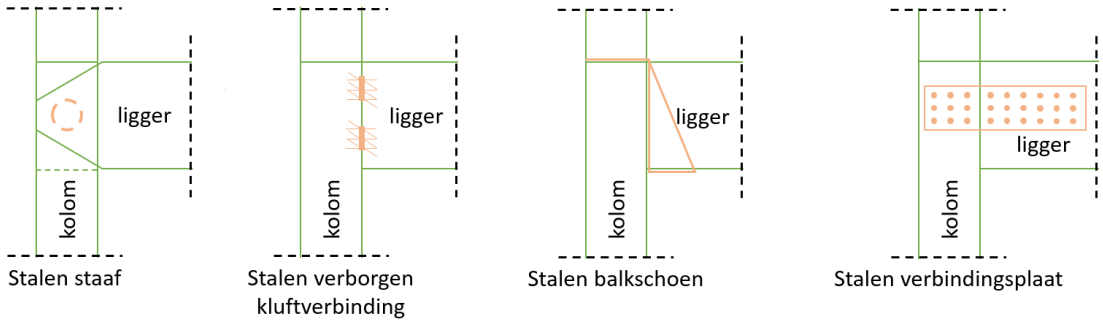
Vloer-ligger-verbinding



Figuur 40 –Weergave vloer-ligger-verbindingen, (1).

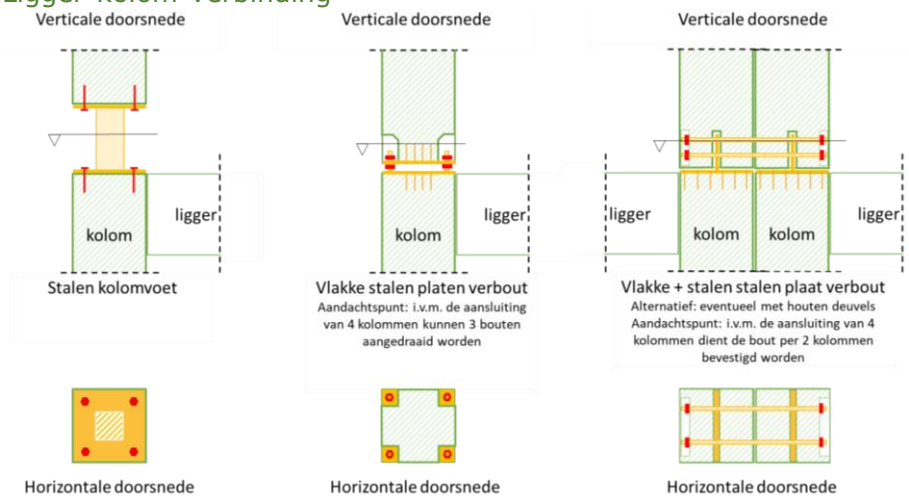
Ligger-kolom-verbinding

Uitgangspunt: de ligger wordt niet op druk loodrecht op de vezels belasting.



Figuur 41 –Weergave ligger-kolom-verbindingen, (1).

Ligger-kolom-verbinding



Figuur 42 –Weergave kolom-kolom-verbindingen, (1).

8.2 Sparingen ten behoeve van installaties

De constructiehoogte is van invloed op de detaillering, vrije hoogte en kosten. Bij dit elementenconcept wordt de constructieve hoogte beïnvloed door de installatiehoogte van het verlaagd plafond. Deze hoogte kan gereduceerd worden door sparingen en/of verjongingen in de liggers aan de brengen. De sparingsmogelijkheden zijn sterk afhankelijk van de maatgevende U.C. van het betreffende constructieve onderdeel.

In dit afstudeeronderzoek worden de sparingen en verjongingen ten behoeve van installaties constructief beschouwd. Een verdere constructieve uitwerking kan middels een vervolgonderzoek uitgevoerd worden of projectspecifiek getoetst worden. Met betrekking tot de liggers kan onderscheid gemaakt worden tussen een maatgevende U.C. op buiging en vervorming of op dwarskracht.

Wanneer de liggers op buiging of vervorming maatgevend is, dient de sparing richting de oplegging gepositioneerd te worden. Het maximale moment en de maximale vervorming zullen namelijk in het midden van de overspanning plaatsvinden.

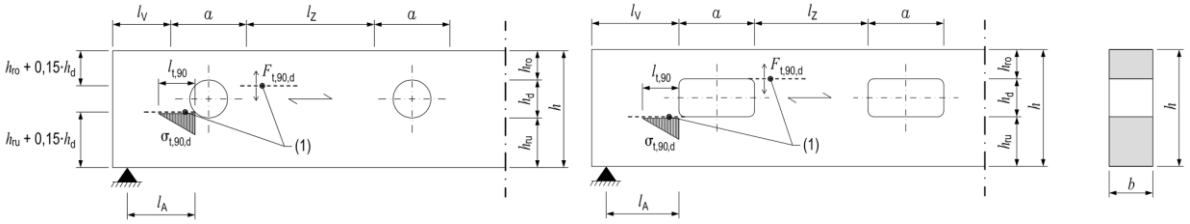
Wanneer de ligger op dwarskracht maatgevend is, dient de sparing meer richting het midden van de overspanning gepositioneerd te worden. De dwarskracht is namelijk maximaal ter plaatse van de steunpunten.

Indien de positie van sparingen aan de onderzijde van de ligger en ter plaatse van het steunpunt gewenst is, spreekt men over verjongingen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de capaciteit van de verbinding ter plaatse van de verjonging.

In de praktijk zal de positie afhankelijk van de U.C.'s bepaald en constructief getoetst dienen te worden. Dit zal gepaard gaan met een installatietechnisch adviseur voor de benodigde sparingen en met een bouwfysisch adviseur ten behoeve van geluidsvoorzieningen. Door de overdimensionering veroorzaakt door een lijnlast van 4,30 kN/m[1] als gevolg van een mogelijke gevel in combinatie met de niet volledig uitgenutte U.C.'s, kan de reserve capaciteit van de liggers voldoende zijn voor het horizontale transport van leidingen en kanalen. Een constructieve controle is hierbij een vereiste.

Overige uitgangspunten ten behoeve van sparingen en verjongingen:

- Onderstaande uitgangspunten hebben betrekking op LVL-liggers:



Materiaal	l_v	l_A	l_z	$hro\ en\ hru$	a	h_d
LVL-P	$\geq h$	$\geq 0{,}5\ h$	$\max(1{,}5\ h; 300\ mm)$	$\geq 0{,}35\ h$	$\leq 2{,}5\ h_d$	$\leq 0{,}15\ h$

Figuur 43 – Richtlijnen sparingen in LVL-liggers, overgenomen uit European LVL Handbook (p.134-135), Finnish Woodworking Industries, 2019.

- De verjonging dient met een minimale steilheid van 1:10 worden aangebracht, *(NEN, 2014, 6.5.1 (2))*.
- Advies: positioneer indien mogelijk de sparingen in het midden van de hoogte van de ligger.

Bovenstaande informatie dient als richtlijn. Een constructieve controle is hierbij vereist. Doordat de sparingsmogelijk zeer project- en variant-specifiek zijn, worden deze niet constructief uitgewerkt. Middels een vervolgonderzoek kan dit onderzocht worden.

8.3 Stabiliteit

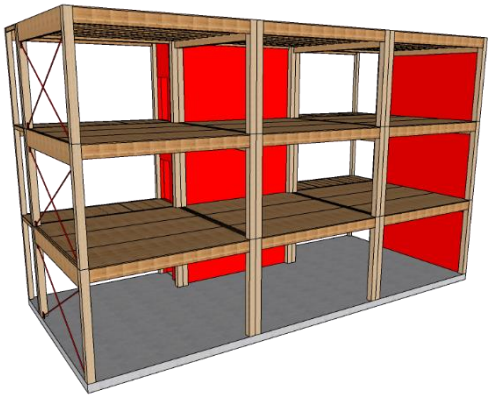
Het elementenconcept is geconstrueerd middels scharnierende verbindingen, zoals bij hoofdstuk 7.0: *Kolommen* is vermeld. Om de stabiliteit van het bouwwerk te realiseren dienen voorzieningen getroffen te worden. Gedurende dit afstudeeronderzoek is de stabiliteit van het concept kwalitatief beschouwd. Dit houdt in dat de stabiliteitsvoorzieningen beschreven en gevisualiseerd worden. Een verdere constructieve uitwerking zal niet plaatsvinden in dit afstudeeronderzoek. Dit kan uitgevoerd worden in een vervolgonderzoek.

Gedurende de voorstudie is kennis opgedaan met diverse stabiliteitsprincipes welke toepasbaar zijn binnen de hybride- en houtbouw. Voor het elementenconcept zijn drie stabiliteits-voorzieningen beschouwd. Deze staan weergeven in figuur 14, 15 en 16, in combinatie met een mogelijke stapelindeling van de elementen. De stabiliteitsvoorzieningen zijn rood weergegeven.

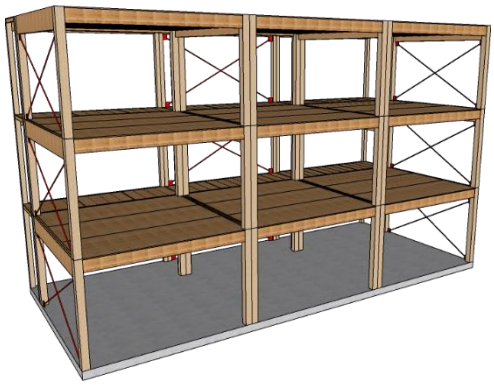
De windbelasting van de gevel wordt doorgegeven naar de liggers en middels de schijfwerking van de vloeren naar de stabiliteitsvoorzieningen afgedragen. Tot slot zal de kracht naar de fundering worden afgedragen.



Figuur 44 – Stabiliteitswanden, (1).



Figuur 45 – Stabiliteitskern, mogelijk i.c.m. windverband en/of wand, (1).



Figuur 46 – Windverbanden, (1).

Voor het bepalen van de toe te passen stabiliteitsprincipes dient rekening gehouden te worden met onderstaande uitgangspunten:

- De stabiliteitsvoorzieningen dienen over de volledige gebouwhoogte uitgevoerd te worden. Wanneer dit niet mogelijk is, dienen de betreffende constructieve componenten getoetst worden.
- Wanneer gebruik wordt gemaakt van wanden en windverbanden dient een minimum aantal van drie toegepast te worden en dienen de werklijnen van deze voorziening niet in éénzelfde snijpunt te vallen.
- De stabiliteitswanden – en kern(en) zijn materiaalonafhankelijk. Hierbij kan CLT of overige houten wanden of beton (hybride) toegepast worden.

De stabiliteitsvoorzieningen zijn afhankelijk van de gebouwdimensies, de opdrachtgever en de locatie. De voorzieningen dienen per project en situatie getoetst te worden aan de hand van een rekenkundige controle. Hierbij dient ook rekening gehouden te worden met eventuele extra optredende krachten in de constructieve componenten en dient gecontroleerd te worden of trek in de fundering op kan treden.

9.0 Fundering

Nu alle constructieve componenten berekend of kwalitatief beschouwd zijn, restte alleen nog de fundering. De uitwerking van dit onderdeel is meer diepgaand dan een kwalitatieve beschouwing maar dient als indicatie en zal project specifiek bepaald en getoetst dienen te worden.

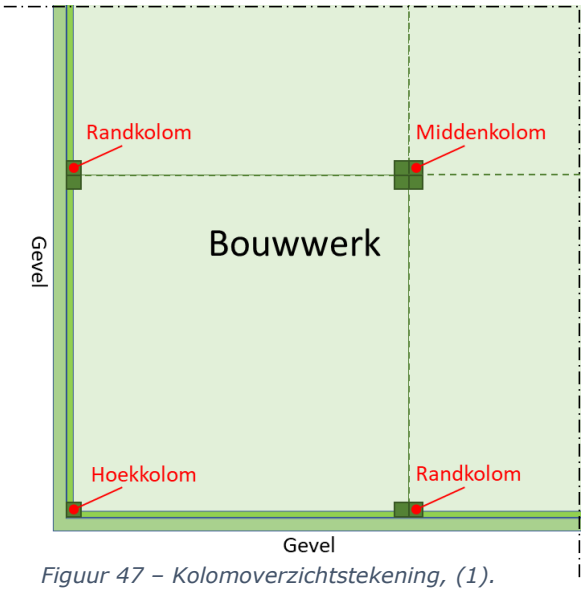
De belastingen op de fundering worden middels tabel 29 weergeven als puntlast afkomstig van een kolom. Deze waardes zijn bepaald door middel van belastingcombinaties welke in tabel 28 staan vermeld. Hierbij zijn per situatie maximaal twee extreme variabele belasting meegerekend. De rest van de variabele belastingen zijn gereduceerd met een Ψ_0-factor. De reactiekrachten van de belastinggevallen zijn afkomstig uit bijlage 1, 2 en 3: *Constructieve uitwerking varianten*.

Belastingcombinaties fundering				
Belastinggevallen	**Aantal bouwlagen**			
	1	**2**	**3**	**4**
Verdiepingsvloer		1x	1x	2x
Verdiepingsvloer*Ψ_0			1x	1x
Dakvloer	1x	1x		
Dakvloer*Ψ_0			1x	1x

Tabel 28 – Belastingcombinatie fundering, (1).

De positie van de kolommen hangt af van de optredende belasting. Dit is het gevolg van de positionering van de gevels. Bij het toepassen van het Hout U Flexibel concept ontstaan drie soorten kolommen: middenkolommen, randkolommen en hoekkolommen. In figuur 47 staan deze visueel weergegeven. In dit figuur is af te leiden dat de belastingen kunnen verschillen door de gevelbelasting. De gevelbelasting is als volgt:

- Hoekkolom: 2x ½ gevel.
- Randkolom: 1x ½ gevel.
- Middenkolom: geen gevelbelasting.



Figuur 47 – Kolomoverzichtstekening, (1).

De funderingsbelasting weergegeven in tabel 29 is gebaseerd op de meest extreme belasting, uit een hoekkolom. Bij deze belasting dient rekening te worden gehouden met het feit dat deze belasting enkel bestaat uit de reactiekracht van één enkele onderste kolom. Bij kolomsamenkomsten dient deze belasting vermenigvuldigd te worden met het aantal kolommen. De vloer- en gevelbelasting van de begane grondvloer is niet verwerkt in deze waarde en dient los meegerekend te worden.

Puntlast* op fundering vanuit enkele kolom in kN								
HUF module	Aantal bouwlagen							
	1		2		3		4	
	F_k	F_d	F_k	F_d	F_k	F_d	F_k	F_d
HUF 7.2	62	85	206	280	278	371	421	566
HUF 4.8	42	56	139	188	188	250	285	382
HUF 2.4	21	28	76	102	120	159	161	213

Tabel 29 – Puntlast op fundering vanuit enkele kolom, (1).

10.0 Conclusie

Aan de hand van de opgedane informatie uit dit deelonderzoek kunnen conclusies getrokken worden.

Binnen de opgestelde varianten die in één richting afdragen is opgevallen dat de constructieve dimensionering sterk kan fluctueren binnen één stramienvariant. In de multicriteria-analyse wordt de volledige vloeropbouw (liggers en vloeren) meegewogen om de meest realistische varianten te bepalen.

Na het opstellen van de constructieve varianten zijn deze beschouwd. Hieruit is opgevallen dat vijf van de negen varianten waarbij de vloeren in twee richten afdragen, niet realistisch worden beoogd door transportbeperkingen of het gebrek aan momentvaste plaatkoppelingen. Van de overige vier varianten zijn twee varianten overgebleven die in twee richtingen afdragen om meegenomen te worden in de multicriteria-analyse. Tijdens het uitwerken van de overige 4 varianten is gebleken dat de efficiëntie van CLT-vloeren in twee richtingen afdragend sterk afhankelijk is van de volgende aspecten: lengte/breedte verhouding plaat, stijfheidsverhouding tussen vezelrichtingen en de stijfheid van overige constructieve componenten. Binnen de uitgewerkte varianten waarbij de vloer in twee richtingen afdraagt, dragen deze varianten niet bij aan een mogelijk realistische variant. Dit is gebleken uit de constructieve toetsing en de multicriteria-analyse.

Antwoord op deelvraag 3.4: Welke constructieve overzichtsvarianten inclusief materialisatie en dimensionering zijn realistisch voor een utilitair functie-flexibel geïndustrialiseerd elementenconcept?

Uit de multicriteria-analyse, welke is opgesteld aan de hand van criteria met wegingsfactoren en objectieve variant-criteriascores, is gebleken dat voornamelijk varianten positief zijn beoordeeld waarbij onderstaande constructieve onderdelen van kracht zijn:

- Vloeren:
  - Wanneer houten balklagen toegepast konden worden, worden deze varianten als het meest realistisch beoordeeld.
  - Wanneer houten balklagen niet toegepast konden worden, ontstond een tweestrijd tussen de Kerto Ripa vloeren van MetsäWood types: T 5-rib en Open Box.
  - Tot slot is gebleken dat de varianten waarbij de vloeren tussen de liggers gepositioneerd konden worden, hoger scoorden in de MCA dan varianten waarbij de vloer over de liggers gepositioneerd worden.
- Liggers:
  - Over het algemeen zijn LVL-liggers als het meest realistisch beoordeeld in de multicriteria-analyse. Dit wordt veroorzaakt door het prijsverschil en de slankere dimensionering ten opzichte van Glulam liggers.

De meest realistische varianten staan vermeld in hoofdstuk 6.4: *Realistische varianten*.

Nadat de meest realistische varianten bekend waren gemaakt, diende de kolommen gedimensioneerd te worden. Aan de hand van een onderzoek (zie hoofdstuk 7.2: *Materiaaltoepassingen*) over de toepasbare kolommaterialisatie is gebleken dat Glulam kolommen als enige toepasbaar is binnen de variantdimensies in verband met garanties en kwaliteitsborging. Aan de hand van de berekende kolomdimensies per stramienvariant is besloten om per stramienvariant een strandaard kolomafmeting toe te passen waarbij de aansluitingen tussen de diverse afmetingen staan geschetst in hoofdstuk 7.3: *Kolomafmetingen*.

11.0 Discussie

In de discussie wordt op de opgedane kennis, de hierbij horende conclusies en gemaakte keuzes gereflecteerd en geëvalueerd. Dit kan leiden tot vervolgonderzoeken of eventuele nuancering.

Tijdens de constructieve uitwerking van de varianten zijn de liggers en vloeren berekend aan de hand van de stramienafmetingen. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele reducties van de overspanningen veroorzaakt door dimensies van aansluitende constructieve componenten. Deze extra constructieve veiligheid kan worden ingezet bij het bepalen van sparings- en verjongingsmogelijkheden. In de eindfase van een project kunnen de constructieve dimensies van het concept geoptimaliseerd worden indien mogelijk.

Gedurende de constructieve uitwerking van de variantestudie is gebleken dat in veel gevallen samengestelde profielen toegepast diende te worden. Dit betrof dubbele of zelfs driedubbele LVL liggers. De samenwerking tussen de liggers dient gecontroleerd te worden in een vervolgonderzoek.

In de conclusie is vermeld dat de CLT-vloeren in twee richtingen afdragend niet tot nauwelijks rendabel zijn binnen de onderzochte varianten. In overige situaties kan het zijn dat een CLT-vloer in twee richtingen afdragend wel rendabel is. In een vervolgonderzoek kan onderzocht worden wanneer een CLT-vloer in twee richtingen een meerwaarde heeft ten opzichte van een vloer op twee steunpunten.

De multicriteria-analyse is opgebouwd uit criteria met wegingsfactoren. Het anders interpreteren of het vervangen en toevoegen van criteria kan invloed hebben op de resultaten. Ook de wegingsfactoren spelen een grote rol binnen de analyse. In de toekomst kunnen bepaalde criteria belangrijker of minder belangrijk worden wat invloed kan hebben op de wegingsfactoren. In verband met de referentieperiode van 100 jaar is dit een complex vraagstuk waarbij meerdere belangen een rol spelen.

Uit de materialiseren en dimensionering van de kolommen is gebleken dat LVL-kolommen niet standaard geproduceerd worden in grote dimensies. Het koppelen van standaard profielafmetingen wordt door de producent niet geproduceerd en geeft geen garantie op deze uitvoering. In een vervolgonderzoek zal net als in bovenstaande alinea de koppeling tussen standaard LVL-profielen onderzocht dienen te worden.

Bij het elementenconcept is uitgegaan van opzichzelfstaande losse stramienmodulen. Uit een vervolgonderzoek zal blijken of het, met een oogpunt op de constructieve dimensionering, rendabel is om de constructieve componenten van de diverse modules samen te laten werken. Dit betreft bijvoorbeeld de kolomsamenkomsten van losse profielen vervangen door één massieve kolom. Dit zal gepaard gaan met een criteria waarbij de het uitvoeringsplan van belang is.

Het toepassen van stabiliteitsvoorzieningen kan invloed hebben op de krachtwerking en de dimensionering van de constructieve componenten. Per project dient een controle berekening gemaakt te worden van de bepaalde dimensies (vloeren, liggers en kolommen) alvorens het stabiliteitsprincipe bepaald is.

Het concept is constructief uitgewerkt middels de belastingen van verdiepingsvloeren. Ook de bovenste bouwlaag wordt uitgevoerd aan de hand van deze belastingen. Echter, de dakbelasting is kleiner dan de belastingen op de verdiepingsvloer. Een vervolgonderzoek kan uitwijzen of de bovenste bouwlaag geoptimaliseerd kan worden en of dit opweegt tegen het beperken van de standaardisatie binnen het concept. Ook heeft deze optimalisatie invloed hebben op de MCA en de meest realistische varianten.

12.0 Literatuurlijst

Blok, R. (2018). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen* (10de ed.). Amersfoort, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V. (2021). Standaard berekening EC (Versie v21-06-1) [Excel sheet] (Versie v21-06-1). Nijmegen, Nederland: Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V.

De Groot Vroomshoop B.V. (2020, 1 februari). *Gelamineerd hout - draagconstructies*. Geraadpleegd op 15 april 2021, van https://www.biobasedbouwen.nl/producten/gelamineerde-houtconstructies-de-groot-vroomshoop/

Dlubal Software GmbH. (2019). *Stiffnes reduction factors k33 and k88 in RF-Laminate*. Excel sheet, Am Zellweg, Duitsland: Dlubal Software GmbH. Geraadpleegd van https://www.dlubal.com

Finnish Woodworking Industries. (2019, 4 september). *European LVL Handbook*. Geraadpleegd op 13 april 2021, van https://www.metsawood.com/global/Tools/European-LVL-Handbook/Pages/European-LVL-Handbook.aspx

Finnwood (Versie 2.4.2 NL) [Rekensoftware]. (2020). Nederland: MetsäWood. Geraadpleegd van https://www.metsawood.com

Gustafsson, A. (2019 mei). *The CLT handbook*. Geraadpleegd op 12 april 2021, van https://www.swedishwood.com/publications/list_of_swedish_woods_publications/the-clt-handbook/

Holz.bau. (2009). CLT designer (Versie 7.3) [Rekensoftware] (Versie 7.3). Graz, Oostenrijk: Holz.bau. Geraadpleegd van https://www.cltdesigner.at

Mayr-Melnhof Holz. (2016).*MM masterline*. Geraadpleegd op 3 mei 2021, van http://www.mm-holz.com/en/downloads/mm-brochures/

NEN. (2014, 1 juni). *NEN-EN 1995–1-1:2005+A2:2014+NB:2013*. Geraadpleegd op 16 april 2021, van https://www-1briswarenhuis-1nl-1mfpw2abm1017.stcproxy.han.nl/docs/norm/nen-en1995-1-1-2005[3]

RFEM (Versie 5.23) [Structural Analysis & Engineering Software]. (2020). Am Zellweg, Duitsland: Dlubal Software GmbH. Geraadpleegd van https://www.dlubal.com

Storaenso & Holz & Funktion AG. (z.d.). *Hinweise zu Klebstoffen in CLT – Cross Laminated Timber*. Geraadpleegd op 15 april 2021, van https://holzfunktion.ch/wp-content/uploads/2015/03/Holz-Funktion-AG-CLT-Hinweise-zu-Klebstoffen.pdf

van Swaay, J., Mom, R., & Wouters, F. (2021). Qec (Versie 2021) [Excel-Rekenbladen] (Versie 2021). Huissen, Nederland: Qec. Geraadpleegd van https://www.qec.eu

Welleman, J. W., Dolfing, A., & Hartman, J. W. (2011). *Basisboek toegepaste mechanica* (3de ed., Vol. 5). Amersfoort, Nederland: ThiemeMeulenhoff bv.

Bijlagen

Bijlage 1: *Constructieve uitwerking variant 1*

Onderstaande constructieve uitwerking zijn opgesteld met behulp van de Excel-sheet van Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau. *(Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V., 2021)*, zie volgende pagina voor de bijlage.

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Projectnummer: 2101

Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 1.

Documentnummer: 140402 versie 1

Statische berekeningen

Datum:

25 mei 2021

Kerkenbos 1006
6546 BA Nijmegen
T (024) 372 19 19
E bureau@croes.nl

Projectnummer: 2101
Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 1.
Documentnummer: 140402 versie 1 , datum: 25-05-2021
Statische berekeningen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Opdrachtgever:
Hout U Flexibel
Contactpersoon: n.v.t.

Statische berekeningen ten behoeve van:
Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 1.

Adviseur constructie:
CROES Bouwtechnisch Ingenieursbureau
Kerkenbos 1006
6546 BA Nijmegen
Tel. : 024 372 19 19
Email : #N/B
Contactpersoon : #N/B

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Inhoud

		blad:
1.	**Algemeen**	**3**
1.1	Omschrijving	3
1.2	Basisdocumenten	3
1.3	Voorschriften	3
1.4	Uitgangspunten materialen	4
1.5	Uitgangspunten voor de berekening	4
1.6	Software	5
1.7	Brand	5
2.	**Belastingen**	**6**
2.1	Dakbelastingen	6
2.2	Vloerbelastingen	7
2.3	Overige belastingen	7
3.	**Variant 1.1**	**8**
3.1	Overzichtstekening	8
3.2	Vloeren	8
3.3	Liggers	11
3.4	Liggers L2	12
3.5	Kolommen K1	13
4.	**Variant 1.2**	**15**
4.1	Overzichtstekening	15
4.2	Vloeren	15
4.3	Liggers	18
4.4	Liggers L2	20
4.5	Kolommen K1	21
5.	**Variant 1.3**	**23**
5.1	Overzichtstekening	23
5.2	Vloeren	23
5.3	Liggers	26
5.4	Liggers L2	28
6.	**Variant 1.4**	**29**
6.1	Overzichtstekening	29
6.2	Vloeren	29
6.3	Liggers	32
6.4	Liggers L2	34
7.	**Variant 1.5**	**35**
7.1	Overzichtstekening	35
7.2	Vloeren	35
7.3	Liggers	38
7.4	Liggers L2	41

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

8	**Variant 1.6**	**42**
81	Overzichtstekening	42
82	Vloeren	42
83	Liggers	45
84	Liggers L2	48
9	**Variant 1.7**	**49**
91	Overzichtstekening	49
92	Vloeren	49
93	Liggers	52
94	Liggers L2	54
95	Kolommen K1	55

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

1. Algemeen

1.1 Omschrijving

Projectomschrijving: Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 1.

Document 140402 bevat de navolgende onderdelen:
Statische berekeningen

Constructieve opbouw

Fundering:	n.v.t.
Begane grondvloer:	n.v.t.
1e t/m 3e verdiepingsvloer:	Zie varianten

Stabiliteit

De stabiliteit van het gebouw wordt kwalitatief beschouwd en vermeld in het hoofdrapportage.

1.2 Basisdocumenten

Berekeningen in dit document zijn gebaseerd op de navolgende basisstukken:

Tekeningen: Constructieve varianten datum: 16-03-21

1.3 Voorschriften

Berekeningen zijn gebaseerd op Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.
Van fabrikanten c.q. aannemers c.q. leveranciers wordt verwacht dat zij tevens hun berekeningen en voorschriften ontlenen aan de Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.

Eurocode

NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991 (serie)	Belastingen
NEN-EN 1992 (serie)	Betonconstructies
NEN-EN 1993 (serie)	Staalconstructies
NEN-EN 1994 (serie)	Staal-Betonconstructies
NEN-EN 1995 (serie)	Houtconstructies
NEN-EN 1996 (serie)	Metselwerkconstructies
NEN-EN 1997 (serie)	Geotechnische constructies
NEN-EN 1999 (serie)	Aluminiumconstructies

1.4 Uitgangspunten materialen

Indien niet anders wordt aangegeven, is er in deze berekening uitgegaan van:

Hout:	C24, standaard bouwhout	
	GL28c, gelamineerd hout (gecombineerd opbouw)	
	48P, LVL	
Staal:	walsprofielen	S235 JR
	warmgevormde buisprofielen	S355 J2H
	koudgevormde ronde buisprofielen	S235 JRH
Bouten:	8.8, gerolde draad	
Ankerbouten:	4.6, gerolde draad	

1.5 Uitgangspunten voor de berekening

Levensduur:

Ontwerplevensduurklasse: **klasse 4**
Ontwerplevensduur: **100 jaren**
Toepassing: **Monumentale gebouwen**

Voetnoten: Beslissing om een gebouw als monumentaal aan te merken is ter beoordeling aan klant.

Betrouwbaarheid van het bouwwerk:

Betrouwbaarheidsklasse: **klasse 2** Eurocode: RC2
Definitie in risico: Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

Belastingsfactor: (K_{FI}) = 1,0
Ontwerplevensduur: 100 jaren

Betrouwbaarheid van ontwerp en uitvoering:

De supervisieniveaus en inspectieniveaus worden door Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau toegepast in de ontwerpfase. Ten behoeve van de betrouwbaarheidsdifferentiatie worden de partiële factoren van belastingen vermenigvuldigd met de belastingfactor (KFI) conform NEN-EN-1990-NB, paragraaf B3.3.

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 1 mogen door de hoofdconstructeur zelf worden gecontroleerd en geverifieerd (DSL 1). Projecten in betrouwbaarheidsklasse 2 worden gecontroleerd door een projectonafhankelijke register constructeur van ons bureau, conform ons kwaliteitshandboek (NEN-EN-ISO 9001:2008) (DSL 2).

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 3 dienen door middel van een uitgebreide supervisie te worden getoetst door een andere organisatie dan die het ontwerp heeft gemaakt. In overleg met onze opdrachtgever wordt definitief vorm gegeven aan deze supervisie (DSL 3).

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 3 dienen door middel van een inspectie door derden te worden getoetst in uitvoeringsfase. In overleg met onze opdrachtgever wordt definitief vorm gegeven aan deze inspectie (IL 3).

1.6 Software

In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van een aantal rekenprogramma's.
Hieronder een overzicht van de gehanteerde software bij Croes met daarbij aangegeven de leverancier en de versie. Versienummers zijn geïnventariseerd op 01-01-2021.
Lees voor versie: versienummer .. of hoger.
In deze lijst zijn niet opgenomen de productgebonden softwareprogramma's.

Leverancier	Software	Versie
Technosoft	TS Liggers	6.60a
Holz.bau	CLTdesigner	7.3
MetsäWood	Finnwood	2.4.2 NL
Qec	Excel reken-tabellen	2021

1.7 Brand

1.7.1 Algemeen

Conform het Bouwbesluit 2012 worden met betrekking tot brand eisen gesteld aan de constructies in het kader van:
1) voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten.
2) veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten.
3) brandscheidingen (WBDBO).

Voor de brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten zie 1.7.2.

De brandwerendheidseisen in het kader van veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten (2) en brandscheidingen (3) worden aangegeven door de architect, bouwkundige of adviseur brandveiligheid.

1.7.2 Brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting

Een bouwconstructie bezwijkt niet bij brand in een brandcompartiment waarin de constructie niet ligt gedurende **x** minuten door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan het brandcompartiment.

De eis in minuten wordt gedefinieerd door de gebruiksfunctie en de hoogte van het verblijfsgebied:

Gebruiksfunctie: 01. Woonfunctie
Hoogstgelegen vloer: 13,00 m. + maaiveld
Eis: 90(90) min.

Op basis van de maximale eisen behorende bij bovengenoemde functies bedraagt de eis:
Eis: **90 (90)** min.
De tussen haakjes geplaatste waarde is de gereduceerde waarde voor gebouwen met een lagere permanente vuurbelasting dan 500 MJ/m^2.

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2. Belastingen

2.1 Dakbelastingen

Plat dak **Gebied** **4.1**

g_k =	Dakvloerconstructie		=	variabel	
	leidingen		=	0,20	
	systeemplafond		=	0,30	
	isolatie (PIR/PUR/PS) + 2-laagse dakbedekking		=	0,15	
	PV-panelen		=	0,25	
	betonnen tegels	H_{gem} = 40	=	0,96	
				1,86	kN/m^2
q_k =	< 10 m^2		=	**2,50**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan: $\Psi_{0/1/2}$ = 0		=	**0,00**	kN/m^2
s_n =	(Variatiecoefficient = 0,8)		=	**0,80**	kN/m^2
s =	s_n x μ_i = 0,80 x 3		=	**2,40**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan: Ψ_0 = 0		=	**0,00**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan: Ψ_1 = 0,2		=	**0,48**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan: Ψ_2 = 0		=	**0,00**	kN/m^2

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,86	kN/m^2
Maatgevende last vloerpakket:	2,50	kN/m^2
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90 min	
Bouwlaag:	4	
Omschrijving op tekening:	Dakvloerconstructie	

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2.2 Vloerbelastingen

Verdiepingsvloer str. 7,2 m **Gebied** **1.1**

g_k =	Dakvloerconstructie		=	variabel	
	computervloer		=	0,50	
	leidingen		=	0,20	
	systeemplafond		=	0,30	
				1,00	kN/m^2
q_k =	Klasse C5-grote mensenmassa's		=	**5,00**	
$q_{k;t}$ = (100 jr)	$q_{k;t} = q_k$ x (1+(1-Ψ_0)/9 x ln (t/50))		=	**5,23**	
	lichte scheidingswanden (1.0 < qk ≤ 2.0 kN/m)		=	0,80	
				6,03	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	Ψ_0 = 0,4	=	**2,41**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	Ψ_1 = 0,7	=	**4,22**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	Ψ_2 = 0,6	=	**3,62**	kN/m^2

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b.	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,00	kN/m^2
Maatgevende last vloerpakket:	6,03	kN/m^2
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90 min	
Bouwlaag:	1 t/m 3	
Omschrijving op tekening:	Verdiepingsvloerconstructie	

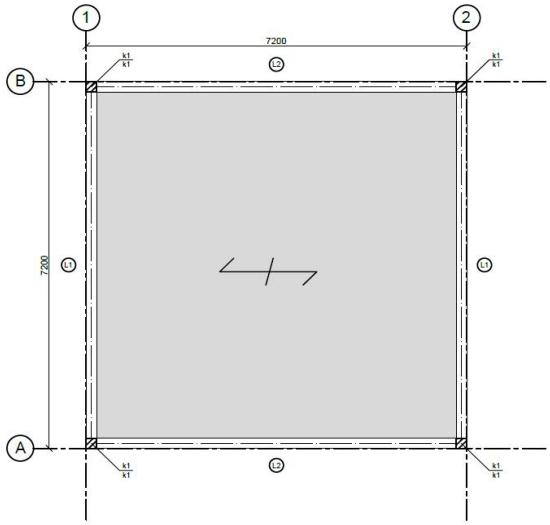
2.3 Overige belastingen

Overige wanden en gevels

g_k =	houtskeletbouwwand	=	**0,50**	kN/m^2
g_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2
q_k =	vliesgevel	=	**1,00**	kN/m^2
g_k =	CLT wand dik 150 mm	=	**0,75**	kN/m^2
g_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2

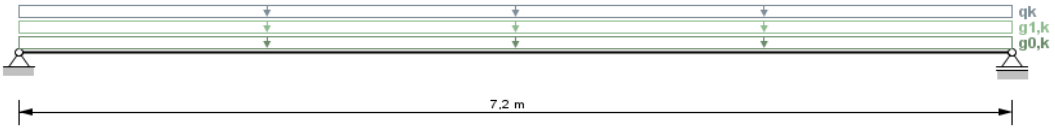
3. Variant 1.1

3.1 Overzichtstekening



3.2 Vloeren

Rekenschema



3.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	1,65	0,00	1,65	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				2,65	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**9**
PROFIELKEUZE:		**LL-300/9s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,30**
	Oplegdruk	**0,11**
	Doorbuiging	**0,85**

3.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,45	0,00	0,45	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,45	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x37-5x51x400 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,59**
	Afschuiving	**0,50**
	Schuifspanning	**0,83**
	Oplegdruk	**0,60**
	Doorbuiging	**0,96**

3.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,44	0,00	0,44	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,44	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x31-5x45x300-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,27**
	Afschuiving	**0,58**
	Schuifspanning	**0,85**
	Oplegdruk	**0,68**
	Doorbuiging	**0,94**

3.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag***	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**3,45**	
	Afschuiving	**0,72**	
	Doorbuiging	**7,21**	

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT	9,5	21,7	10,9	**44,0**	**kN**

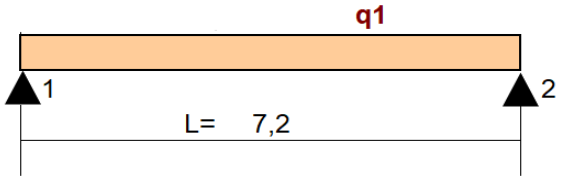
3.3 Liggers

3.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	9,54	21,71	9,54	21,71	10,86	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					13,84	21,71	10,86	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd***	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x271	150x900	2* 75x730
U.C. Buiging	**24,84**	**0,88**	**0,82**
U.C. Dwarskracht	**5,26**	**0,72**	**0,75**
U.C. Stabiliteit	**24,84**	**0,88**	**0,82**
U.C. Doorbuiging	**15,30**	**0,57**	**0,97**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

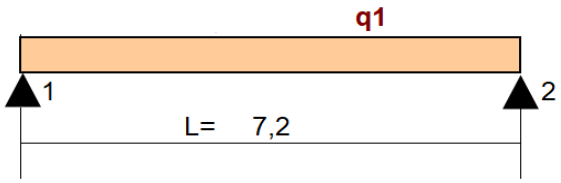
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	49,8	78,2	39,1	**177,0**	**kN**

3.4 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x271	72x500	75x480
U.C. Buiging	**2,93**	**0,69**	**0,45**
U.C. Dwarskracht	**0,61**	**0,34**	**0,28**
U.C. Stabiliteit	**2,93**	**0,69**	**0,45**
U.C. Doorbuiging	**6,45**	**0,89**	**0,88**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	15,5	0,0	0,0	**20,9**	**kN**

3.5 Kolommen K1

3.5.1 Kolom K1

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	49,82	78,16	49,82	78,16	39,08	ja
Subtotalen: **F_1:**					49,82	78,16	39,08	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	128,0	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		125,9	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		177,0	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	177,0	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	15,48	0,00	15,48	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **F_1:**					15,48	0,00	0,00	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	15,5	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		20,9	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		18,6	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	20,9	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	49,82	78,16	49,82	78,16	39,08	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	15,48	0,00	15,48	0,00	0,00	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	49,82	78,16	49,82	39,08	39,08	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	15,48	0,00	15,48	0,00	0,00	nee
Plat dak L1	3,6	3,6	2,31	2,50	29,94	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					160,5	117,2	78,16	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	277,8	kN
6.10a	(STR)	= $1{,}35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1{,}5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		334,0	kN
6.10b	(STR)	= $1{,}2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1{,}5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		368,5	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	368,5	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

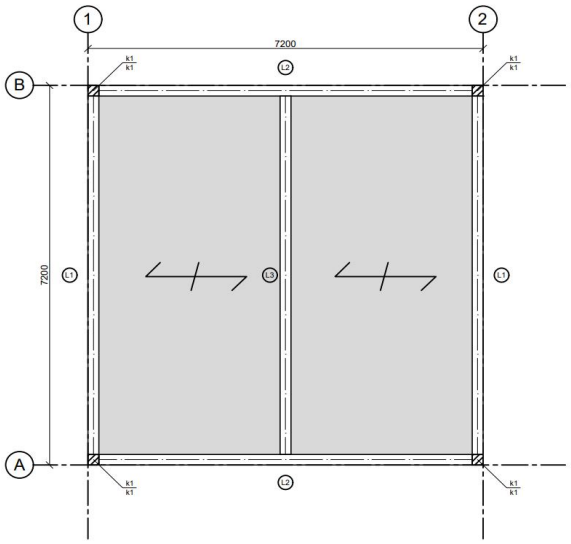
Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**369**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**177**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**21**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**566**	kN	

Excentriciteit L1				**Excentriciteit L2**			
Geschat profiel	b	=	300 mm	h	=	300	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	200 mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	200	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**35,4** kNm	$M_{ez;d}$	=	**4,2**	kNm

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		300x300
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,89**
U.C.	F6.24	**0,79**

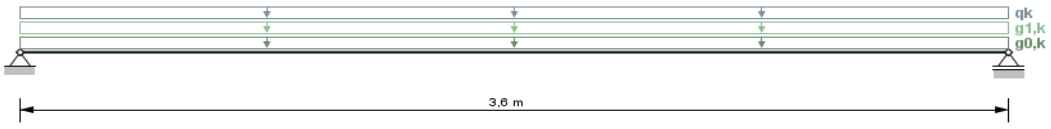
4. Variant 1.2

4.1 Overzichtstekening



4.2 Vloeren

Rekenschema



4.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,88	0,00	0,88	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,88	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**5**
PROFIELKEUZE:		**L-160/5s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,30**
	Oplegdruk	**0,11**
	Doorbuiging	**0,85**

4.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,28	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,28	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x31-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,55**
	Afschuiving	**0,55**
	Schuifspanning	**0,91**
	Oplegdruk	**0,57**
	Doorbuiging	**0,94**

4.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,17**
	Afschuiving	**0,52**
	Schuifspanning	**0,84**
	Oplegdruk	**0,58**
	Doorbuiging	**0,65**

4.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer	**Houten balklaag**	
Fabrikant	**n.v.t.**	
H.o.h.	**610**	
PROFIELKEUZE:	**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.: Buiging	**0,86**	
Afschuiving	**0,37**	
Doorbuiging	**0,90**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	3,4	10,9	5,4	**20,3**	**kN**
CLT R2	6,8	21,7	10,9	**40,7**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

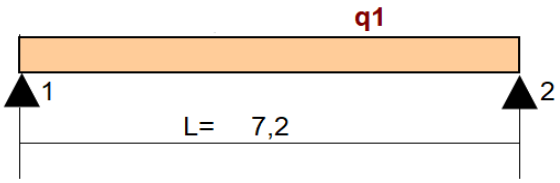
4.3 Liggers

4.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	6,76	21,70	6,76	21,70	10,85	ja
Subtotalen: **q_1:**					6,76	21,70	10,85	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x900	2* 75x700
U.C. Buiging	**0,73**	**0,73**
U.C. Dwarskracht	**0,61**	**0,67**
U.C. Stabiliteit	**0,73**	**0,73**
U.C. Doorbuiging	**0,50**	**0,97**

Reacties

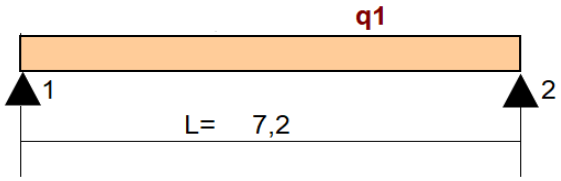
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	24,3	78,2	39,1	**146,4**	**kN**

4.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,38	10,85	3,38	10,85	5,43	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				7,68	10,85	5,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x700	2* 75x600
U.C. Buiging	**0,84**	**0,63**
U.C. Dwarskracht	**0,55**	**0,49**
U.C. Stabiliteit	**0,84**	**0,63**
U.C. Doorbuiging	**0,68**	**0,91**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	27,7	39,1	19,5	**91,8**	**kN**

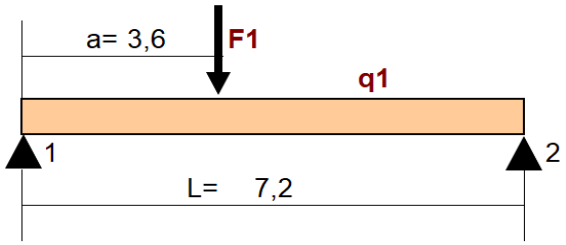
4.4 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	24,34	78,16	24,34	78,16	39,08	ja
Subtotalen: **F_1:**					24,34	78,16	39,08	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x900	2* 75x700
U.C. Buiging	**0,82**	**0,83**
U.C. Dwarskracht	**0,43**	**0,46**
U.C. Stabiliteit	**0,82**	**0,83**
U.C. Doorbuiging	**0,44**	**0,85**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	27,7	39,1	19,5	**91,8**	**kN**

4.5 Kolommen K1

4.5.1 Kolom K1

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	27,65	39,06	27,65	39,06	19,53	ja
Subtotalen: **F_1:**					27,65	39,06	19,53	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	66,7	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		66,6	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		91,8	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	91,8	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	27,65	39,08	27,65	39,08	19,54	ja
Subtotalen: **F_1:**					27,65	39,08	19,54	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	66,7	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		66,6	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		91,8	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	91,8	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	27,65	39,06	27,65	39,06	19,53	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	27,65	39,08	27,65	39,08	19,54	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	27,65	39,06	27,65	19,53	19,53	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	27,65	39,08	27,65	19,54	19,54	nee
Plat dak L1	3,6	3,6	2,31	2,50	29,94	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					140,54	117,21	78,14	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	257,7	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		306,9	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		344,5	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	344,5	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

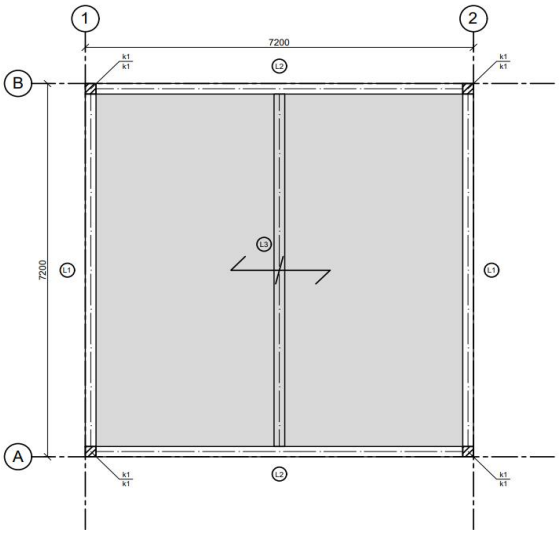
Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**344**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**92**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**92**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**528**	kN	

Excentriciteit L1				**Excentriciteit L2**			
Geschat profiel	b	=	300 mm	h	=	300	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	200 mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	200	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**18,4** kNm	$M_{ez;d}$	=	**18,4**	kNm

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		300x300
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,78**
U.C.	F6.24	**0,78**

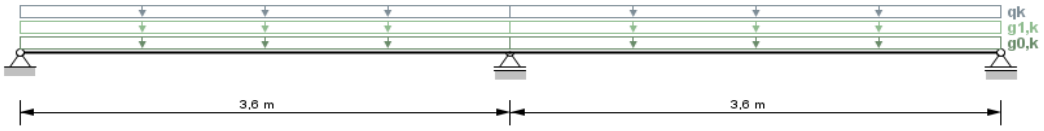
5. Variant 1.3

5.1 Overzichtstekening



5.2 Vloeren

Rekenschema



5.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,72	0,00	0,72	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,72	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**5**
PROFIELKEUZE:		**L-130/5s**
U.C.:	Buiging	**0,50**
	Afschuiving	**0,34**
	Oplegdruk	**0,27**
	Doorbuiging	**0,94**

5.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,55**
	Afschuiving	**0,60**
	Schuifspanning	**0,96**
	Oplegdruk	**0,71**
	Doorbuiging	**0,83**

5.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,14**
	Afschuiving	**0,57**
	Schuifspanning	**0,93**
	Oplegdruk	**0,70**
	Doorbuiging	**0,52**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

5.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving	**0,43**	
	Stabiliteit	**0,83**	
	Doorbuiging	**0,54**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	2,7	9,5	4,8	**17,5**	**kN**
CLT R2	7,7	27,1	13,6	**50,0**	**kN**

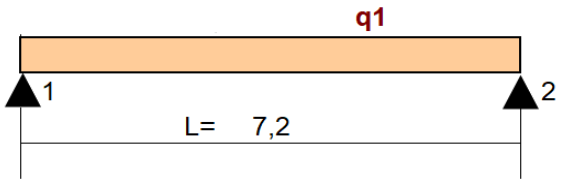
5.3 Liggers

5.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	7,72	27,13	7,72	27,13	13,57	ja
Subtotalen: **q_1:**					7,72	27,13	13,57	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	200x800	2* 75x750
U.C. Buiging	**0,85**	**0,78**
U.C. Dwarskracht	**0,64**	**0,67**
U.C. Stabiliteit	**0,85**	**0,78**
U.C. Doorbuiging	**0,67**	**0,98**

Reacties

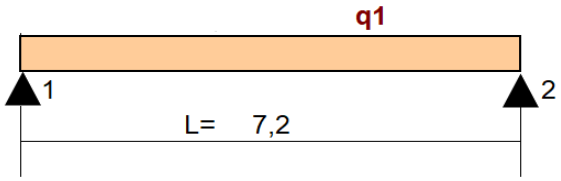
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	27,7	97,7	48,8	**179,7**	**kN**

5.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,71	9,50	2,71	9,50	4,75	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				7,01	9,50	4,75	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x600	75x750
U.C. Buiging	**0,91**	**0,71**
U.C. Dwarskracht	**0,53**	**0,67**
U.C. Stabiliteit	**0,91**	**0,71**
U.C. Doorbuiging	**0,90**	**0,83**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	25,2	34,2	17,1	**81,6**	**kN**

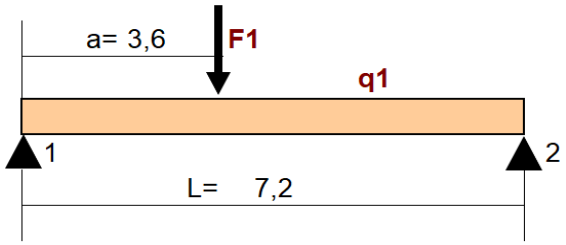
5.4 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	27,65	97,67	27,65	97,67	48,84	ja
Subtotalen: **F_1:**					27,65	97,67	48,84	kN

Rekenschema



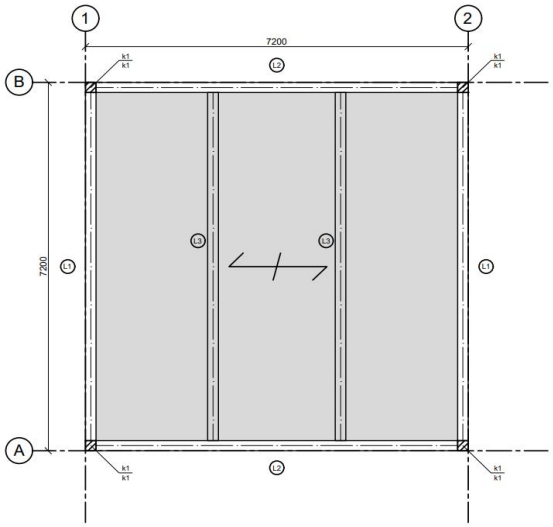
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	200x800	2*75x750
U.C. Buiging	**0,93**	**0,87**
U.C. Dwarskracht	**0,44**	**0,51**
U.C. Stabiliteit	**0,93**	**0,87**
U.C. Doorbuiging	**0,57**	**0,84**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	29,4	48,8	24,4	**108,5**	**kN**

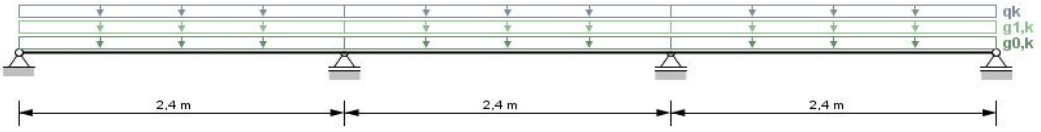
6. Variant 1.4

6.1 Overzichtstekening



6.2 Vloeren

Rekenschema



6.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,50	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-90/3s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,34**
	Oplegdruk	**0,17**
	Doorbuiging	**0,88**

6.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**	**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**	**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**	**KRT-2400x25-3x45x225 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,23**	**0,37**
	Afschuiving	**0,36**	**0,63**
	Schuifspanning	**0,54**	**0,91**
	Oplegdruk	**0,44**	**0,88**
	Doorbuiging	**0,32**	**0,51**

6.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,08**
	Afschuiving	**0,35**
	Schuifspanning	**0,46**
	Oplegdruk	**0,44**
	Doorbuiging	**0,26**

6.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x196**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving		
	Doorbuiging	**0,49**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,55	6,51	3,26	**11,6**	**kN**
CLT R2	3,95	17,37	8,69	**30,8**	**kN**

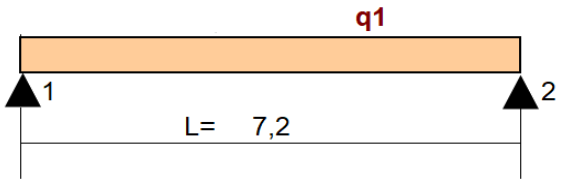
6.3 Liggers

6.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,95	17,37	3,95	17,37	8,69	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,95	17,37	8,69	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x700	2* 75x650
U.C. Buiging	**0,91**	**0,64**
U.C. Dwarskracht	**0,62**	**0,55**
U.C. Stabiliteit	**0,91**	**0,64**
U.C. Doorbuiging	**0,83**	**0,78**

Reacties

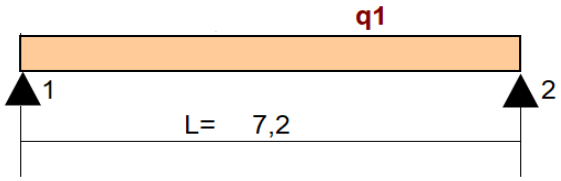
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	14,2	62,5	31,3	**110,9**	**kN**

6.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,55	6,51	1,55	6,51	3,26	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,85	6,51	3,26	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x600	75x650
U.C. Buiging	**0,88**	**0,70**
U.C. Dwarskracht	**0,51**	**0,58**
U.C. Stabiliteit	**0,88**	**0,70**
U.C. Doorbuiging	**0,88**	**0,96**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	21,1	23,4	11,7	**60,4**	**kN**

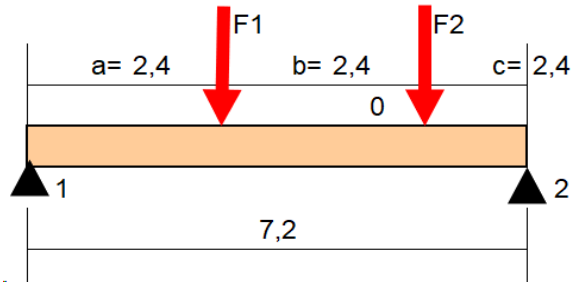
6.4 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	14,22	62,53	14,22	62,53	31,27	ja
Subtotalen: **F_1:**					14,22	62,53	31,27	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	200x800	2*75x820
U.C. Buiging	**0,78**	**0,95**
U.C. Dwarskracht	**0,52**	**0,51**
U.C. Stabiliteit	**0,78**	**0,95**
U.C. Doorbuiging	**0,61**	**0,94**

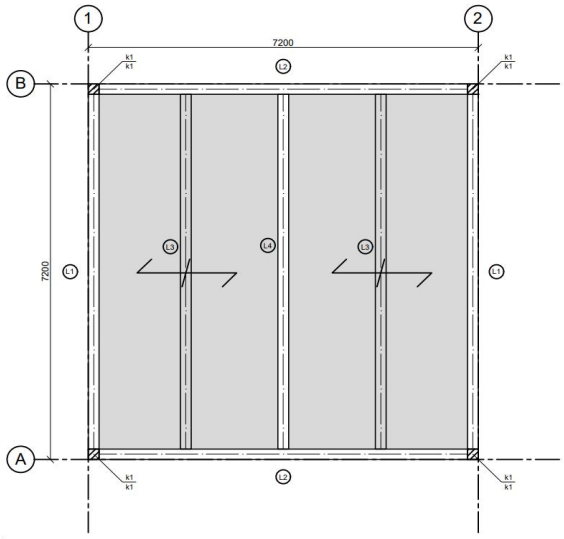
Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	29,7	62,5	31,3	**129,4**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

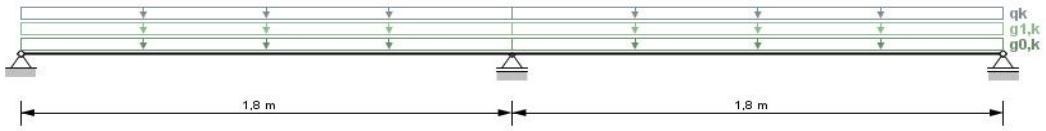
7. Variant 1.5

7.1 Overzichtstekening



7.2 Vloeren

Rekenschema



7.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,50	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,25**
	Afschuiving	**0,26**
	Oplegdruk	**0,15**
	Doorbuiging	**0,39**

7.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**	**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**	**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**	**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,14**	**0,27**
	Afschuiving	**0,27**	**0,51**
	Schuifspanning	**0,37**	**0,70**
	Oplegdruk	**0,54**	**0,69**
	Doorbuiging	**0,19**	**0,35**

7.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,05**
	Afschuiving	**0,26**
	Schuifspanning	**0,43**
	Oplegdruk	**0,53**
	Doorbuiging	**0,17**

7.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**59x146**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,86**	
	Afschuiving	**0,47**	
	Oplegdruk	**0,86**	
	Doorbuiging	**0,52**	

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,57	6,33	3,17	**11,4**	**kN**
CLT R3	4,49	18,09	9,05	**32,5**	**kN**
CLT R4	3,14	12,66	6,33	**22,8**	**kN**

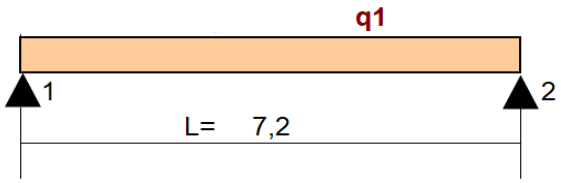
7.3 Liggers

7.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	4,49	18,09	4,49	18,09	9,05	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,49	18,09	9,05	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	185x700	2*75x700
U.C. Buiging	**0,78**	**0,59**
U.C. Dwarskracht	**0,53**	**0,54**
U.C. Stabiliteit	**0,78**	**0,59**
U.C. Doorbuiging	**0,71**	**0,79**

Reacties

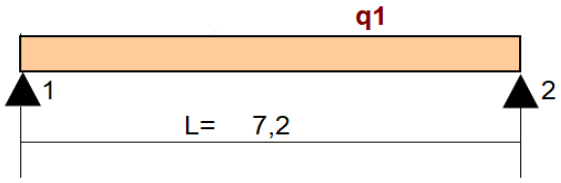
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	16,2	65,1	32,6	**117,1**	**kN**

7.3.1 Ligger L4

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,14	12,66	3,14	12,66	6,33	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,14	12,66	6,33	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x700	75x750
U.C. Buiging	**0,88**	**0,72**
U.C. Dwarskracht	**0,60**	**0,69**
U.C. Stabiliteit	**0,88**	**0,72**
U.C. Doorbuiging	**0,80**	**0,90**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

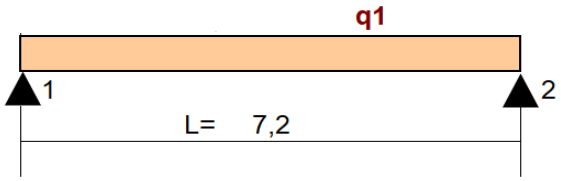
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	11,3	45,6	22,8	**81,9**	**kN**

7.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,57	6,33	1,57	6,33	3,17	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,87	6,33	3,17	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x600	75x650
U.C. Buiging	**0,87**	**0,69**
U.C. Dwarskracht	**0,50**	**0,57**
U.C. Stabiliteit	**0,87**	**0,69**
U.C. Doorbuiging	**0,87**	**0,95**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	21,1	22,8	11,4	**59,5**	**kN**

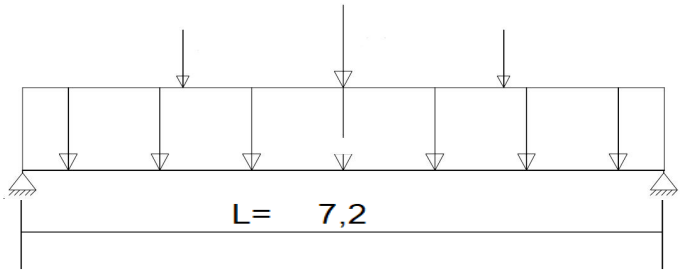
7.4 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	16,16	65,12	16,16	65,12	32,56	ja
Reactie L4	1	1	11,30	45,58	11,30	45,58	22,79	ja

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	185x900	3*75x750
U.C. Buiging	**0,89**	**0,72**
U.C. Dwarskracht		**0,56**
U.C. Stabiliteit	**n.vt.**	**n.v.t.**
U.C. Doorbuiging	**0,53**	**0,89**

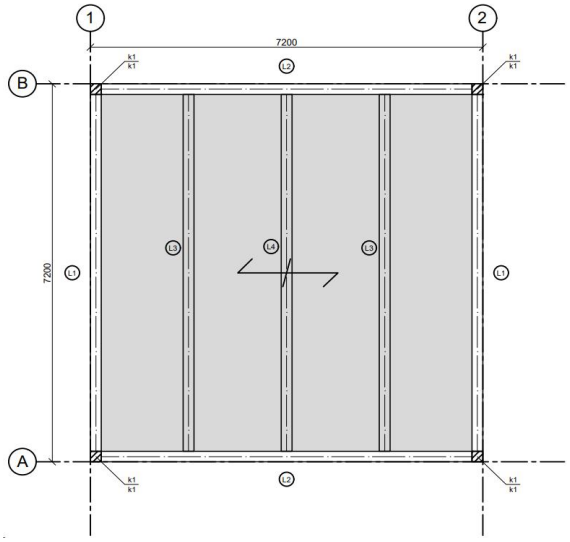
Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	37,9	78,0	39,0	**162,5**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

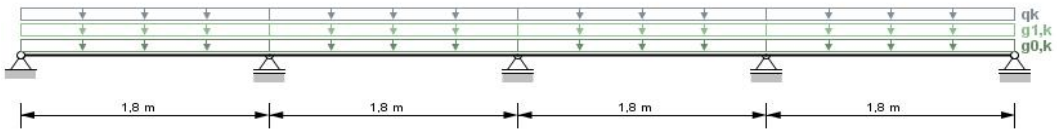
8 Variant 1.6

81 Overzichtstekening



82 Vloeren

Rekenschema



82.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,44	0,00	0,44	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,44	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,28**
	Afschuiving	**0,29**
	Oplegdruk	**0,14**
	Doorbuiging	**0,51**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

82.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,20	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,25**
	Afschuiving	**0,52**
	Schuifspanning	**0,71**
	Oplegdruk	**0,95**
	Doorbuiging	**0,36**

82.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,05**
	Afschuiving	**0,26**
	Schuifspanning	**0,42**
	Oplegdruk	**0,50**
	Doorbuiging	**0,19**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

82.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,81**	
	Afschuiving		
	Doorbuiging	**0,41**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,12	4,85	2,43	**8,6**	**kN**
CLT R3	2,97	13,28	6,64	**23,5**	**kN**
CLT R4	2,41	12,40	6,20	**21,5**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

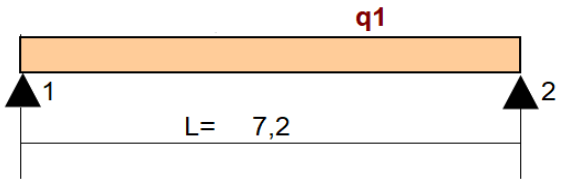
83 Liggers

83.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,97	13,28	2,97	13,28	6,64	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,97	13,28	6,64	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x700	51x700+39x700
U.C. Buiging	**0,90**	**0,71**
U.C. Dwarskracht	**0,69**	**0,65**
U.C. Stabiliteit	**0,90**	**0,71**
U.C. Doorbuiging	**0,83**	**0,96**

Reacties

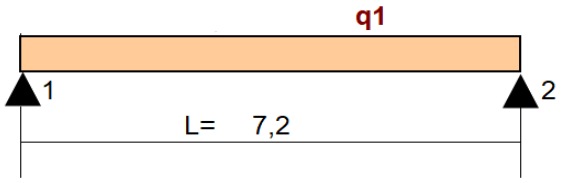
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	10,7	47,8	23,9	**84,5**	**kN**

83.1 Ligger L4

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,41	12,40	2,41	12,40	6,20	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,41	12,40	6,20	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x700	51x700+39x700
U.C. Buiging	**0,83**	**0,65**
U.C. Dwarskracht	**0,57**	**0,59**
U.C. Stabiliteit	**0,83**	**0,65**
U.C. Doorbuiging	**0,77**	**0,89**

Reacties

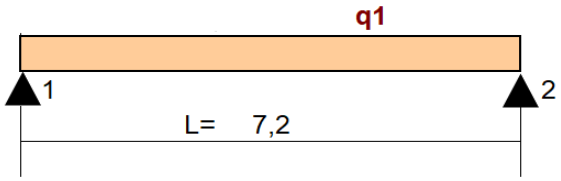
Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	8,7	44,6	22,3	**77,4**	**kN**

83.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,12	4,85	1,12	4,85	2,43	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,42	4,85	2,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	90x600	51x700
U.C. Buiging	**0,92**	**0,73**
U.C. Dwarskracht	**0,53**	**0,64**
U.C. Stabiliteit	**0,92**	**0,73**
U.C. Doorbuiging	**0,94**	**0,95**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	19,5	17,5	8,7	**49,6**	**kN**

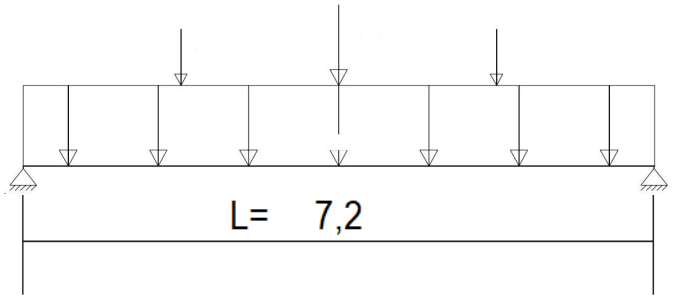
84 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	10,69	47,81	10,69	47,81	23,91	ja
Reactie L4	1	1	8,68	44,64	8,68	44,64	22,32	ja
Subtotalen: **F_1:**					8,68	44,64	22,32	kN

Rekenschema



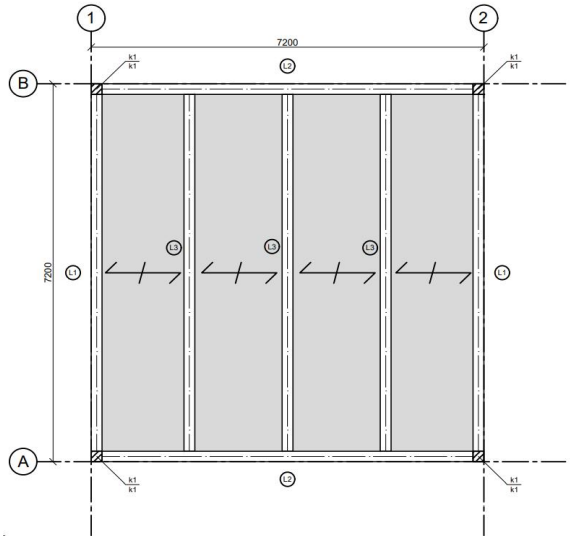
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	200x800	3*75x750
U.C. Buiging	**0,87**	**0,60**
U.C. Dwarskracht		**0,44**
U.C. Stabiliteit	**n.vt.**	**n.v.t.**
U.C. Doorbuiging	**0,60**	**0,73**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	33,3	70,0	35,0	**145,0**	**kN**

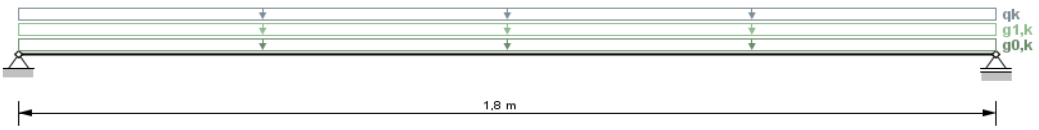
9 Variant 1.7

91 Overzichtstekening



92 Vloeren

Rekenschema



92.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,44	0,00	0,44	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,44	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,29**
	Afschuiving	**0,24**
	Oplegdruk	**0,12**
	Doorbuiging	**0,67**

92.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,20	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,32**
	Afschuiving	**0,55**
	Schuifspanning	**0,76**
	Oplegdruk	**0,57**
	Doorbuiging	**0,43**

92.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,07**
	Afschuiving	**0,27**
	Schuifspanning	**0,43**
	Oplegdruk	**0,29**
	Doorbuiging	**0,17**

92.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,39	0,00	0,39	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,39	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x171**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving	**0,52**	
	Doorbuiging	**0,57**	

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,3	5,4	2,7	**9,7**	**kN**
CLT R3	2,6	10,9	5,4	**19,4**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

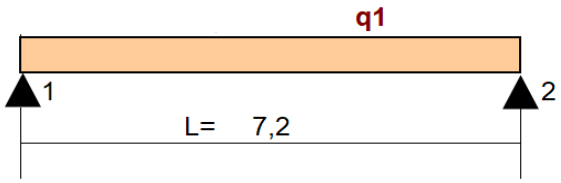
93 Liggers

93.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,60	10,86	2,60	10,86	5,43	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,60	10,86	5,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x600	75x700
U.C. Buiging	**0,87**	**0,70**
U.C. Dwarskracht	**0,52**	**0,64**
U.C. Stabiliteit	**0,87**	**0,70**
U.C. Doorbuiging	**0,92**	**0,95**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	9,4	39,1	19,6	**69,9**	**kN**

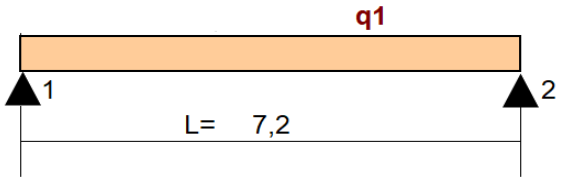
croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

93.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,30	5,43	1,30	5,43	2,72	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					5,60	5,43	2,72	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x600	75x630
U.C. Buiging	**0,78**	**0,66**
U.C. Dwarskracht	**0,45**	**0,53**
U.C. Stabiliteit	**0,78**	**0,66**
U.C. Doorbuiging	**0,79**	**0,95**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	20,2	19,6	9,8	**53,5**	**kN**

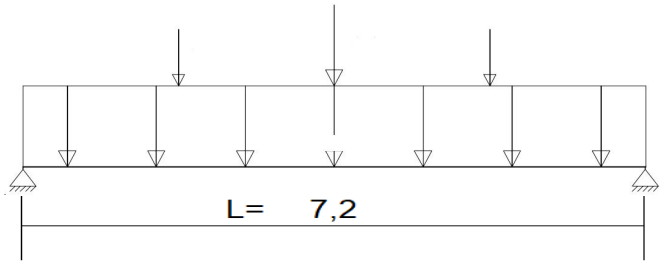
94 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	9,36	39,10	9,36	39,10	19,55	ja
Subtotalen: **F_1:**					9,36	39,10	19,55	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	200x800	2* 75x750
U.C. Buiging	**0,76**	**0,78**
U.C. Dwarskracht		**0,58**
U.C. Stabiliteit	**n.v.t.**	**n.v.t**
U.C. Doorbuiging	**0,52**	**0,94**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	32,2	59,0	29,5	**127,1**	**kN**

95 Kolommen K1

95.1 Kolom K1

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	20,16	19,55	20,16	19,55	9,78	ja
Subtotalen: **F_1:**					20,16	19,55	9,78	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	39,7	kN
6.10a	(STR)	= $1{,}35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1{,}5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		41,9	kN
6.10b	(STR)	= $1{,}2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1{,}5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		53,5	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	53,5	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	32,20	59,00	32,20	59,00	29,50	ja
Subtotalen: **F_1:**					32,20	59,00	29,50	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	91,2	kN
6.10a	(STR)	= $1{,}35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1{,}5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		87,7	kN
6.10b	(STR)	= $1{,}2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1{,}5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		127,1	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	127,1	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	20,16	19,55	20,16	19,55	9,78	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	32,20	59,00	32,20	59,00	29,50	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	20,16	19,55	20,16	9,78	9,78	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	32,20	59,00	32,20	29,50	29,50	nee
Plat dak L1	3,6	3,6	2,31	2,50	29,94	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					134,7	117,8	78,55	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	252,5	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		299,6	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		338,3	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	338,3	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**338**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**54**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**127**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**519**	kN	

Excentriciteit L1				**Excentriciteit L2**			
Geschat profiel	b	=	300 mm	h	=	300	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	200 mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	200	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**10,7** kNm	$M_{ez;d}$	=	**25,4**	kNm

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		300x300
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,74**
U.C.	F6.24	**0,79**

Bijlage 2: *Constructieve uitwerking variant 2*

Onderstaande constructieve uitwerking zijn opgesteld met behulp van de Excel-sheet van Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau. *(Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V., 2021)*, zie volgende pagina voor de bijlage.

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Projectnummer: 2101

Constructieve dimensionering
Constructievee varianten 2.

Documentnummer: 140403 versie 1

Statische berekeningen

Datum:

25 mei 2021

Kerkenbos 1006
6546 BA Nijmegen
T (024) 372 19 19
E bureau@croes.nl

Projectnummer: 2101
Constructieve dimensionering
Constructievee varianten 2.
Documentnummer: 140403 versie 1 , datum: 25-05-2021
Statische berekeningen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Opdrachtgever:
Hout U Flexibel
Contactpersoon: n.v.t.

Statische berekeningen ten behoeve van:
Constructieve dimensionering
Constructievee varianten 2.

Adviseur constructie:
Kerkenbos 1006
6546 BA Nijmegen
Tel. : 024 372 19 19
Email :
Contactpersoon :

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Inhoud

		blad:
1.	**1.**	**1.**
1.1	**Algemeen**	**0**
1.2	**Basisdocumenten**	**2**
1.3	**Voorschriften**	**2**
1.4	**Uitgangspunten materialen**	**4**
1.5	**Uitgangspunten voor de berekening**	**4**
1.6	**Software**	**5**
1.7	**Brand**	**5**
2.	**Belastingen**	**6**
2.1	**Dakbelastingen**	**6**
2.2	**Vloerbelastingen**	**7**
2.3	**Overige belastingen**	**7**
3.	**Variant 2.1**	**8**
3.1	**Overzichtstekening**	**8**
3.2	**Vloeren**	**8**
3.3	**Liggers**	**11**
3.4	**Kolommen K1**	**13**
4.	**Variant 2.2**	**15**
4.1	**Overzichtstekening**	**15**
4.2	**Vloeren**	**15**
4.3	**Liggers**	**18**
4.4	**Kolommen K1**	**21**
5.	**Variant 2.3**	**23**
5.1	**Overzichtstekening**	**23**
5.2	**Vloeren**	**23**
5.3	**Liggers**	**26**
6.	**Variant 2.4**	**29**
6.1	**Overzichtstekening**	**29**
6.2	**Vloeren**	**29**
6.3	**Liggers**	**32**
7.	**Variant 2.5**	**35**
7.1	**Overzichtstekening**	**35**
7.2	**Vloeren**	**35**
7.3	**Liggers**	**38**
8.	**Variant 2.6**	**42**
8.1	**Overzichtstekening**	**42**
8.2	**Vloeren**	**42**
8.3	**Liggers**	**45**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

9.	**Variant 2.8**	**49**
9.1	**Overzichtstekening**	**49**
9.2	**Vloer type 1: CLT plaat**	**49**
9.3	**Vloer Variant Glulam**	**50**
9.4	**Ligger 1, 2 en 3 Variant Glulam**	**50**
9.5	**Totaalconstructie Variant Glulam**	**50**
9.6	**Vloer Variant LVL**	**51**
9.7	**Ligger 1, 2 en 3 Variant LVL**	**51**
9.8	**Totaalconstructie Variant LVL**	**52**
10.	**Variant 2.10**	**53**
10.1	**Overzichtstekening**	**53**
10.2	**Vloeren**	**53**
10.3	**Liggers**	**56**
11.	**Variant 2.11**	**58**
11.1	**Overzichtstekening**	**58**
11.2	**Vloeren**	**58**
11.3	**Liggers**	**61**
11.4	**Kolommen K1**	**64**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

1.1 Algemeen

Projectomschrijving: Documentnummer: 140403 versie 1 , datum: 25-05-2021
Statische berekeningen

Document Statische berekeningen bevat de navolgende onderdelen:
Statische berekeningen

Constructieve opbouw

Fundering:	n.v.t.
Begane grondvloer:	n.v.t.
1e t/m 3e verdiepingsvloer:	Zie varianten

Stabiliteit

De stabiliteit van het gebouw wordt kwalitatief beschouwd en vermeld in het hoofdrapportage.

1.2 Basisdocumenten

Berekeningen in dit document zijn gebaseerd op de navolgende basisstukken:

Tekeningen: Constructieve varianten datum: 16-03-21

1.3 Voorschriften

Berekeningen zijn gebaseerd op Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.
Van fabrikanten c.q. aannemers c.q. leveranciers wordt verwacht dat zij tevens hun berekeningen en voorschriften ontlenen aan de Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.

Eurocode

NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991 (serie)	Belastingen
NEN-EN 1992 (serie)	Betonconstructies
NEN-EN 1993 (serie)	Staalconstructies
NEN-EN 1994 (serie)	Staal-Betonconstructies
NEN-EN 1995 (serie)	Houtconstructies
NEN-EN 1996 (serie)	Metselwerkconstructies
NEN-EN 1997 (serie)	Geotechnische constructies
NEN-EN 1999 (serie)	Aluminiumconstructies

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

1.4 Uitgangspunten materialen

Indien niet anders wordt aangegeven, is er in deze berekening uitgegaan van:

Hout:	C24, standaard bouwhout	
	GL28c, gelamineerd hout (gecombineerd opbouw)	
	48P, LVL	
Staal:	walsprofielen	S235 JR
	warmgevormde buisprofielen	S355 J2H
	koudgevormde ronde buisprofielen	S235 JRH
Bouten:	8.8, gerolde draad	
Ankerbouten:	4.6, gerolde draad	

1.5 Uitgangspunten voor de berekening

Levensduur:

Ontwerplevensduurklasse: **klasse 4**
Ontwerplevensduur: **100 jaren**
Toepassing: **Monumentale gebouwen**

Voetnoten: Beslissing om een gebouw als monumentaal aan te merken is ter beoordeling aan klant.

Betrouwbaarheid van het bouwwerk:

Betrouwbaarheidsklasse: **klasse 2** Eurocode: RC2
Definitie in risico: Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

Belastingsfactor: (K_{FI}) = 1,0
Ontwerplevensduur: 100 jaren

Betrouwbaarheid van ontwerp en uitvoering:

De supervisieniveaus en inspectieniveaus worden door Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau toegepast in de ontwerpfase. Ten behoeve van de betrouwbaarheidsdifferentiatie worden de partiële factoren van belastingen vermenigvuldigd met de belastingfactor (KFI) conform NEN-EN-1990-NB, paragraaf B3.3.

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 1 mogen door de hoofdconstructeur zelf worden gecontroleerd en geverifieerd (DSL 1). Projecten in betrouwbaarheidsklasse 2 worden gecontroleerd door een projectonafhankelijke register constructeur van ons bureau, conform ons kwaliteitshandboek (NEN-EN-ISO 9001:2008) (DSL 2).

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 3 dienen door middel van een uitgebreide supervisie te worden getoetst door een andere organisatie dan die het ontwerp heeft gemaakt. In overleg met onze opdrachtgever wordt definitief vorm gegeven aan deze supervisie (DSL 3).

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 3 dienen door middel van een inspectie door derden te worden getoetst in uitvoeringsfase. In overleg met onze opdrachtgever wordt definitief vorm gegeven aan deze inspectie (IL 3).

1.6 Software

In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van een aantal rekenprogramma's.
Hieronder een overzicht van de gehanteerde software bij Croes met daarbij aangegeven de leverancier en de versie. Versienummers zijn geïnventariseerd op 01-01-2021.
Lees voor versie: versienummer .. of hoger.
In deze lijst zijn niet opgenomen de productgebonden softwareprogramma's.

Leverancier	Software	Versie
Technosoft	TS Liggers	6.60a
Holz.bau	CLTdesigner	7.3
MetsäWood	Finnwood	2.4.2 NL
Qec	Excel reken-tabellen	2021

1.7 Brand

1.7.1 Algemeen

Conform het Bouwbesluit 2012 worden met betrekking tot brand eisen gesteld aan de constructies in het kader van:
1) voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten.
2) veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten.
3) brandscheidingen (WBDBO).

Voor de brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten zie 1.7.2.

De brandwerendheidseisen in het kader van veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten (2) en brandscheidingen (3) worden aangegeven door de architect, bouwkundige of adviseur brandveiligheid.

1.7.2 Brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting

Een bouwconstructie bezwijkt niet bij brand in een brandcompartiment waarin de constructie niet ligt gedurende **x** minuten door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan het brandcompartiment.

De eis in minuten wordt gedefinieerd door de gebruiksfunctie en de hoogte van het verblijfsgebied:

Gebruiksfunctie: 01. Woonfunctie
Hoogstgelegen vloer: 13,00 m. + maaiveld
Eis: 90(90) min.

Op basis van de maximale eisen behorende bij bovengenoemde functies bedraagt de eis:
Eis: **90 (90)** min.
De tussen haakjes geplaatste waarde is de gereduceerde waarde voor gebouwen met een lagere permanente vuurbelasting dan 500 MJ/m^2.

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2. Belastingen

2.1 Dakbelastingen

Plat dak **Gebied** **4.1**

g_k =	Dakvloerconstructie		=	variabel	
	leidingen		=	0,20	
	systeemplafond		=	0,30	
	isolatie (PIR/PUR/PS) + 2-laagse dakbedekking		=	0,15	
	PV-panelen		=	0,25	
	betonnen tegels	H_{gem} = 40	=	0,96	
				1,86	kN/m^2

q_k =	< 10 m^2		=	**2,50**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	$\Psi_{0/1/2}$ = 0	=	**0,00**	kN/m^2
s_n =	(Variatiecoefficient = 0,8)		=	**0,80**	kN/m^2
s =	s_n x μ_i =	0,80 x 3	=	**2,40**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan:	Ψ_0 = 0	=	**0,00**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan:	Ψ_1 = 0,2	=	**0,48**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan:	Ψ_2 = 0	=	**0,00**	kN/m^2

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,86	kN/m^2
Maatgevende last vloerpakket:	2,50	kN/m^2
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90 min	
Bouwlaag:	4	
Omschrijving op tekening:	Dakvloerconstructie	

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2.2 Vloerbelastingen

Verdiepingsvloer str. 7,2 m **Gebied** **1.1**

g_k =	Dakvloerconstructie		=	variabel	
	computervloer		=	0,50	
	leidingen		=	0,20	
	systeemplafond		=	0,30	
				1,00	kN/m^2
q_k =	Klasse C5-grote mensenmassa's		=	**5,00**	
$q_{k;t}$ = (100 jr)	$q_{k;t} = q_k$ x (1+(1-Ψ_0)/9 x ln (t/50))		=	**5,23**	
	lichte scheidingswanden (1.0 < qk ≤ 2.0 kN/m)		=	0,80	
				6,03	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	Ψ_0 = 0,4	=	**2,41**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	Ψ_1 = 0,7	=	**4,22**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan:	Ψ_2 = 0,6	=	**3,62**	kN/m^2

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b.	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,00	kN/m^2
Maatgevende last vloerpakket:	6,03	kN/m^2
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90 min	
Bouwlaag:	1 t/m 3	
Omschrijving op tekening:	Verdiepingsvloerconstructie	

2.3 Overige belastingen

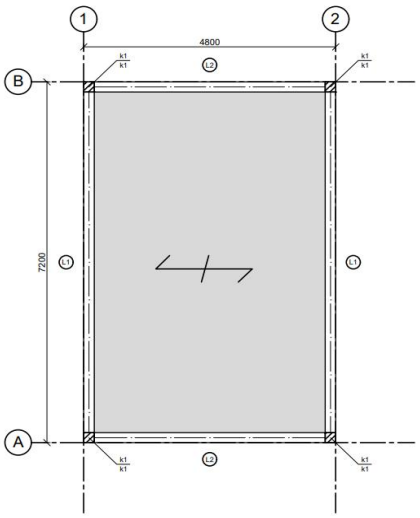
Overige wanden en gevels

g_k =	houtskeletbouwwand	=	**0,50**	kN/m^2
g_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2
q_k =	vliesgevel	=	**1,00**	kN/m^2
g_k =	CLT wand dik 150 mm	=	**0,75**	kN/m^2
g_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

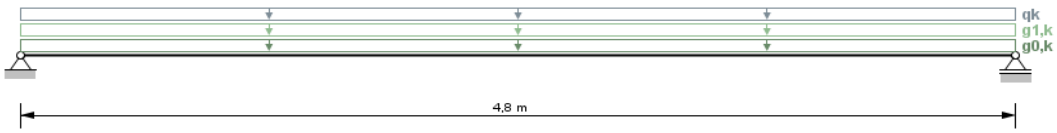
3. Variant 2.1

3.1 Overzichtstekening



3.2 Vloeren

Rekenschema



3.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	1,21	0,00	1,21	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				2,21	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**7**
PROFIELKEUZE:		**L-220/7s**
U.C.:	Buiging	**0,33**
	Afschuiving	**0,26**
	Oplegdruk	**0,17**
	Doorbuiging	**0,72**

3.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,30	0,00	0,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,30	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x300 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,51**
	Afschuiving	**0,50**
	Schuifspanning	**0,77**
	Oplegdruk	**0,77**
	Doorbuiging	**0,82**

3.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x180-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,21**
	Afschuiving	**0,59**
	Schuifspanning	**0,93**
	Oplegdruk	**0,77**
	Doorbuiging	**0,89**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

3.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag***	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**1,51**	
	Afschuiving	**0,47**	
	Doorbuiging	**2,14**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT	5,3	14,5	7,2	**28,1**	**kN**

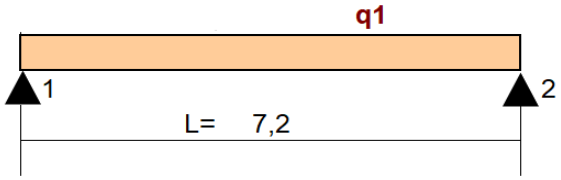
3.3 Liggers

3.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	5,30	14,47	5,30	14,47	7,24	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					9,60	14,47	7,24	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd***	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x271	185x700	2* 75x660
U.C. Buiging	**16,78**	**0,80**	**0,67**
U.C. Dwarskracht	**3,50**	**0,51**	**0,55**
U.C. Stabiliteit	**16,78**	**0,80**	**0,67**
U.C. Doorbuiging	**37,48**	**0,73**	**0,98**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 2 niet meer beschouwd.

Reacties

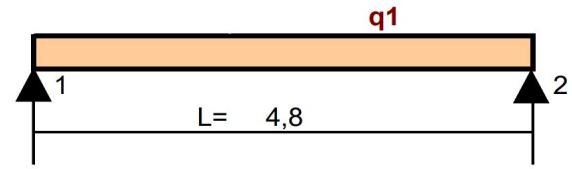
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	34,6	52,1	26,0	**119,6**	**kN**

3.3.2 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x271	90x300	75x320
U.C. Buiging	**1,30**	**0,64**	**0,45**
U.C. Dwarskracht	**0,39**	**0,30**	**0,28**
U.C. Stabiliteit	**1,30**	**0,64**	**0,46**
U.C. Doorbuiging	**1,91**	**0,98**	**0,88**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	10,3	0,0	0,0	**13,9**	**kN**

3.4 Kolommen K1

3.4.1 Kolom K1

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	34,56	52,09	34,56	52,09	26,05	ja
Subtotalen: **F_1:**					34,56	52,09	26,05	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	86,7	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		85,7	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		119,6	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	119,6	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	10,32	0,00	10,32	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **F_1:**					10,32	0,00	0,00	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	10,3	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		13,9	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		12,4	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	13,9	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ 26,07	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	34,56	52,09	34,56	52,09	26,05	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	10,32	0,00	10,32	0,00	0,00	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	34,56	52,09	34,56	26,05	26,05	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	10,32	0,00	10,32	0,00	0,00	nee
Plat dak L1	3,6	2,4	2,31	2,50	19,96	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					109,72	78,14	52,09	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	187,9	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		226,3	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		248,9	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	248,9	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**249**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**120**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**14**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**382**	kN	

Excentriciteit L1

Geschat profiel	b	=	260	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	180	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**21,5**	kNm

Excentriciteit L2

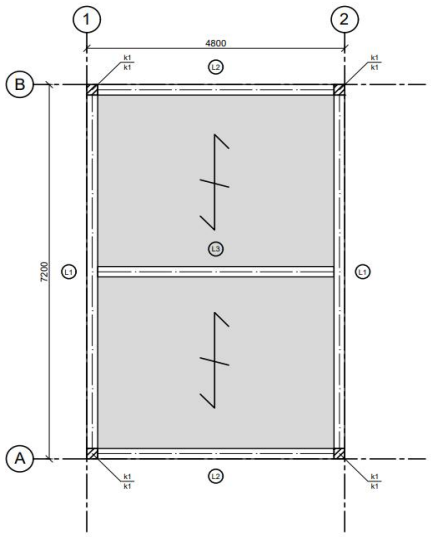
h	=	260	mm	
$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	180	mm	
$M_{ez;d}$	=	**2,5**	kNm	

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		300x300
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,84**
U.C.	F6.24	**0,74**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

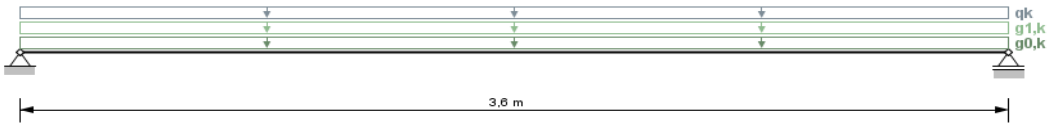
4. Variant 2.2

4.1 Overzichtstekening



4.2 Vloeren

Rekenschema



4.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,88	0,00	0,88	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,88	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**5**
PROFIELKEUZE:		**L-160/5s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,30**
	Oplegdruk	**0,11**
	Doorbuiging	**0,85**

4.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	####	1,00	####	####	ja
EG vloer	1	1	0,28	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,28	####	####	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x31-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,55**
	Afschuiving	**0,55**
	Schuifspanning	**0,91**
	Oplegdruk	**0,57**
	Doorbuiging	**0,94**

4.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,17**
	Afschuiving	**0,52**
	Schuifspanning	**0,84**
	Oplegdruk	**0,58**
	Doorbuiging	**0,65**

4.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,86**	
	Afschuiving	**0,37**	
	Doorbuiging	**0,90**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	3,4	10,9	5,4	**20,3**	**kN**
CLT R2	6,8	21,7	10,9	**40,7**	**kN**

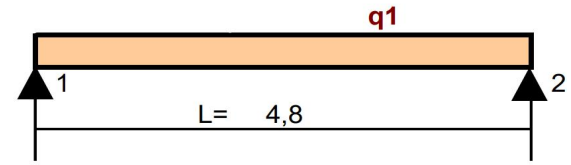
4.3 Liggers

4.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	6,76	21,70	6,76	21,70	10,85	ja
Subtotalen: **q_1:**					6,76	21,70	10,85	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x600	2* 75x470
U.C. Buiging	**0,81**	**0,72**
U.C. Dwarskracht	**0,67**	**0,66**
U.C. Stabiliteit	**0,81**	**0,72**
U.C. Doorbuiging	**0,56**	**0,95**

Reacties

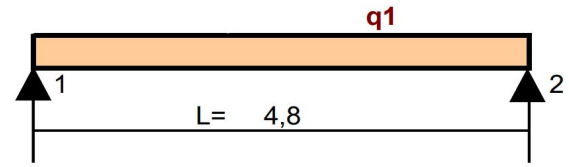
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	16,2	52,1	26,0	**97,6**	**kN**

4.3.2 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,38	10,85	3,38	10,85	5,43	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				7,68	10,85	5,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x500	75x440+33x440
U.C. Buiging	**0,84**	**0,72**
U.C. Dwarskracht	**0,60**	**0,60**
U.C. Stabiliteit	**0,84**	**0,72**
U.C. Doorbuiging	**0,67**	**0,95**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	18,4	26,0	13,0	**61,2**	**kN**

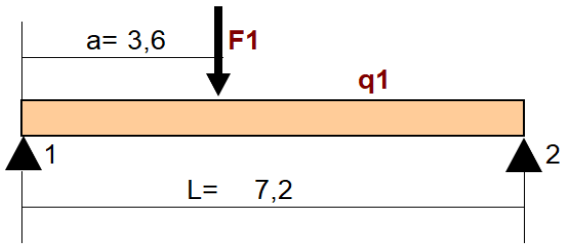
4.3.3 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel		1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen:	**q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)		[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3		1	1	16,22	52,08	16,22	52,08	26,04	ja
Subtotalen:	**F_1:**					16,22	52,08	26,04	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	185x700	2* 75x600
U.C. Buiging	**0,77**	**0,79**
U.C. Dwarskracht	**0,33**	**0,39**
U.C. Stabiliteit	**0,77**	**0,79**
U.C. Doorbuiging	**0,54**	**0,96**

	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ja
F_1:					0,00	0,00	0,00	kN

4.4 Kolommen K1

4.4.1 Kolom K1

26,07

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

2,4 nee

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **F_1:**					0,00	0,00	0,00	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	0,0	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		0,0	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =			kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:					kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	18,43	26,04	18,43	26,04	13,02	ja
Subtotalen: **F_1:**					18,43	26,04	13,02	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	44,5	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		44,4	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		61,2	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	61,2	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven		0,84						
Belastinggeval	[st/b]	0,74	$g_{G,k}$	$q_{Q,k}$	$g_{G,k}$	$q_{Q,k}$	$\Psi \cdot q_{Q,k}$	Extreem
(puntlasten)	[m]	[m]	[kN/m^2]	[kN/m^2]	[kN]	[kN]	[kN]	[ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	0,00	26,04	0,00	26,04	13,02	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	18,43	26,04	18,43	26,04	13,02	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	0,00	26,04	0,00	13,02	13,02	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	18,43	26,04	18,43	13,02	13,02	nee
Plat dak L1	3,6	2,4	2,31	2,50	19,96	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					56,82	78,12	52,08	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	134,9	kN
6.10a	(STR)	= 2,4		154,8	nee
6.10b	(STR)	= 1,2 x K_{FI} x G_{kj} + 1,5 x K_{FI} x ($Q_{k,i}$ + $\psi_{0,i}$ x $Q_{k,i}$) =		185,4	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	185,4	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

Belasting boven	$N_{c;Ed}$	= **185**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	= **0**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	= **61**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	= **247**	kN	

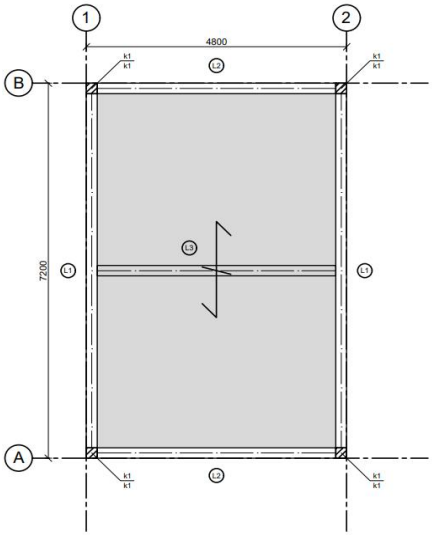
Excentriciteit L1				**Excentriciteit L2**			
Geschat profiel	b	= 260	mm	h	= 260	mm	
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	= 180	mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	= 180	mm	
Moment:	$M_{ey;d}$	= **0,0**	kNm	$M_{ez;d}$	= **11,0**	kNm	

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		260x260
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,77**
U.C.	F6.24	**0,76**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

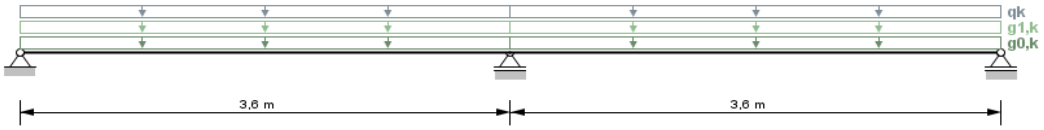
5. Variant 2.3

5.1 Overzichtstekening



5.2 Vloeren

Rekenschema



5.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,72	0,00	0,72	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,72	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**5**
PROFIELKEUZE:		**L-130/5s**
U.C.:	Buiging	**0,50**
	Afschuiving	**0,34**
	Oplegdruk	**0,27**
	Doorbuiging	**0,94**

5.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,55**
	Afschuiving	**0,60**
	Schuifspanning	**0,96**
	Oplegdruk	**0,71**
	Doorbuiging	**0,83**

5.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,14**
	Afschuiving	**0,57**
	Schuifspanning	**0,93**
	Oplegdruk	**0,70**
	Doorbuiging	**0,52**

5.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving	**0,43**	
	Stabiliteit	**0,83**	
	Doorbuiging	**0,54**	

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	2,7	9,5	4,8	**17,5**	**kN**
CLT R2	7,7	27,1	13,6	**50,0**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

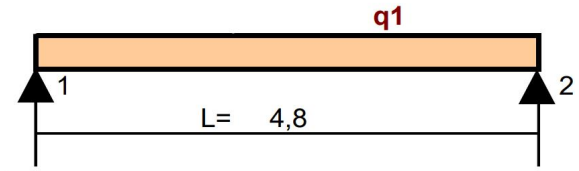
5.3 Liggers

5.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	7,72	27,13	7,72	27,13	13,57	ja
Subtotalen: **q_1:**					7,72	27,13	13,57	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x600	2* 75x500
U.C. Buiging	**0,89**	**0,78**
U.C. Dwarskracht	**0,75**	**0,67**
U.C. Stabiliteit	**0,89**	**0,78**
U.C. Doorbuiging	**0,62**	**0,98**

Reacties

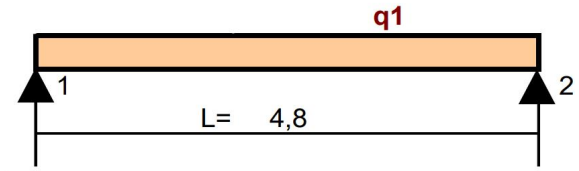
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	18,5	65,1	32,5	**119,9**	**kN**

5.3.2 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,71	9,50	2,71	9,50	4,75	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				7,01	9,50	4,75	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x500	75x500
U.C. Buiging	**0,84**	**0,80**
U.C. Dwarskracht	**0,60**	**0,75**
U.C. Stabiliteit	**0,84**	**0,80**
U.C. Doorbuiging	**0,67**	**0,94**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	18,4	26,0	13,0	**61,2**	**kN**

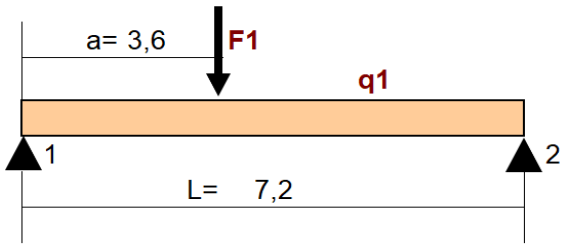
5.3.3 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	18,53	65,09	18,53	65,09	32,55	ja
Subtotalen: **F_1:**					18,53	65,09	32,55	kN

Rekenschema



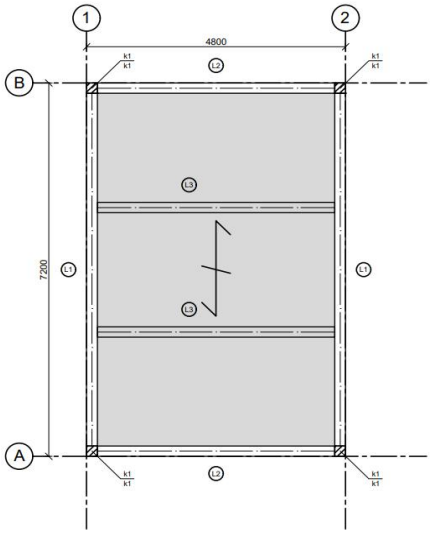
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x800	2*75x640
U.C. Buiging	**0,87**	**0,83**
U.C. Dwarskracht	**0,41**	**0,43**

	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	R_d	
L1	24,8	32,6	16,3	**78,5**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

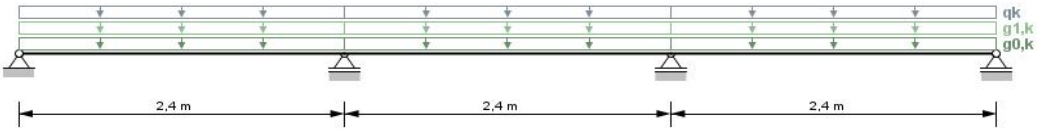
6. Variant 2.4

6.1 Overzichtstekening



6.2 Vloeren

Rekenschema



6.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,50	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-90/3s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,34**
	Oplegdruk	**0,17**
	Doorbuiging	**0,88**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

6.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**	**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**	**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**	**KRT-2400x25-3x45x225 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,23**	**0,37**
	Afschuiving	**0,36**	**0,63**
	Schuifspanning	**0,54**	**0,91**
	Oplegdruk	**0,44**	**0,88**
	Doorbuiging	**0,32**	**0,51**

6.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,08**
	Afschuiving	**0,35**
	Schuifspanning	**0,46**
	Oplegdruk	**0,44**
	Doorbuiging	**0,26**

6.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x196**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving		
	Doorbuiging	**0,49**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,55	6,51	3,26	**11,6**	**kN**
CLT R2	3,95	17,37	8,69	**30,8**	**kN**

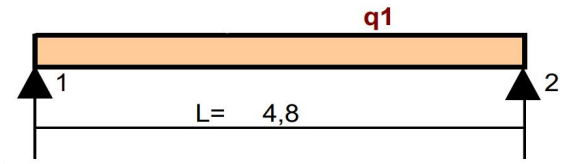
6.3 Liggers

6.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,95	17,37	3,95	17,37	8,69	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,95	17,37	8,69	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x500	2* 75x430
U.C. Buiging	**0,86**	**0,65**
U.C. Dwarskracht	**0,63**	**0,56**
U.C. Stabiliteit	**0,86**	**0,65**
U.C. Doorbuiging	**0,75**	**0,96**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	9,5	41,7	20,8	**73,9**	**kN**

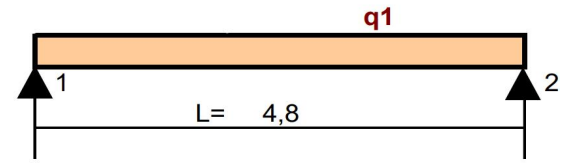
croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

6.3.2 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,55	6,51	1,55	6,51	3,26	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,85	6,51	3,26	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x400	75x430
U.C. Buiging	**0,85**	**0,71**
U.C. Dwarskracht	**0,50**	**0,58**
U.C. Stabiliteit	**0,85**	**0,71**
U.C. Doorbuiging	**0,88**	**0,99**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	14,0	15,6	7,8	**40,3**	**kN**

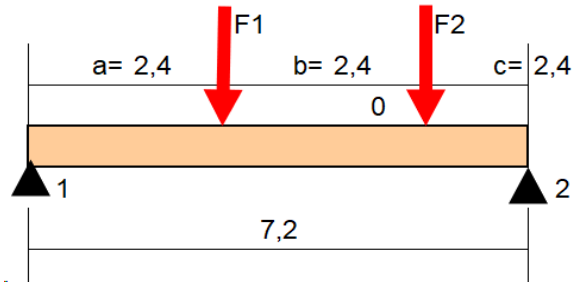
6.3.3 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	9,48	41,69	9,48	41,69	20,85	ja
Subtotalen: **F_1:**					9,48	41,69	20,85	kN

Rekenschema

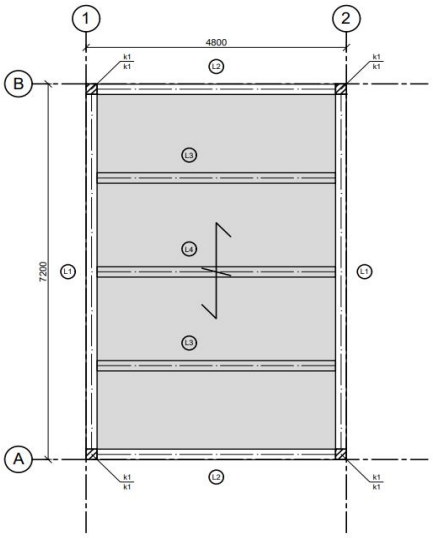


Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	185x700	2*75x720
U.C. Buiging	**0,78**	**0,87**

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	25,0	41,7	20,9	**92,6**	**kN**

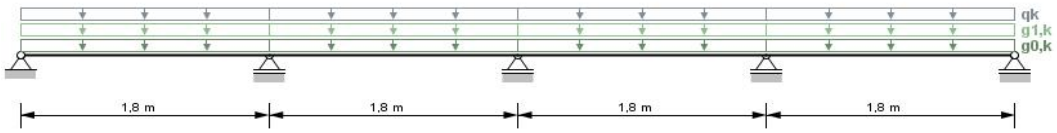
7. Variant 2.5

7.1 Overzichtstekening



7.2 Vloeren

Rekenschema



7.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,44	0,00	0,44	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,44	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,28**
	Afschuiving	**0,29**
	Oplegdruk	**0,14**
	Doorbuiging	**0,51**

7.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,20	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,25**
	Afschuiving	**0,52**
	Schuifspanning	**0,71**
	Oplegdruk	**0,95**
	Doorbuiging	**0,36**

7.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,05**
	Afschuiving	**0,26**
	Schuifspanning	**0,42**
	Oplegdruk	**0,50**
	Doorbuiging	**0,19**

7.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer	**Houten balklaag**	
Fabrikant	**n.v.t.**	
H.o.h.	**610**	
PROFIELKEUZE:	**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.: Buiging	**0,81**	
Afschuiving		
Doorbuiging	**0,41**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,12	4,85	2,43	**8,6**	**kN**
CLT R3	2,97	13,28	6,64	**23,5**	**kN**
CLT R4	2,41	12,40	6,20	**21,5**	**kN**

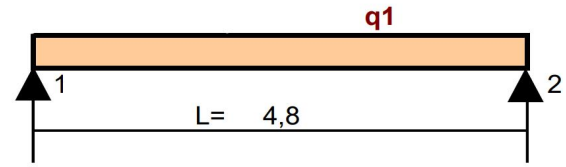
7.3 Liggers

7.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,97	13,28	2,97	13,28	6,64	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,97	13,28	6,64	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x500	75x500
U.C. Buiging	**0,77**	**0,74**
U.C. Dwarskracht	**0,57**	**0,71**
U.C. Stabiliteit	**0,77**	**0,74**
U.C. Doorbuiging	**0,67**	**0,94**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	7,1	31,9	15,9	**56,4**	**kN**

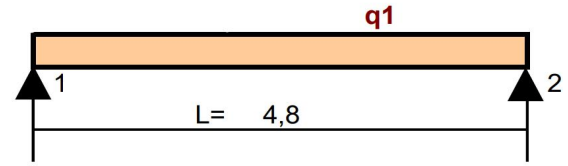
croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

7.3.2 Ligger L4

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,41	12,40	2,41	12,40	6,20	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,41	12,40	6,20	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	90x500	75x500
U.C. Buiging	**0,89**	**0,67**
U.C. Dwarskracht	**0,66**	**0,65**
U.C. Stabiliteit	**0,89**	**0,67**
U.C. Doorbuiging	**0,79**	**0,86**

Reacties

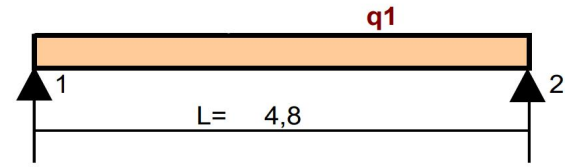
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L4	5,1	29,8	14,9	**50,8**	**kN**

7.3.3 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,12	4,85	1,12	4,85	2,43	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					5,42	4,85	2,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	90x400	75x410
U.C. Buiging	**0,89**	**0,64**
U.C. Dwarskracht	**0,53**	**0,50**
U.C. Stabiliteit	**0,89**	**0,64**
U.C. Doorbuiging	**0,94**	**0,95**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d

Rekenschema

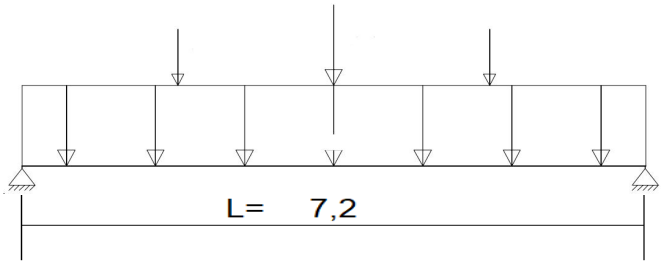
7.3.4 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ 26,07	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] 2,4	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem nee
Reactie L3	1	1	7,13	31,87	7,13	31,87	15,94	ja
Reactie L4	1	1	5,14	29,76	5,14	29,76	14,88	ja

Rekenschema



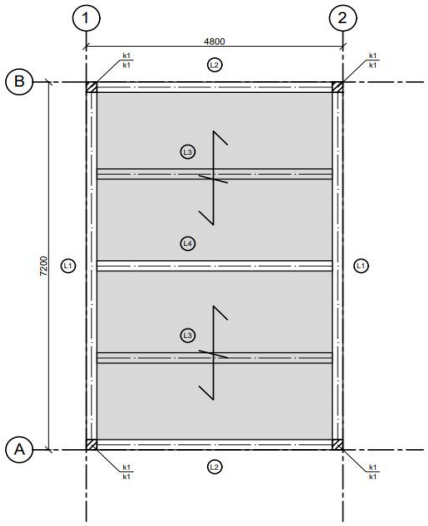
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	185x700	3*69x600
U.C. Buiging	**0,85**	**0,69**
U.C. Dwarskracht		**0,43**
U.C. Stabiliteit	**n.vt.**	**n.v.t.**
U.C. Doorbuiging	**0,67**	**0,99**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	27,5	46,8	23,4	**103,1**	**kN**

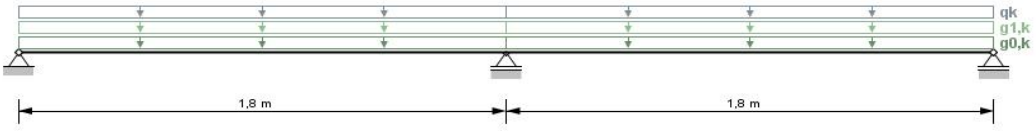
8. Variant 2.6

8.1 Overzichtstekening



8.2 Vloeren

Rekenschema



8.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,50	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,25**
	Afschuiving	**0,26**
	Oplegdruk	**0,15**
	Doorbuiging	**0,39**

8.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**	**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**	**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**	**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,14**	**0,27**
	Afschuiving	**0,27**	**0,51**
	Schuifspanning	**0,37**	**0,70**
	Oplegdruk	**0,54**	**0,69**
	Doorbuiging	**0,19**	**0,35**

8.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,05**
	Afschuiving	**0,26**
	Schuifspanning	**0,43**
	Oplegdruk	**0,53**
	Doorbuiging	**0,17**

8.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**59x146**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,86**	
	Afschuiving	**0,47**	
	Oplegdruk	**0,86**	
	Doorbuiging	**0,52**	

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,57	6,33	3,17	**11,4**	**kN**
CLT R3	4,49	18,09	9,05	**32,5**	**kN**
CLT R4	3,14	12,66	6,33	**22,8**	**kN**

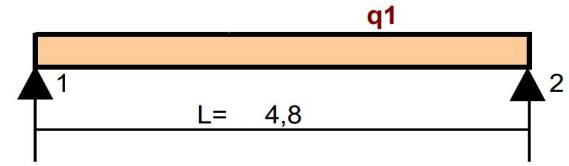
8.3 Liggers

8.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	4,49	18,09	4,49	18,09	9,05	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,49	18,09	9,05	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x600	75x500+33x500
U.C. Buiging	**0,76**	**0,71**
U.C. Dwarskracht	**0,65**	**0,69**
U.C. Stabiliteit	**0,76**	**0,71**
U.C. Doorbuiging	**0,54**	**0,89**

Reacties

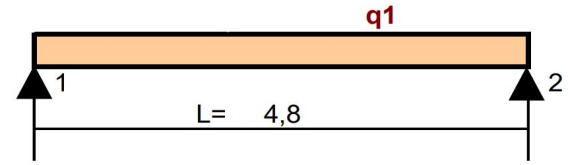
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	10,8	43,4	21,7	**78,1**	**kN**

8.3.2 Ligger L4

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,14	12,66	3,14	12,66	6,33	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,14	12,66	6,33	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x500	75x500
U.C. Buiging	**0,75**	**0,72**
U.C. Dwarskracht	**0,55**	**0,69**
U.C. Stabiliteit	**0,75**	**0,72**
U.C. Doorbuiging	**0,65**	**0,90**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

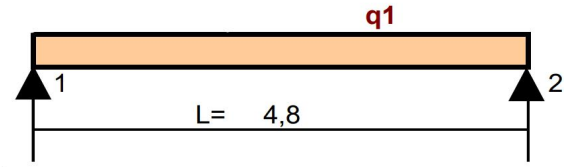
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	7,5	30,4	15,2	**54,6**	**kN**

8.3.3 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,57	6,33	1,57	6,33	3,17	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,87	6,33	3,17	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	115x400	75x440
U.C. Buiging	**0,83**	**0,67**
U.C. Dwarskracht	**0,50**	**0,56**
U.C. Stabiliteit	**0,83**	**0,67**
U.C. Doorbuiging	**0,87**	**0,91**

	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ja
	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ja
L2		14,1	15,2	7,6			**39,7**	**kN**

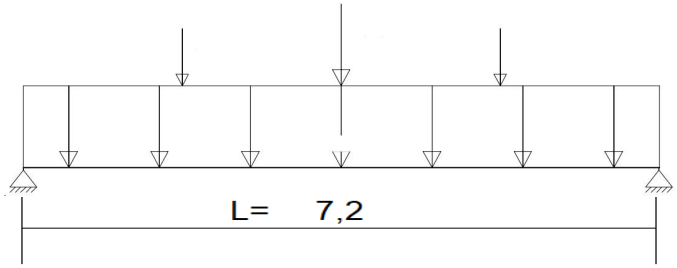
8.3.4 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] 2,4	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem nee
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	10,78	43,42	10,78	43,42	21,71	ja
Reactie L4	1	1	7,54	30,38	7,54	30,38	15,19	ja
Subtotalen: **F_1:**					7,54	30,38	15,19	kN

Rekenschema



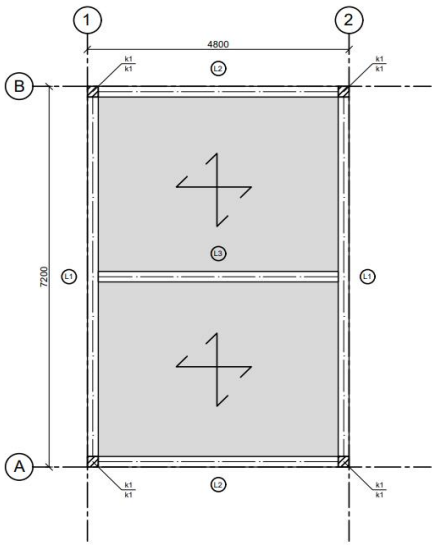
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x800	3*75x750
U.C. Buiging	**0,96**	**0,50**
U.C. Dwarskracht		**0,39**
U.C. Stabiliteit	**n.vt.**	**n.vt.**
U.C. Doorbuiging	**0,84**	**0,61**
	0,74	

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	33,1	58,6	29,3	**127,7**	**kN**

9. Variant 2.8

9.1 Overzichtstekening



9.2 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,88	0,00	0,88	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,88	6,03	3,02	kN/m

Type vloer	**CLT plaat**	Overall height	t_{CLT}	160	mm
Fabrikant	**DERIX**	Number of layers	n	5	
Aantal laags:	**5**	Board width	a	160	mm
PROFIELKEUZE:	**L-160/5s**	Average board height	t_i	40	mm

	Number of Layers		
	3	5	7
p_D	0,89	0,67	0,55
q_D	1,33	1,26	1,23
p_S	0,53	0,43	0,43
q_S	1,21	1,21	1,21

$$\kappa_{33} = \frac{1}{1 + 6 \cdot p_D \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^{q_D}} = \quad \mathbf{0{,}588}$$

$$\kappa_{88} = \frac{1}{1 + 6 \cdot p_S \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^{q_S}} = \quad \mathbf{0{,}675}$$

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

9.3 Vloer Variant Glulam

Bovenstaand vloerprofiel

Toetsingen vloer			
Geometrie	Onderdeel		Vloer
	Overspanning	mm	3600
	Profiel b*h	mm	0 graden
Sterkte toets dwarskracht UGT	Toel. spanning	N/mm²	1,6
	Optr. dwarskr.	kN	21,96
	Optr. spanning	N/mm²	0,09
	U.C.		0,05
Sterkte toets moment UGT	Toel. spanning	N/mm²	20,16
	Weerstandsm.	mm³	3800000
	Toel. moment	kNm	76,61
	Optr. moment	kNm	23,86
	U.C.		0,31

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 4,0}{1,25} = 2,56\ N/mm^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 24}{1,25} = 15,36\ N/mm^2$$

9.4 Ligger 1, 2 en 3 Variant Glulam

Type ligger	**Glulam**
Houtkwaliteit	GL28c
Fabrikant	n.v.t

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 3,5}{1,25} = 2,24\ N/mm^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 28}{1,25} = 17,92\ N/mm^2$$

Toetsingen liggers										
Geometrie	Onderdeel		Ligger 1		Ligger 2		Ligger 3	
	Overspanning	mm	7200		4800		4800	
	Profiel b*h	mm	150	700	72	500	115	500
Sterkte toets dwarskrachtUGT	Oppervlakte	mm²	105000		36000		57500	
	Toel. spanning	N/mm²	2,24		2,24		2,24	
	Toel. dwarskr.	kN	235,2		80,64		128,8	
	Optr. dwarskr.	kN	102,85		26,33		31,65	
	U.C.		0,44		0,33		0,25	
Sterkte toets moment UGT	Toel. spanning	N/mm²	17,92		17,92		17,92	
	Weerstandsm.	mm³	12250000		3000000		4791667	
	Toel. moment	kNm	219,52		53,76		85,87	
	Optr. moment	kNm	210,33		35,9		46,33	
	U.C.		0,96		0,67		0,54	
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	28,8	0,4%	19,2	0,4%	19,2
	Optredend	mm	22,1		10,2		7,7	
	U.C.		0,77		0,53		0,40	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	21,60	0,3%	14,40	0,3%	14,40
	Optredend	mm	13,5		5		5,8	
	U.C.		0,63		0,35		0,40	

9.5 Totaalconstructie Variant Glulam

Toetsingen totaalvervorming				
Geometrie	Onderdeel		Totaal: maximale vervorming	
	Overspanning	mm	Diagonaal	8653
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	34,6
	Optredend	mm	33,2	
	U.C.		0,96	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	25,96
	Optredend	mm	22,7	
	U.C.		0,87	

9.6 Vloer Variant LVL

Bovenstaand vloerprofiel

Toetsingen vloer			
Geometrie	Onderdeel		Vloer
	Overspanning	mm	3600
	Profiel b*h	mm	0 graden
Sterkte toets dwarskracht UGT	Toel. spanning	N/mm²	1,6
	Optr. dwarskr.	kN	24,54
	Optr. spanning	N/mm²	0,10
	U.C.		0,06
Sterkte toets moment UGT	Toel. spanning	N/mm²	20,16
	Weerstandsm.	mm³	3800000
	Toel. moment	kNm	76,61
	Optr. moment	kNm	23,27
	U.C.		0,30

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 4,0}{1,25} = 2,56\ N/mm^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 24}{1,25} = 15,36\ N/mm^2$$

9.7 Ligger 1, 2 en 3 Variant LVL

Type ligger	**LVL**
Houtkwaliteit	Kerto S balk
Fabrikant	MetsaWood

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 4,1}{1,20} = 2,73\ N/mm^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 44}{1,20} = 29,33\ N/mm^2$$

Toetsingen liggers										
Geometrie	Onderdeel		Ligger 1		Ligger 2		Ligger 3	
	Overspanning	mm	7200		4800		4800	
	Profiel b*h	mm	150	650	75	480	150	500
Sterkte toets dwarskrachtUGT	Oppervlakte	mm²	97500		36000		75000	
	Toel. spanning	N/mm²	2,73		2,73		2,73	
	Toel. dwarskr.	kN	266,175		98,28		204,75	
	Optr. dwarskr.	kN	102,89		27,07		35,37	
	U.C.		0,39		0,28		0,17	
Sterkte toets moment UGT	Toel. spanning	N/mm²	29,33		29,33		29,33	
	Weerstandsm.	mm³	10562500		2880000		6250000	
	Toel. moment	kNm	309,80		84,4704		183,31	
	Optr. moment	kNm	212,05		37,07		52,47	
	U.C.		0,68		0,44		0,29	
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	28,8	0,4%	19,2	0,4%	19,2
	Optredend	mm	23,8		9,9		5,8	
	U.C.		0,83		0,52		0,30	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	21,60	0,3%	14,40	0,3%	14,40
	Optredend	mm	14,5		4,8		4,4	
	U.C.		0,67		0,33		0,31	

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

9.8 Totaalconstructie Variant LVL

Toetsingen totaalvervorming				
Geometrie	Onderdeel		Totaal: maximale vervorming	
	Overspanning	mm	Diagonaal	8653
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	34,6
	Optredend	mm	33,9	
	U.C.		0,98	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	25,96
	Optredend	mm	23	
	U.C.		0,89	

Reacties Variant Glulam

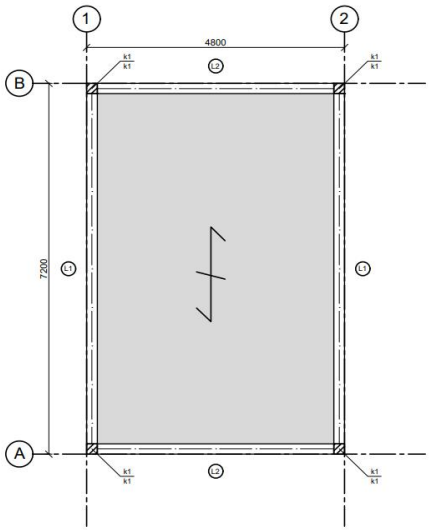
Oplegging	G	Q_k	$\psi_0.Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	31,3	43,4	21,7	**102,7**	**kN**
L2	11,7	8,7	4,4	**27,1**	**kN**

Reacties Variant LVL

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0.Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	31,7	43,2	21,6	**102,9**	**kN**
L2	11,4	8,9	4,5	**27,1**	**kN**

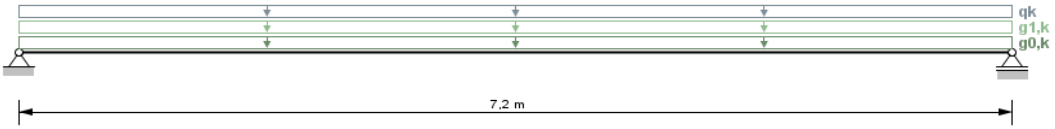
10. Variant 2.10

10.1 Overzichtstekening



10.2 Vloeren

Rekenschema



10.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	1,65	0,00	1,65	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				2,65	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**9**
PROFIELKEUZE:		**LL-300/9s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,30**
	Oplegdruk	**0,11**
	Doorbuiging	**0,85**

10.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,45	0,00	0,45	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,45	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x37-5x51x400 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,59**
	Afschuiving	**0,50**
	Schuifspanning	**0,83**
	Oplegdruk	**0,60**
	Doorbuiging	**0,96**

10.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x31-5x45x300-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,27**
	Afschuiving	**0,58**
	Schuifspanning	**0,85**
	Oplegdruk	**0,68**
	Doorbuiging	**0,94**

10.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**3,43**	
	Afschuiving	**0,72**	
	Doorbuiging	**6,30**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT	9,5	21,7	10,9	**44,0**	**kN**

10.3 Liggers

10.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	9,54	21,71	9,54	21,71	10,86	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					13,84	21,71	10,86	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x600	2* 75x500
U.C. Buiging	**0,88**	**0,77**
U.C. Dwarskracht	**0,71**	**0,73**
U.C. Stabiliteit	**0,88**	**0,77**
U.C. Doorbuiging	**0,57**	**0,90**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

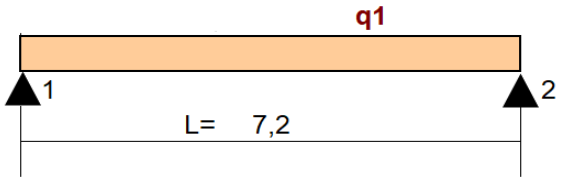
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	33,2	52,1	26,1	**118,0**	**kN**

10.3.2 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x500	75x480
U.C. Buiging	**0,69**	**0,45**
U.C. Dwarskracht	**0,34**	**0,28**
U.C. Stabiliteit	**0,69**	**0,45**
U.C. Doorbuiging	**0,89**	**0,88**

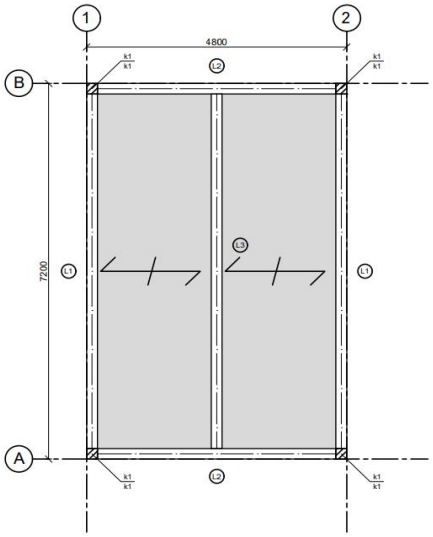
Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	15,5	0,0	0,0	**20,9**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

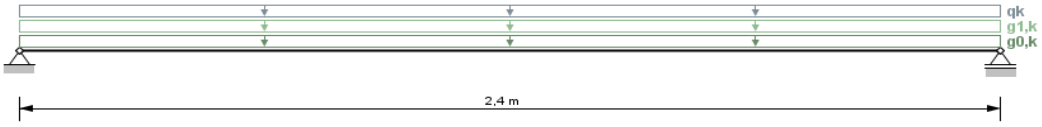
11. Variant 2.11

11.1 Overzichtstekening



11.2 Vloeren

Rekenschema



11.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,55	0,00	0,55	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,55	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-100/3s**
U.C.:	Buiging	**0,32**
	Afschuiving	**0,27**
	Oplegdruk	**0,09**
	Doorbuiging	**0,77**

11.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,27**
	Afschuiving	**0,37**
	Schuifspanning	**0,54**
	Oplegdruk	**0,38**
	Doorbuiging	**0,40**

11.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
Subtotalen:	**q_1:**				1,00	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x180-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,10**
	Afschuiving	**0,35**
	Schuifspanning	**0,58**
	Oplegdruk	**0,39**
	Doorbuiging	**0,30**

11.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x196**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,80**	
	Afschuiving	**0,48**	
	Doorbuiging	**0,70**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,9	7,2	3,6	**13,1**	**kN**
CLT R2	3,7	14,5	7,2	**26,2**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

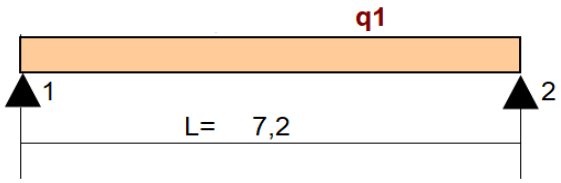
11.3 Liggers

11.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,72	14,48	3,72	14,48	7,24	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,72	14,48	7,24	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x700	2* 75x610
U.C. Buiging	**0,86**	**0,62**
U.C. Dwarskracht	**0,58**	**0,50**
U.C. Stabiliteit	**0,86**	**0,62**
U.C. Doorbuiging	**0,78**	**0,96**

Reacties

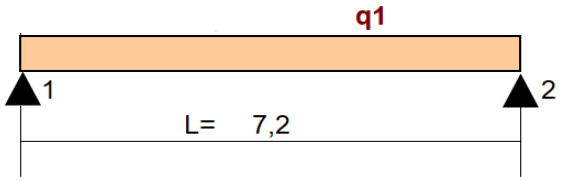
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	13,4	52,1	26,1	**94,3**	**kN**

11.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,86	7,24	1,86	7,24	3,62	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				6,16	7,24	3,62	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x600	75x600 + 33x600
U.C. Buiging	**0,82**	**0,62**
U.C. Dwarskracht	**0,47**	**0,48**
U.C. Stabiliteit	**0,82**	**0,62**
U.C. Doorbuiging	**0,81**	**0,92**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	22,2	26,1	13,0	**65,7**	**kN**

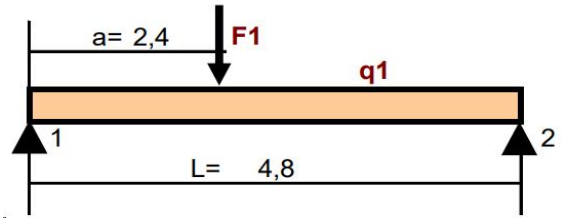
11.3.2 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	13,39	52,13	13,39	52,13	26,07	ja
Subtotalen: **F_1:**					13,39	52,13	26,07	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x700	75x600 + 33x600

Kniklengte:
$L_{cr;y}$ = 4,3 m (kniklengte om sterke as)
$L_{cr;z}$ = 4,3 m (kniklengte om zwakke as)

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	17,0	26,1	13,0	**59,5**	**kN**

11.4 Kolommen K1

11.4.1 Kolom K1

2,4 nee

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	22,18	26,06	22,18	26,06	13,03	ja
Subtotalen: **F_1:**					22,18	26,06		kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	48,2	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		29,9	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		65,7	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	65,7	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	17,02	26,07	17,02	26,07	13,04	ja
Subtotalen: **F_1:**					17,02	26,07	13,04	kN

Berekening belastingcombinaties:

		0,84	q_{rep} =	43,1	kN
6.10a	(STR)	= 0,74		42,5	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		59,5	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	59,5	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] 2,4	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	22,18	26,06	22,18	26,06	13,03	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	17,02	26,07	17,02	26,07	13,04	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	22,18	26,06	22,18	13,03	13,03	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	17,02	26,07	17,02	13,04	13,04	nee
Plat dak L1	3,6	2,4	2,31	2,50	19,96	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					98,36	78,20	52,13	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	176,6	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		211,0	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		235,3	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	235,3	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**235**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**66**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**60**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**361**	kN	

Excentriciteit L1				**Excentriciteit L2**			
Geschat profiel	b	=	260 mm	h	=	260	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	180 mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	180	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**11,8** kNm	$M_{ez;d}$	=	**10,7**	kNm

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		0,77
Fabrikant		0,76
Profiel		260x260
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,75**
U.C.	F6.24	**0,74**

Bijlage 3: *Constructieve uitwerking variant 3*

Onderstaande constructieve uitwerking zijn opgesteld met behulp van de Excel-sheet van Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau. *(Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau B.V., 2021)*, zie volgende pagina voor de bijlage.

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Projectnummer: 2101

Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 3.

Documentnummer: 140404 versie 1

Statische berekeningen

Datum:

25 mei 2021

Kerkenbos 1006
6546 BA Nijmegen
T (024) 372 19 19
E bureau@croes.nl

Projectnummer: 2101
Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 3.
Documentnummer: 140404 versie 1 , datum: 25-05-2021
Statische berekeningen

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Opdrachtgever:
Hout U Flexibel
Contactpersoon: n.v.t.

Statische berekeningen ten behoeve van:
Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 3.

Adviseur constructie:
CROES Bouwtechnisch Ingenieursbureau
Kerkenbos 1006
6546 BA Nijmegen
Tel. : 024 372 19 19
Email : #N/B
Contactpersoon : #N/B

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Inhoud

		blad:
1.1	**Omschrijving**	**3**
1.1	**Omschrijving**	**3**
1.2	**Basisdocumenten**	**3**
1.3	**Voorschriften**	**3**
1.4	**Uitgangspunten materialen**	**5**
1.5	**Uitgangspunten voor de berekening**	**5**
1.6	**Software**	**6**
1.7	**Brand**	**6**
2.	**Belastingen**	**7**
2.1	**Dakbelastingen**	**7**
2.2	**Vloerbelastingen**	**8**
2.3	**Overige belastingen**	**8**
3.	**Variant 3.1**	**9**
3.1	**Overzichtstekening**	**9**
3.2	**Vloeren**	**9**
3.3	**Liggers**	**12**
3.4	**Liggers L2**	**13**
3.5	**Kolommen K1**	**14**
4.	**Variant 3.2**	**16**
4.1	**Overzichtstekening**	**16**
4.2	**Vloeren**	**16**
4.3	**Liggers**	**19**
4.4	**Liggers L1**	**21**
4.5	**Kolommen K1**	**22**
5.	**Variant 3.3**	**24**
5.1	**Overzichtstekening**	**24**
5.2	**Vloeren**	**24**
5.3	**Liggers**	**27**
5.4	**Liggers L1**	**29**
6.	**Variant 3.4**	**30**
6.1	**Overzichtstekening**	**30**
6.2	**Vloeren**	**30**
6.3	**Liggers**	**33**
6.4	**Liggers L1**	**35**
7.	**Variant 3.5**	**36**
7.1	**Overzichtstekening**	**36**
7.2	**Vloeren**	**36**
7.3	**Liggers**	**39**
7.4	**Liggers L1**	**42**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

8.	**Variant 3.6**	**43**
8.1	**Overzichtstekening**	**43**
8.2	**Vloeren**	**43**
8.3	**Liggers**	**46**
8.4	**Liggers L1**	**49**
9.	**Variant 3.9**	**50**
9.1	**Overzichtstekening**	**50**
9.2	**Vloer type 1: CLT plaat**	**50**
9.3	**Vloer**	**51**
9.4	**Totaalconstructie**	**52**
10.	**Variant 3.10**	**53**
10.1	**Overzichtstekening**	**53**
10.2	**Vloeren**	**53**
10.3	**Liggers**	**56**
10.4	**Liggers L1**	**57**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

1.1 Omschrijving

Het betreft document 140404, Statische berekeningen van project 2101.
Projectomschrijving: Constructieve dimensionering
Constructieve varianten 3.

Document 140404 bevat de navolgende onderdelen:
Statische berekeningen

Constructieve opbouw

Fundering:	n.v.t.
Begane grondvloer:	n.v.t.
1e t/m 3e verdiepingsvloer:	Zie varianten

Stabiliteit
De stabiliteit van het gebouw wordt kwalitatief beschouwd en vermeld in het hoofdrapportage

1.2 Basisdocumenten

Berekeningen in dit document zijn gebaseerd op de navolgende basisstukken:
Tekeningen: Constructieve varianten datum: 16-03-21

1.3 Voorschriften

Berekeningen zijn gebaseerd op Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.
Van fabrikanten c.q. aannemers c.q. leveranciers wordt verwacht dat zij tevens hun berekeningen en voorschriften ontlenen aan de Eurocode inclusief Nederlandse Nationale Bijlagen.

Eurocode

NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991 (serie)	Belastingen
NEN-EN 1992 (serie)	Betonconstructies
NEN-EN 1993 (serie)	Staalconstructies
NEN-EN 1994 (serie)	Staal-Betonconstructies
NEN-EN 1995 (serie)	Houtconstructies
NEN-EN 1996 (serie)	Metselwerkconstructies
NEN-EN 1997 (serie)	Geotechnische constructies
NEN-EN 1999 (serie)	Aluminiumconstructies

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

1.4 Uitgangspunten materialen

Indien niet anders wordt aangegeven, is er in deze berekening uitgegaan van:

Hout:	C24, standaard bouwhout	
	GL28h, gelamineerd hout (gecombineerd opbouw)	
	48P, LVL	
Staal:	walsprofielen	S235 JR
	warmgevormde buisprofielen	S355 J2H
	koudgevormde ronde buisprofielen	S235 JRH
Bouten:	8.8, gerolde draad	
Ankerbouten:	4.6, gerolde draad	

1.5 Uitgangspunten voor de berekening

Levensduur:

Ontwerplevensduurklasse: **klasse 4**
Ontwerplevensduur: **100 jaren**
Toepassing: **Monumentale gebouwen**

Voetnoten: Beslissing om een gebouw als monumentaal aan te merken is ter beoordeling aan klant.

Betrouwbaarheid van het bouwwerk:

Betrouwbaarheidsklasse: **klasse 2** Eurocode: RC2
Definitie in risico: Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

Belastingsfactor: (K_{FI}) = 1,0
Ontwerplevensduur: 100 jaren

Betrouwbaarheid van ontwerp en uitvoering:

De supervisieniveaus en inspectieniveaus worden door Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau toegepast in de ontwerpfase. Ten behoeve van de betrouwbaarheidsdifferentiatie worden de partiële factoren van belastingen vermenigvuldigd met de belastingfactor (KFI) conform NEN-EN-1990-NB, paragraaf B3.3.

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 1 mogen door de hoofdconstructeur zelf worden gecontroleerd en geverifieerd (DSL 1). Projecten in betrouwbaarheidsklasse 2 worden gecontroleerd door een projectonafhankelijke register constructeur van ons bureau, conform ons kwaliteitshandboek (NEN-EN-ISO 9001:2008) (DSL 2).

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 3 dienen door middel van een uitgebreide supervisie te worden getoetst door een andere organisatie dan die het ontwerp heeft gemaakt. In overleg met onze opdrachtgever wordt definitief vorm gegeven aan deze supervisie (DSL 3).

Projecten die vallen in betrouwbaarheidsklasse 3 dienen door middel van een inspectie door derden te worden getoetst in uitvoeringsfase. In overleg met onze opdrachtgever wordt definitief vorm gegeven aan deze inspectie (IL 3).

1.6 Software

In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van een aantal rekenprogramma's.
Hieronder een overzicht van de gehanteerde software bij Croes met daarbij aangegeven de leverancier en de versie. Versienummers zijn geïnventariseerd op 01-01-2021.
Lees voor versie: versienummer .. of hoger.
In deze lijst zijn niet opgenomen de productgebonden softwareprogramma's.

Leverancier	**Software**	**Versie**
Technosoft	TS Liggers	6.60a
Holz.bau	CLTdesigner	7.3
MetsäWood	Finnwood	2.4.2 NL
Qec	Excel reken-tabellen	2021

1.7 Brand

1.7.1 Algemeen

Conform het Bouwbesluit 2012 worden met betrekking tot brand eisen gesteld aan de constructies in het kader van:
1) voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten.
2) veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten.
3) brandscheidingen (WBDBO).

Voor de brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting van aangrenzende brandcompartimenten zie 1.7.2.

De brandwerendheidseisen in het kader van veilig vluchten in aangrenzende subbrandcompartimenten (2) en brandscheidingen (3) worden aangegeven door de architect, bouwkundige of adviseur brandveiligheid.

1.7.2 Brandwerendheidseis in het kader van voortschrijdende instorting

Een bouwconstructie bezwijkt niet bij brand in een brandcompartiment waarin de constructie niet ligt gedurende **x** minuten door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan het brandcompartiment.

De eis in minuten wordt gedefinieerd door de gebruiksfunctie en de hoogte van het verblijfsgebied:

Gebruiksfunctie: 01. Woonfunctie
Hoogstgelegen vloer: 13,00 m. + maaiveld
Eis: 90(90) min.

Op basis van de maximale eisen behorende bij bovengenoemde functies bedraagt de eis:
Eis: **90 (90)** min.
De tussen haakjes geplaatste waarde is de gereduceerde waarde voor gebouwen met een lagere permanente vuurbelasting dan 500 MJ/m^2.

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2. Belastingen

2.1 Dakbelastingen

Plat dak **Gebied** **4.1**

g_k =	Dakvloerconstructie	H = 300	=	variabel	
	leidingen		=	0,20	
	systeemplafond		=	0,30	
	isolatie (PIR/PUR/PS) + 2-laagse dakbedekking		=	0,15	
	PV-panelen		=	0,25	
	betonnen tegels	H_{gem} = 40	=	0,96	
				1,86	kN/m^2

q_k =	< 10 m^2	=	**2,50**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =	momentaan: $\Psi_{0/1/2}$ = 0	=	**0,00**	kN/m^2
s_n =	(Variatiecoefficient = 0,8)	=	**0,80**	kN/m^2
s =	s_n x μ_i = 0,80 x 3	=	**2,40**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan: Ψ_0 = 0	=	**0,00**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan: Ψ_1 = 0,2	=	**0,48**	kN/m^2
s_{mom} =	momentaan: Ψ_2 = 0	=	**0,00**	kN/m^2

Constructieve dikte vloerpakket:	n.t.b.	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,86	kN/m^2
Maatgevende last vloerpakket:	2,50	kN/m^2
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Brandwerendheid:	90 min	
Bouwlaag:	4	
Omschrijving op tekening:	Dakvloerconstructie	

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

2.2 Vloerbelastingen

Verdiepingsvloer str. 7,2 m **Gebied** **1.1**

g_k =		Dakvloerconstructie	H = 300	=	variabel	
		computervloer		=	0,50	
		leidingen		=	0,20	
		systeemplafond		=	0,30	
					1,00	kN/m^2
q_k =		Klasse C5-grote mensenmassa's		=	**5,00**	
$q_{k;t}$ =	(100 jr)	$q_{k;t} = q_k$ x (1+(1-Ψ_0)/9 x ln (t/50))		=	**5,23**	
		lichte scheidingswanden (1.0 < qk ≤ 2.0 kN/m)		=	0,80	
					6,03	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =		momentaan:	Ψ_0 = 0,4	=	**2,41**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =		momentaan:	Ψ_1 = 0,7	=	**4,22**	kN/m^2
$q_{k;mom}$ =		momentaan:	Ψ_2 = 0,6	=	**3,62**	kN/m^2

Constructieve dikte vloerpakket:	300	mm
Permanente belasting (afwerking):	1,00	kN/m^2
Maatgevende last vloerpakket:	6,03	kN/m^2
Brandwerendheid:	90 min	
Betrouwbaarheidsklasse:	2	
Bouwlaag:	1 t/m 3	
Omschrijving op tekening:	Verdiepingsvloerconstructie	

2.3 Overige belastingen

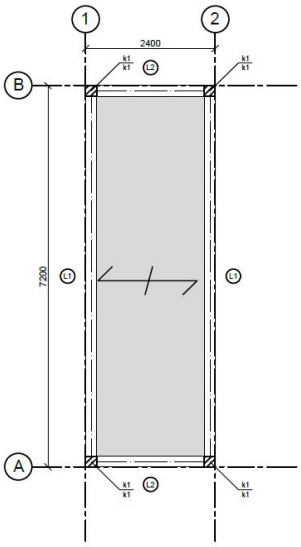
Overige wanden en gevels

g_k =	houtskeletbouwwand	=	**0,50**	kN/m^2
g_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2
q_k =	vliesgevel	=	**1,00**	kN/m^2
g_k =	CLT wand dik 150 mm	=	**0,75**	kN/m^2
g_k =	afwerking	=	**0,25**	kN/m^2

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

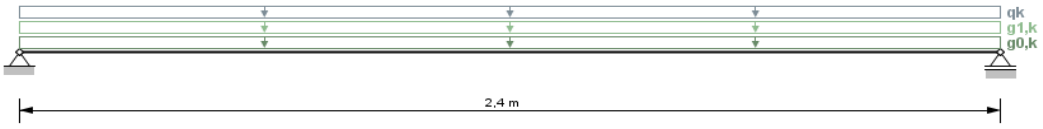
3. Variant 3.1

3.1 Overzichtstekening



3.2 Vloeren

Rekenschema



3.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,55	0,00	0,55	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,55	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-100/3s**
U.C.:	Buiging	**0,32**
	Afschuiving	**0,27**
	Oplegdruk	**0,09**
	Doorbuiging	**0,77**

3.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,27**
	Afschuiving	**0,37**
	Schuifspanning	**0,54**
	Oplegdruk	**0,38**
	Doorbuiging	**0,40**

3.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x180-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,10**
	Afschuiving	**0,35**
	Schuifspanning	**0,58**
	Oplegdruk	**0,39**
	Doorbuiging	**0,30**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

3.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x196**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,80**	
	Afschuiving	**0,48**	
	Doorbuiging	**0,70**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,9	7,2	3,6	**13,1**	**kN**

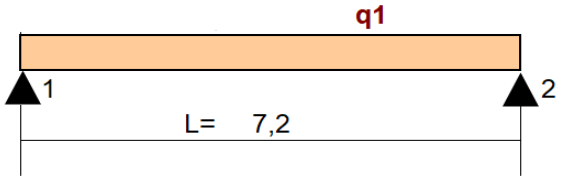
3.3 Liggers

3.3.1 Ligger L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,86	7,24	1,86	7,24	3,62	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					6,16	7,24	3,62	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd***	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x271	135x600	2* 75x530
U.C. Buiging	**9,22**	**0,82**	**0,57**
U.C. Dwarskracht	**1,95**	**0,47**	**0,40**
U.C. Stabiliteit	**9,22**	**0,82**	**0,57**
U.C. Doorbuiging	**19,09**	**0,81**	**0,96**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 3 niet meer beschouwd.

Reacties

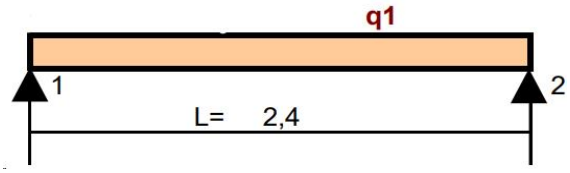
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	22,2	26,1	13,0	**65,7**	**kN**

3.4 Liggers L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x171	72x200	75x160
U.C. Buiging	**0,82**	**0,44**	**0,41**
U.C. Dwarskracht	**0,29**	**0,27**	**0,27**
U.C. Stabiliteit	**0,82**	**0,44**	**0,41**
U.C. Doorbuiging	**0,95**	**0,52**	**0,88**

,

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	5,2	0,0	0,0	**7,0**	**kN**

3.5 Kolommen K1

3.5.1 Kolom K1

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	22,18	26,06	22,18	26,06	13,03	ja
Subtotalen: **F_1:**					22,18	26,06	13,03	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	48,2	kN
6.10a	(STR)	= 1,35 x K_{FI} x G_{kj} + 1,5 x K_{FI} x $\psi_{0,i}$ x $Q_{k,i}$ =		49,5	kN
6.10b	(STR)	= 1,2 x K_{FI} x G_{kj} + 1,5 x K_{FI} x ($Q_{k,i}$ + $\psi_{0,i}$ x $Q_{k,i}$) =		65,7	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	65,7	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	5,16	0,00	5,16	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **F_1:**					5,16	0,00	0,00	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	5,2	kN
6.10a	(STR)	= 1,35 x K_{FI} x G_{kj} + 1,5 x K_{FI} x $\psi_{0,i}$ x $Q_{k,i}$ =		7,0	kN
6.10b	(STR)	= 1,2 x K_{FI} x G_{kj} + 1,5 x K_{FI} x ($Q_{k,i}$ + $\psi_{0,i}$ x $Q_{k,i}$) =		6,2	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	7,0	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	22,18	26,06	22,18	26,06	13,03	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	5,16	0,00	5,16	0,00	0,00	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	22,18	26,06	22,18	13,03	13,03	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	5,16	0,00	5,16	0,00	0,00	nee
Plat dak L1	3,6	1,2	2,31	2,50	9,98	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					64,66	39,09	26,06	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	103,7	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		126,4	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		136,2	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	136,2	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

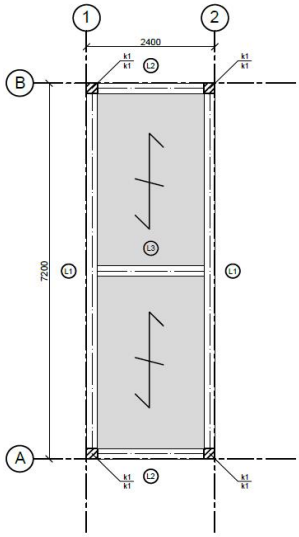
Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**136**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**66**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**7**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**209**	kN	

Excentriciteit L1					**Excentriciteit L2**				
Geschat profiel	b	=	220	mm	h	=	220	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	160	mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	160	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**10,5**	kNm	$M_{ez;d}$	=	**1,1**	kNm

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		220x220
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,71**
U.C.	F6.24	**0,63**

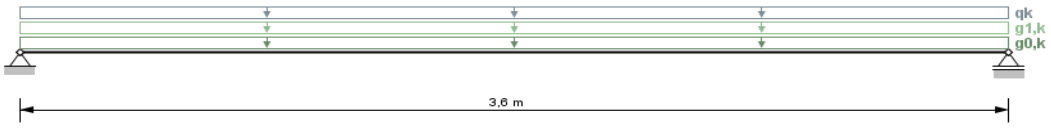
4. Variant 3.2

4.1 Overzichtstekening



4.2 Vloeren

Rekenschema



4.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,88	0,00	0,88	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,88	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**5**
PROFIELKEUZE:		**L-160/5s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,30**
	Oplegdruk	**0,11**
	Doorbuiging	**0,85**

4.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,28	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,28	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x31-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,55**
	Afschuiving	**0,55**
	Schuifspanning	**0,91**
	Oplegdruk	**0,57**
	Doorbuiging	**0,94**

4.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,17**
	Afschuiving	**0,52**
	Schuifspanning	**0,84**
	Oplegdruk	**0,58**
	Doorbuiging	**0,65**

4.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,86**	
	Afschuiving	**0,37**	
	Doorbuiging	**0,90**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	3,4	10,9	5,4	**20,3**	**kN**
CLT R2	6,8	21,7	10,9	**40,7**	**kN**

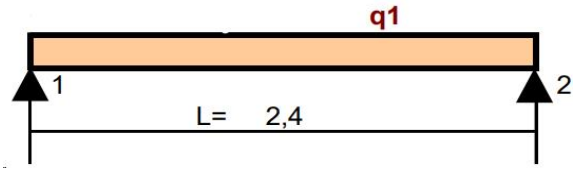
4.3 Liggers

4.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	6,76	21,70	6,76	21,70	10,85	ja
Subtotalen: **q_1:**					6,76	21,70	10,85	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x400	75x340
U.C. Buiging	**0,82**	**0,69**
U.C. Dwarskracht	**0,87**	**0,84**
U.C. Stabiliteit	**0,82**	**0,69**
U.C. Doorbuiging	**0,44**	**0,63**

Reacties

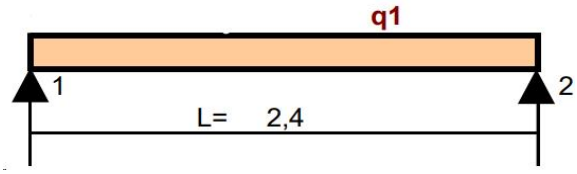
Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	8,1	26,0	13,0	**48,8**	**kN**

4.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,38	10,85	3,38	10,85	5,43	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				7,68	10,85	5,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x300	75x250
U.C. Buiging	**0,89**	**0,78**
U.C. Dwarskracht	**0,75**	**0,74**
U.C. Stabiliteit	**0,89**	**0,78**
U.C. Doorbuiging	**0,62**	**0,94**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	9,2	13,0	6,5	**30,6**	**kN**

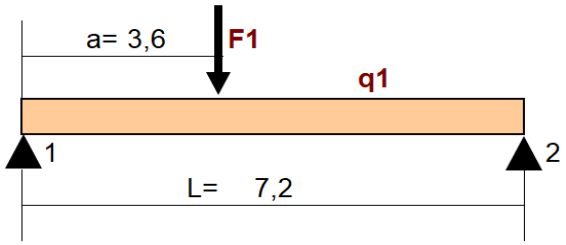
4.4 Liggers L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	8,11	26,04	8,11	26,04	13,02	ja
Subtotalen: **F_1:**					8,11	26,04	13,02	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x600	2* 75x520
U.C. Buiging	**0,84**	**0,61**
U.C. Dwarskracht	**0,33**	**0,28**
U.C. Stabiliteit	**0,84**	**0,61**
U.C. Doorbuiging	**0,73**	**0,91**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	19,5	13,0	6,5	**43,0**	**kN**

4.5 Kolommen K1

4.5.1 Kolom K1

Geometrie

Kolomlengte:	L_{sys}	=	4,3	m	
Kniklengte:	$L_{cr;y}$	=	4,3	m	(kniklengte om sterke as)
	$L_{cr;z}$	=	4,3	m	(kniklengte om zwakke as)

Belasting aansluitend L1

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L1	1	1	19,54	13,02	19,54	13,02	6,51	ja
Subtotalen: **F_1:**					19,54	13,02	6,51	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	32,6	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		36,1	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		43,0	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	43,0	kN

Belasting aansluitend L2

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 1 L2	1	1	9,22	13,02	9,22	13,02	6,51	ja
Subtotalen: **F_1:**					9,22	13,02	6,51	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	22,2	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		22,2	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		30,6	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	30,6	kN

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

Belasting boven

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Bouwl. 2 L1	1	1	19,54	13,02	19,54	13,02	6,51	ja
Bouwl. 2 L2	1	1	9,22	13,02	9,22	13,02	6,51	ja
Bouwl. 3 L1	1	1	19,54	13,02	19,54	6,51	6,51	nee
Bouwl. 3 L2	1	1	9,22	13,02	9,22	6,51	6,51	nee
Plat dak L1	3,6	1,2	2,31	2,50	9,98	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **F_1:**					67,50	39,06	26,04	kN

Berekening belastingcombinaties:

			q_{rep} =	106,6	kN
6.10a	(STR)	= $1,35 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$ =		130,2	kN
6.10b	(STR)	= $1,2 \times K_{FI} \times G_{kj} + 1,5 \times K_{FI} \times (Q_{k,i} + \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$ =		139,6	kN
Omhullende van de fundamentele combinatie:			q_d =	139,6	kN

Berekening excentriciteitmomenten:

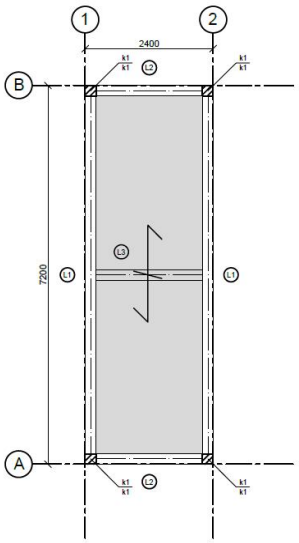
Belasting boven	$N_{c;Ed}$	=	**140**	kN	
Belasting aansl. L1	$N_{c;Ed}$	=	**43**	kN	
Belasting aansl. L2	$N_{c;Ed}$	=	**31**	kN	+
Belasting totaal	$N_{c;Ed}$	=	**213**	kN	

Excentriciteit L1				**Excentriciteit L2**			
Geschat profiel	b	=	220 mm	h	=	220	mm
Excentriciteit:	$e_{L1}=\frac{b}{2}+50$	=	160 mm	$e_{L2}=\frac{b}{2}+50$	=	160	mm
Moment:	$M_{ey;d}$	=	**6,9** kNm	$M_{ez;d}$	=	**4,9**	kNm

Type kolom		**Glulam**
Houtkwaliteit		GL28c
Fabrikant		n.v.t
Profiel		300x300
U.C.	F6.19	**n.v.t.**
U.C.	F6.20	**n.v.t.**
U.C.	F6.23	**0,69**
U.C.	F6.24	**0,67**

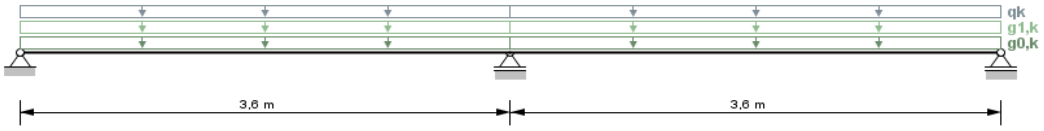
5. Variant 3.3

5.1 Overzichtstekening



5.2 Vloeren

Rekenschema



5.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,72	0,00	0,72	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,72	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**5**
PROFIELKEUZE:		**L-130/5s**
U.C.:	Buiging	**0,50**
	Afschuiving	**0,34**
	Oplegdruk	**0,27**
	Doorbuiging	**0,94**

5.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,55**
	Afschuiving	**0,60**
	Schuifspanning	**0,96**
	Oplegdruk	**0,71**
	Doorbuiging	**0,83**

5.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,14**
	Afschuiving	**0,57**
	Schuifspanning	**0,93**
	Oplegdruk	**0,70**
	Doorbuiging	**0,52**

5.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving	**0,43**	
	Stabiliteit	**0,83**	
	Doorbuiging	**0,54**	

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	2,7	9,5	4,8	**17,5**	**kN**
CLT R2	7,7	27,1	13,6	**50,0**	**kN**

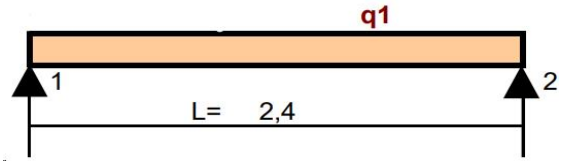
5.3 Liggers

5.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	7,72	27,13	7,72	27,13	13,57	ja
Subtotalen: **q_1:**					7,72	27,13	13,57	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	90x400	75x400
U.C. Buiging	**0,80**	**0,61**
U.C. Dwarskracht	**0,86**	**0,85**
U.C. Stabiliteit	**0,80**	**0,61**
U.C. Doorbuiging	**0,44**	**0,48**

Reacties

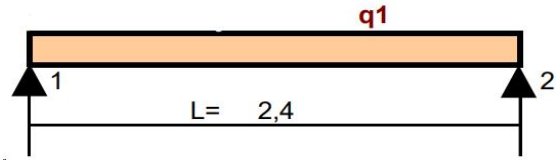
Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	9,3	32,6	16,3	**60,0**	**kN**

5.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,71	9,50	2,71	9,50	4,75	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					7,01	9,50	4,75	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t.	n.v.t	MetsaWood
Profiel	2* 71x246	72x300	75x250
U.C. Buiging	**0,77**	**0,79**	**0,70**
U.C. Dwarskracht	**0,39**	**0,67**	**0,66**
U.C. Stabiliteit	**0,77**	**0,79**	**0,70**
U.C. Doorbuiging	**0,58**	**0,56**	**0,83**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	8,4	11,4	5,7	**27,2**	**kN**

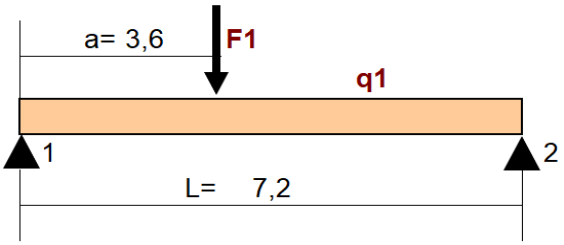
5.4 Liggers L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	9,26	32,56	9,26	32,56	16,28	ja
Subtotalen: **F_1:**					9,26	32,56	16,28	kN

Rekenschema



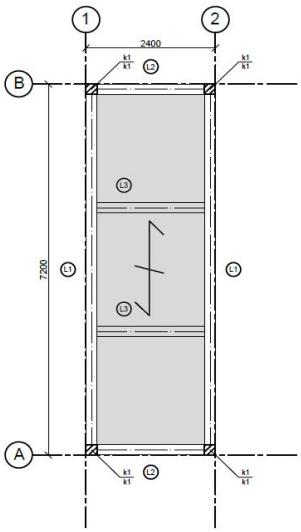
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x600	2*75x540
U.C. Buiging	**0,88**	**0,66**
U.C. Dwarskracht	**0,34**	**0,32**
U.C. Stabiliteit	**0,88**	**0,66**
U.C. Doorbuiging	**0,74**	**0,92**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	20,1	16,3	8,1	**48,6**	**kN**

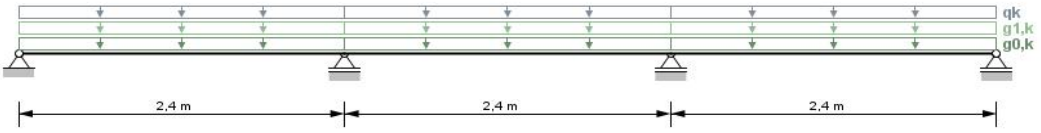
6. Variant 3.4

6.1 Overzichtstekening



6.2 Vloeren

Rekenschema



6.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,50	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-90/3s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,34**
	Oplegdruk	**0,17**
	Doorbuiging	**0,88**

6.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**	**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**	**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**	**KRT-2400x25-3x45x225 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,23**	**0,37**
	Afschuiving	**0,36**	**0,63**
	Schuifspanning	**0,54**	**0,91**
	Oplegdruk	**0,44**	**0,88**
	Doorbuiging	**0,32**	**0,51**

6.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,08**
	Afschuiving	**0,35**
	Schuifspanning	**0,46**
	Oplegdruk	**0,44**
	Doorbuiging	**0,26**

6.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x196**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,83**	
	Afschuiving		
	Doorbuiging	**0,49**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,55	6,51	3,26	**11,6**	**kN**
CLT R2	3,95	17,37	8,69	**30,8**	**kN**

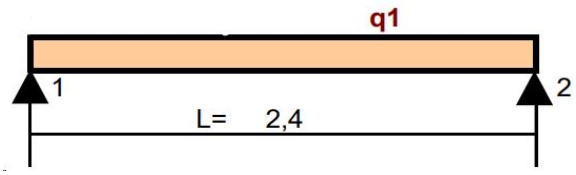
6.3 Liggers

6.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,95	17,37	3,95	17,37	8,69	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,95	17,37	8,69	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	90x300	75x300
U.C. Buiging	**0,86**	**0,67**
U.C. Dwarskracht	**0,67**	**0,75**
U.C. Stabiliteit	**0,83**	**0,67**
U.C. Doorbuiging	**0,65**	**0,71**

Reacties

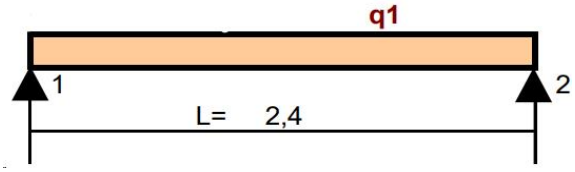
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	4,7	20,8	10,4	**36,9**	**kN**

6.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,55	6,51	1,55	6,51	3,26	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,85	6,51	3,26	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	n.v.t	MetsaWood
Profiel	71x271	72x250	75x220
U.C. Buiging	**0,94**	**0,82**	**0,66**
U.C. Dwarskracht	**0,51**	**0,61**	**0,56**
U.C. Stabiliteit	**0,94**	**0,82**	**0,66**
U.C. Doorbuiging	**0,65**	**0,72**	**0,92**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	7,0	7,8	3,9	**20,1**	**kN**

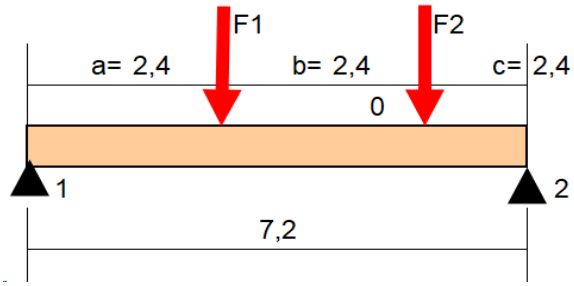
6.4 Liggers L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	4,74	20,84	4,74	20,84	10,42	ja
Subtotalen: **F_1:**					4,74	20,84	10,42	kN

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x600	2*75x600
U.C. Buiging	**0,84**	**0,73**
U.C. Dwarskracht	**0,43**	**0,29**
U.C. Stabiliteit	**0,84**	**0,73**
U.C. Doorbuiging	**0,85**	**0,95**

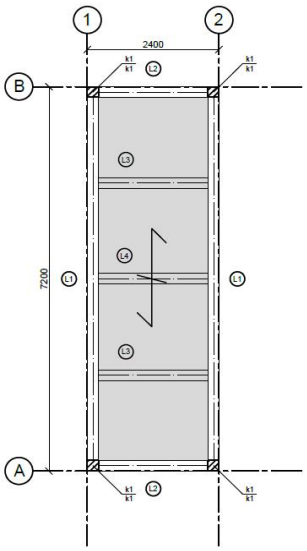
Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	20,2	20,8	10,4	**55,4**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

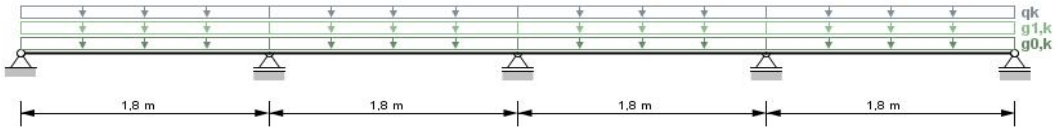
7. Variant 3.5

7.1 Overzichtstekening



7.2 Vloeren

Rekenschema



7.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)		[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.		1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer		1	1	0,44	0,00	0,44	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**					1,44	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,28**
	Afschuiving	**0,29**
	Oplegdruk	**0,14**
	Doorbuiging	**0,51**

7.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,20	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,25**
	Afschuiving	**0,52**
	Schuifspanning	**0,71**
	Oplegdruk	**0,95**
	Doorbuiging	**0,36**

7.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,05**
	Afschuiving	**0,26**
	Schuifspanning	**0,42**
	Oplegdruk	**0,50**
	Doorbuiging	**0,19**

7.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,81**	
	Afschuiving		
	Doorbuiging	**0,41**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,12	4,85	2,43	**8,6**	**kN**
CLT R3	2,97	13,28	6,64	**23,5**	**kN**
CLT R4	2,41	12,40	6,20	**21,5**	**kN**

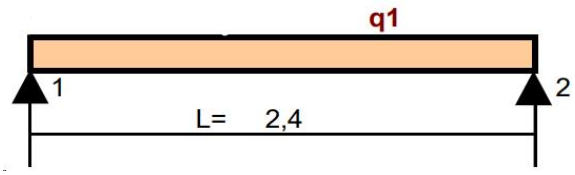
7.3 Liggers

7.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,97	13,28	2,97	13,28	6,64	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,97	13,28	6,64	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x300	75x250
U.C. Buiging	**0,82**	**0,72**
U.C. Dwarskracht	**0,73**	**0,71**
U.C. Stabiliteit	**0,82**	**0,72**
U.C. Doorbuiging	**0,62**	**0,94**

Reacties

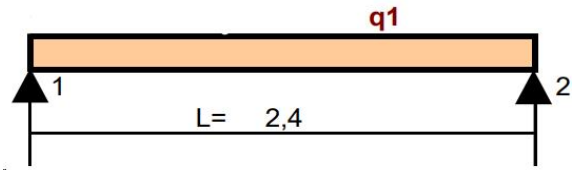
Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	3,6	15,9	8,0	**28,2**	**kN**

7.3.1 Ligger L4

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	2,41	12,40	2,41	12,40	6,20	ja
Subtotalen: **q_1:**					2,41	12,40	6,20	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	n.v.t	MetsaWood
Profiel	2*71x246	72x300	75x250
U.C. Buiging	**0,73**	**0,75**	**0,66**
U.C. Dwarskracht	**0,39**	**0,67**	**0,65**
U.C. Stabiliteit	**0,73**	**0,75**	**0,66**
U.C. Doorbuiging	**0,60**	**0,58**	**0,86**

Reacties

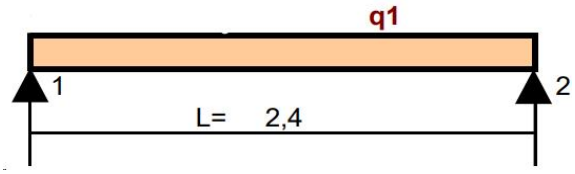
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L4	2,9	14,9	7,4	**25,8**	**kN**

7.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,12	4,85	1,12	4,85	2,43	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					5,42	4,85	2,43	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	n.v.t	MetsaWood
Profiel	2*71x196	72x250	75x210
U.C. Buiging	**0,74**	**0,68**	**0,59**
U.C. Dwarskracht	**0,31**	**0,50**	**0,48**
U.C. Stabiliteit	**0,74**	**0,68**	**0,59**
U.C. Doorbuiging	**0,72**	**0,60**	**0,88**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	13,0	11,6	5,8	**33,1**	**kN**

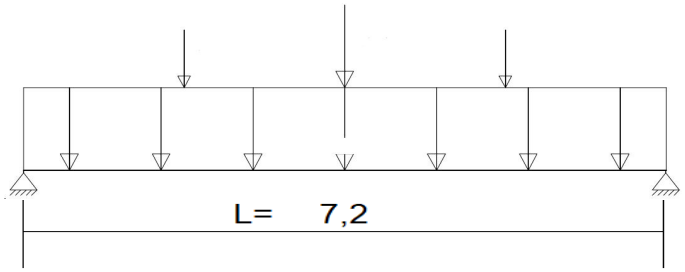
7.4 Liggers L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	3,56	15,94	3,56	15,94	7,97	ja
Reactie L4	1	1	2,89	14,88	2,89	14,88	7,44	ja

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	135x600	3*69x600
U.C. Buiging	**0,92**	**0,55**
U.C. Dwarskracht		**0,34**
U.C. Stabiliteit	**n.vt.**	**n.vt.**
U.C. Doorbuiging	**0,85**	**0,94**

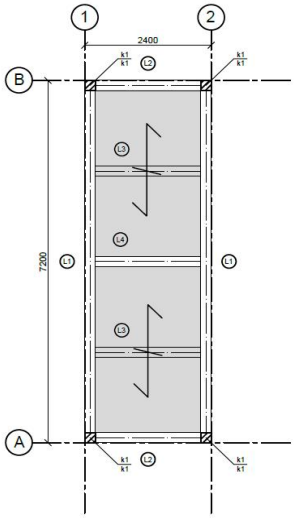
Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	22,1	23,4	11,7	**61,6**	**kN**

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

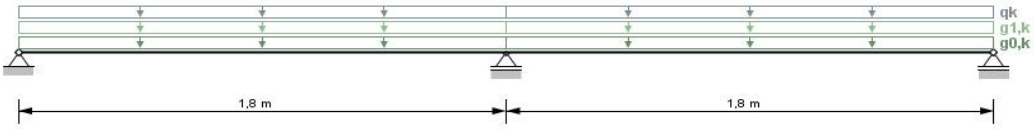
8. Variant 3.6

8.1 Overzichtstekening



8.2 Vloeren

Rekenschema



8.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,50	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**3**
PROFIELKEUZE:		**L-80/3s**
U.C.:	Buiging	**0,25**
	Afschuiving	**0,26**
	Oplegdruk	**0,15**
	Doorbuiging	**0,39**

8.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,25	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**	**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**	**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x25-5x45x200 (m)**	**KRT-2400x25-3x45x200 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,14**	**0,27**
	Afschuiving	**0,27**	**0,51**
	Schuifspanning	**0,37**	**0,70**
	Oplegdruk	**0,54**	**0,69**
	Doorbuiging	**0,19**	**0,35**

8.2.3 Vloer type 3: Kerto Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,33	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x25-5x45x150-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,05**
	Afschuiving	**0,26**
	Schuifspanning	**0,43**
	Oplegdruk	**0,53**
	Doorbuiging	**0,17**

8.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	0,61	1,00	6,03	0,61	3,68	1,84	ja
EG vloer	1	0,61	0,46	0,00	0,28	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					0,89	3,68	1,84	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**59x146**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**0,86**	
	Afschuiving	**0,47**	
	Oplegdruk	**0,86**	
	Doorbuiging	**0,52**	

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT R1	1,57	6,33	3,17	**11,4**	**kN**
CLT R3	4,49	18,09	9,05	**32,5**	**kN**
CLT R4	3,14	12,66	6,33	**22,8**	**kN**

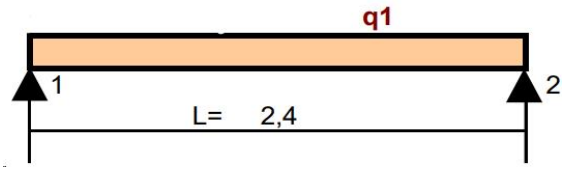
8.3 Liggers

8.3.1 Ligger L3

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	4,49	18,09	4,49	18,09	9,05	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,49	18,09	9,05	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x400	75x280
U.C. Buiging	**0,65**	**0,81**
U.C. Dwarskracht	**0,71**	**0,86**
U.C. Stabiliteit	**0,65**	**0,81**
U.C. Doorbuiging	**0,36**	**0,92**

Reacties

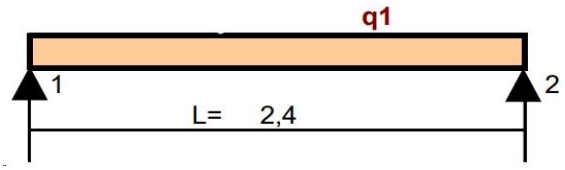
Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L3	5,4	21,7	10,9	**39,0**	**kN**

8.3.1 Ligger L4

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	3,14	12,66	3,14	12,66	6,33	ja
Subtotalen: **q_1:**					3,14	12,66	6,33	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x300	75x250
U.C. Buiging	**0,79**	**0,70**
U.C. Dwarskracht	**0,70**	**0,68**
U.C. Stabiliteit	**0,79**	**0,70**
U.C. Doorbuiging	**0,60**	**0,90**

Reacties

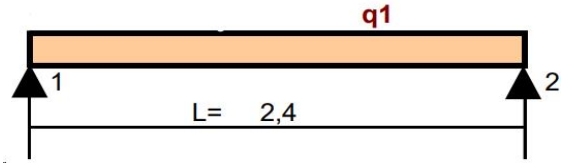
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	3,8	15,2	7,6	**27,3**	**kN**

8.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	1,57	6,33	1,57	6,33	3,17	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				5,87	6,33	3,17	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Gezaagd**	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	C24	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	n.v.t	MetsaWood
Profiel	2*71x196	72x250	75x220
U.C. Buiging	**0,89**	**0,81**	**0,65**
U.C. Dwarskracht	**0,37**	**0,60**	**0,55**
U.C. Stabiliteit	**0,89**	**0,81**	**0,65**
U.C. Doorbuiging	**0,85**	**0,71**	**0,91**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	7,0	7,6	3,8	**19,8**	**kN**

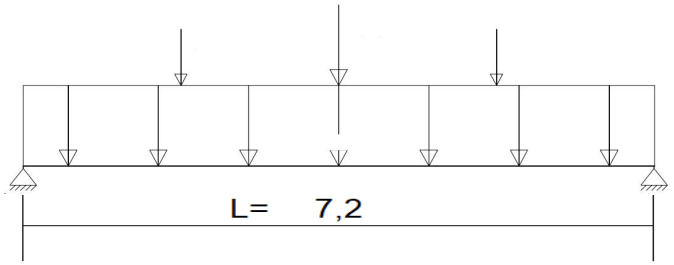
8.4 Liggers L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Belastinggeval (puntlasten)	[st/b] [m]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN]	$q_{Q,k}$ [kN]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN]	Extreem [ja/nee]
Reactie L3	1	1	5,39	21,71	5,39	21,71	10,86	ja
Reactie L4	1	1	3,77	15,19	3,77	15,19	7,60	ja
Subtotalen: **F_1:**					3,77	15,19	7,60	kN

Rekenschema



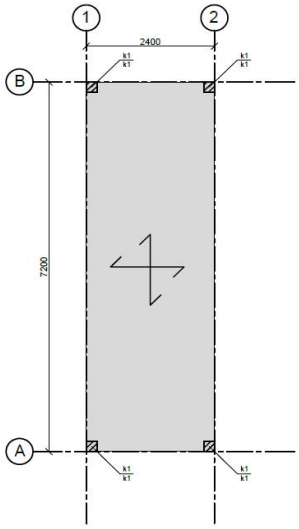
Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	150x600	2*75x600
U.C. Buiging	**0,98**	**0,65**
U.C. Dwarskracht		**0,41**
U.C. Stabiliteit	**n.vt.**	**n.vt.**
U.C. Doorbuiging	**0,91**	**0,96**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	24,2	29,7	14,8	**73,6**	**kN**

9. Variant 3.9

9.1 Overzichtstekening



9.2 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	1,98	0,00	1,98	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					2,98	6,03	3,02	kN/m

Type vloer	**CLT plaat**
Fabrikant	**DERIX**
Aantal laags:	**9**
PROFIELKEUZE:	**L-360/9s**

Overall height	t_{CLT}	360	mm
Number of layers	n	9	
Board width	a	160	mm
Average board height	t_i	40	mm

$$\kappa_{33} = \frac{\text{CLT}designer}{RFEM} = \frac{1.676.948}{2.682.720} = \mathbf{0{,}625}$$

$$\kappa_{88} = \frac{\text{CLT}designer}{RFEM} = \frac{184.142.758}{248.400.000} = \mathbf{0{,}741}$$

9.3 Vloer

Bovenstaand vloerprofiel

Toetsingen vloer			
Geometrie	Onderdeel		Vloer
	Overspanning	mm	3600
	Profiel b*h	mm	0 graden
Sterkte toets dwarskracht UGT	Toel. dwarskr	kN	zie software
	Optr. dwarskr	kN	77,42
	U.C.		0,83
Sterkte toets moment UGT	Toel. spannin	N/mm²	15,36
	Weerstandsm	mm³	14370370
	Toel. momen	kNm	220,73
	Optr. momen	kNm	114,87
	U.C.		0,52

$$\tau_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 4,0}{1,25} = 2,56\ N/mm^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 24}{1,25} = 15,36\ N/mm^2$$

Controle oplegspanning

1.1 Doorsnede

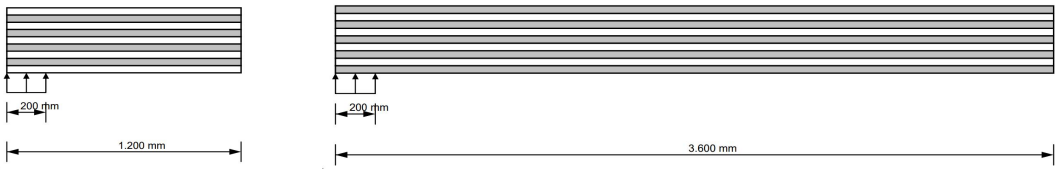
Kruislaaghout-produkten met certificaat van de firma Derix: L-360/9s
9 Lagen (Hoogte: 360 mm)

1.2 Plaat-gegevens

Lengte: 1.200 mm
Breedte: 3.600 mm
Planken zijn met de zijkanten verlijmd en er zijn geen scheuren in de deklagen te verwachten

2 Belasting-situatie en belasting-factoren

Kracht	$F_{c,90,d}$ = 77.420,0 N
Modificatie-factor	k_{mod} = 0,8
Deelfactor voor belasting/materiaal	γ_M = 1,25



4 Resultaten

Factor $k_{c,90}$	1,46
Oppervlak A_{ef}	58.247 mm²
Uitnutting	83,1 %

croes
Bouwtechnisch Ingenieursbureau

9.4 Totaalconstructie

Toetsingen totaalvervorming				
Geometrie	Onderdeel		Totaal: maximale vervorming	
	Overspanning	mm	Diagonaal	7589
Eind vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,4%	30,4
	Optredend	mm	26,9	
	U.C.		0,89	
Bijkomende vervorming BGT	Toelaatbaar	mm	0,3%	22,77
	Optredend	mm	12,8	
	U.C.		0,56	

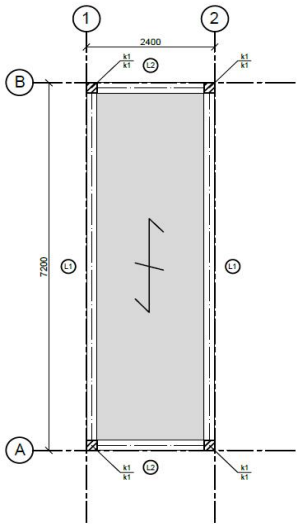
$$\sigma_{Rd} = \frac{k_{mod} * f_k}{\gamma_m} = \frac{0{,}8 * 44}{1{,}20} = 29{,}33\ N/mm^2$$

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 Q_k$	Rekenwaarde R_d	
Vloer	32,0	26,1	13,0	**77,4**	**kN**

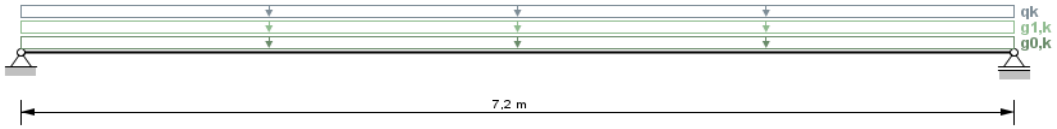
10. Variant 3.10

10.1 Overzichtstekening



10.2 Vloeren

Rekenschema



10.2.1 Vloer type 1: CLT plaat

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	1,65	0,00	1,65	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				2,65	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**CLT plaat**
Fabrikant		**DERIX**
Aantal laags:		**9**
PROFIELKEUZE:		**LL-300/9s**
U.C.:	Buiging	**0,38**
	Afschuiving	**0,30**
	Oplegdruk	**0,11**
	Doorbuiging	**0,85**

10.2.2 Vloer type 2: Kerto Ripa T

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,45	0,00	0,45	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,45	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa T**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRT-2400x37-5x51x400 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,59**
	Afschuiving	**0,50**
	Schuifspanning	**0,83**
	Oplegdruk	**0,60**
	Doorbuiging	**0,96**

10.2.3 Vloer type 3: Kerto Ripa Open Box

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,44	0,00	0,44	0,00	0,00	nee
Subtotalen:	**q_1:**				1,44	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Kerto Ripa Open Box**
Fabrikant		**MetsaWood**
PROFIELKEUZE:		**KRO-2400x31-5x45x300-5x150/300x38 (m)**
U.C.:	Buiging	**0,27**
	Afschuiving	**0,58**
	Schuifspanning	**0,85**
	Oplegdruk	**0,68**
	Doorbuiging	**0,94**

10.2.4 Vloer type 4:Houten balklaag

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
1.1 Verdiep.	1	1	1,00	6,03	1,00	6,03	3,02	ja
EG vloer	1	1	0,46	0,00	0,46	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					1,46	6,03	3,02	kN/m

Type vloer		**Houten balklaag**	
Fabrikant		**n.v.t.**	
H.o.h.		**610**	
PROFIELKEUZE:		**71x271**	**18 mm beplating**
U.C.:	Buiging	**3,43**	
	Afschuiving	**0,72**	
	Doorbuiging	**6,30**	

Oplegging	G	Q_k	$\psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
CLT	9,5	21,7	10,9	**44,0**	**kN**

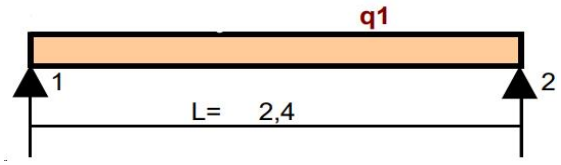
10.3 Liggers

10.3.1 Ligger L2

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
reactie vloer	1	1	9,54	21,71	9,54	21,71	10,86	ja
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	nee
Subtotalen: **q_1:**					13,84	21,71	10,86	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	90x400	75x400
U.C. Buiging	**0,79**	**0,60**
U.C. Dwarskracht	**0,81**	**0,80**
U.C. Stabiliteit	**0,79**	**0,60**
U.C. Doorbuiging	**0,40**	**0,44**

*door de beperkte hoogte en zeer hoge U.C. wordt gezaagd hout in variant 1 niet meer beschouwd.

Reacties

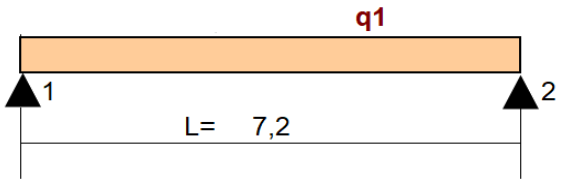
Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L2	16,6	26,1	13,0	**59,0**	**kN**

10.4 Liggers L1

Belastingen:

Belastinggeval (lijnlasten)	[st/b] [-]	[b/h] [m]	$g_{G,k}$ [kN/m^2]	$q_{Q,k}$ [kN/m^2]	$g_{G,k}$ [kN/m]	$q_{Q,k}$ [kN/m]	$\Psi \cdot q_{Q,k}$ [kN/m]	Extreem [ja/nee]
gevel	1	4,3	1,00	0,00	4,30	0,00	0,00	ja
Subtotalen: **q_1:**					4,30	0,00	0,00	kN/m

Rekenschema



Type ligger	**Glulam**	**LVL**
Houtkwaliteit	GL28c	Kerto S balk
Fabrikant	n.v.t	MetsaWood
Profiel	72x500	2*75x400
U.C. Buiging	**0,69**	**0,20**
U.C. Dwarskracht	**0,34**	**0,17**
U.C. Stabiliteit	**0,69**	**0,32**
U.C. Doorbuiging	**0,89**	**0,76**

Reacties

Oplegging	G	Q_k	$\Psi_0 \cdot Q_k$	Rekenwaarde R_d	
L1	15,5	0,0	0,0	**20,9**	**kN**