

«The Cradle» Holzhybridbau in Düsseldorf nach cradle-to-cradle-Prinzipien

Markus Steppler
DERIX Gruppe
Niederkrüchten, Deutschland



Franz Tschümperlin
SJB Kempter Fitze AG
Eschenbach SG, Schweiz



«The Cradle»

1. Idee und Konzept

Über 50 Prozent der weltweiten Abfallproduktion und fast 40 Prozent der globalen CO₂-Emissionen entfallen auf die Immobilien- und Baubranche. Zeit zum Umdenken! Mit The Cradle entwickelt die Fa. Interboden das erste Holzhybrid-Bürogebäude in der NRW-Landeshauptstadt Düsseldorf. Es wurde in einer nachhaltigen Cradle-to-Cradle®-Bauweise geplant. Dieser Ansatz aus der Natur bedeutet, dass Materialien wieder in den Materialkreislauf zurückgegeben werden können – und damit auch den konsequenten Verzicht auf schädliche Stoffe. Ein digitaler Material Passport verzeichnet die Materialien inklusive der Informationen zu Eigenschaften, Einsatzort und Haltbarkeit. Das Gebäude dient somit als Materiallager. Sollten einzelne Teile ausgetauscht oder The Cradle in ferner Zukunft wieder abgerissen werden, bleibt kaum Müll, da fast alle verbauten Elemente recycelt werden können. Das ist gut für die Natur und die Menschen.

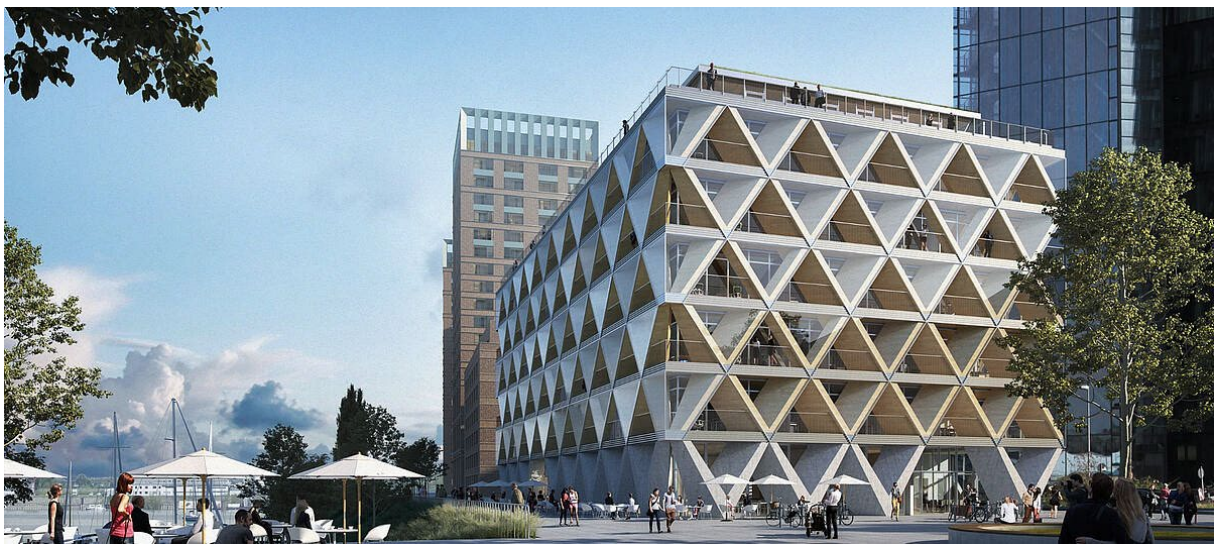


Abbildung 1: Source: INTERBODEN Group/HPP Architects; Visualisation: bloomimages

Das wohl markanteste Merkmal des Projekts ist der nachwachsende Rohstoff Holz, der bei The Cradle zu einem großen Teil endliche Rohstoffe wie Beton oder Kunststoff ersetzt. Der Vorteil: Im Gegensatz zu herkömmlichen Baumaterialien kann Holz nach der Nutzungsdauer in den Materialkreislauf zurückgeführt und wiederverwertet werden. Zudem ist Holz gesundheitsfördernd, bindet CO₂ und optimiert das Raumklima. Somit ist das Gebäude nicht nur ressourcenschonend, sondern hat auch positive Auswirkungen auf den Nutzer. Neben Holz verbessern grüne Wände und Lehmwände sowie Methoden zur Klimaregulierung, Licht- und Luftverbesserung die Arbeitsumgebung. Komplettiert wird das Gesamtkonzept durch ein nachhaltiges Energiemanagement, Serviceangebote und ein Mobilitätsangebot, das dem gesamten Düsseldorfer MedienHafen zur Verfügung steht.

Für das Konzept und die Architektur (HPP Architekten) wurde das Projekt bereits mehrfach ausgezeichnet. Die DERIX-Gruppe ist verantwortlich für die Holzbauarbeiten im Projekt.

2. Cradle-to-Cradle®-Bauweise

2.1. Kreislaufansätze in der Planung

Während die Untergeschosse und das Erdgeschoß konventionell in Stahlbeton errichtet werden, werden die 5 Obergeschosse sowie das Staffelgeschoss in Massivholzbauweise errichtet (mit Ausnahme des Erschließungskerns). Dabei kommen sowohl die Holzarten Lärche (für die BSH-Fassadenstützen im Außenbereich) wie auch Fichte und Buche zum Einsatz. Insgesamt werden fast 2.400 Kubikmeter Holz im Gebäude verbaut. Die Decken bestehen dabei aus ca. 30 cm starken X-LAM-Elementen, die lediglich mit einer Schüttung versehen werden, um auch hier rückbaubare Bauteile zu erzeugen.

Das teilweise außenliegende Tragwerk aus Lärchenstützen dient zugleich dem Sonnenschutz. Durch schräge und unterschiedlich tiefe Elemente wird hierbei eine zusätzliche Verschattung erreicht. Auf der Nordseite etwa sind diese Stützen deutlich schlanker ausgebildet.

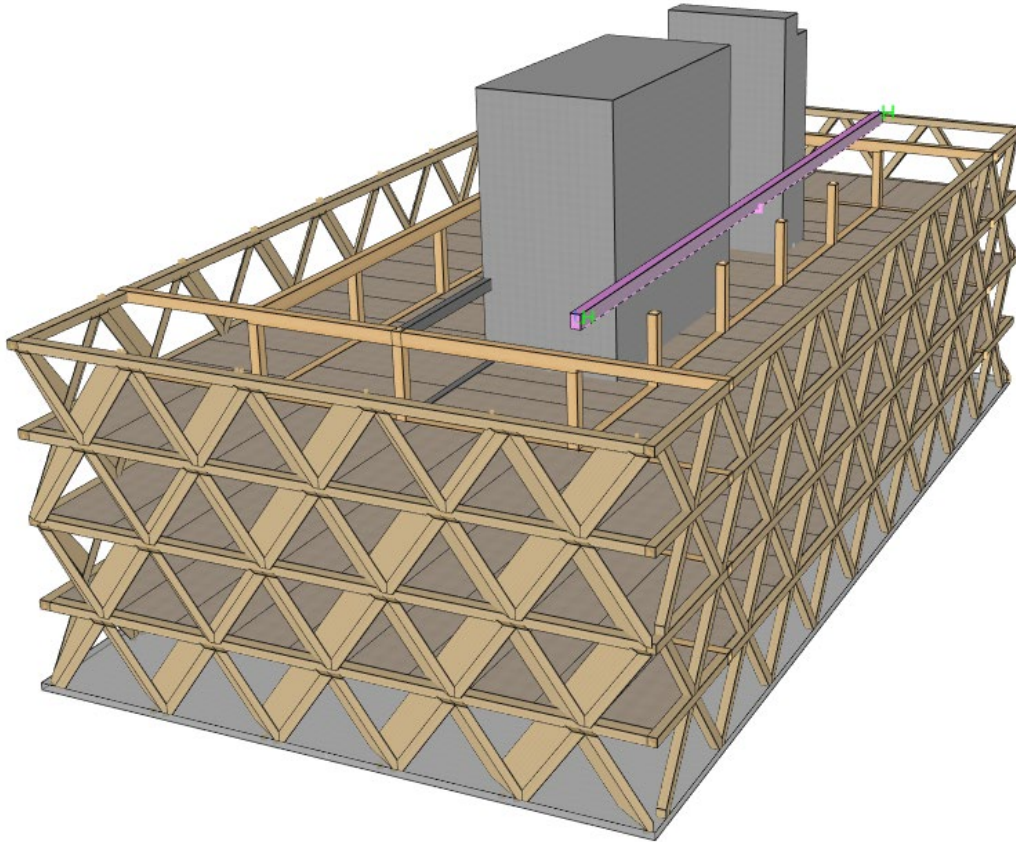


Abbildung 2: Auszug Montagekonzept (DERIX Gruppe)

Das Gebäude wird nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip erbaut, dabei wird sehr viel Wert daraufgelegt, dass alle verwendeten Materialien, auch Verbrauchsgüter, kreislauffähig, also entweder wiedernutzbar oder biologisch abbaubar sind.

Bei den Knotenpunkten in der Fassade handelt es sich um Steckverbindungen, die auch im Zuge eines späteren Rückbaus einfach voneinander getrennt werden können. Die Fassade wird zusätzlich von Prallscheiben vor Witterungseinflüssen geschützt.

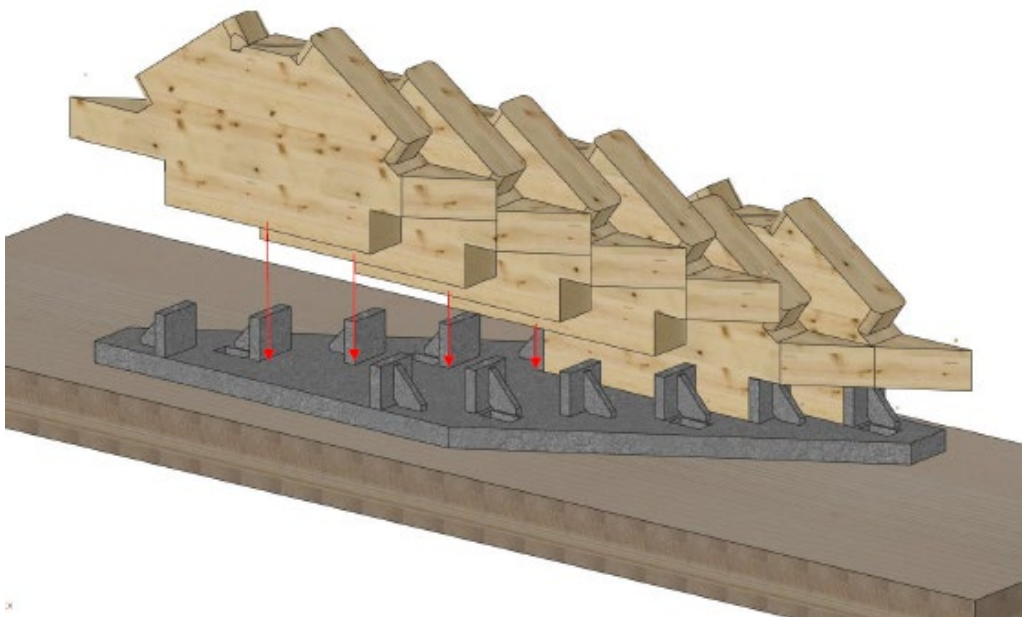


Abbildung 3: Knotendetail tiefe Stütze (DERIX Gruppe)

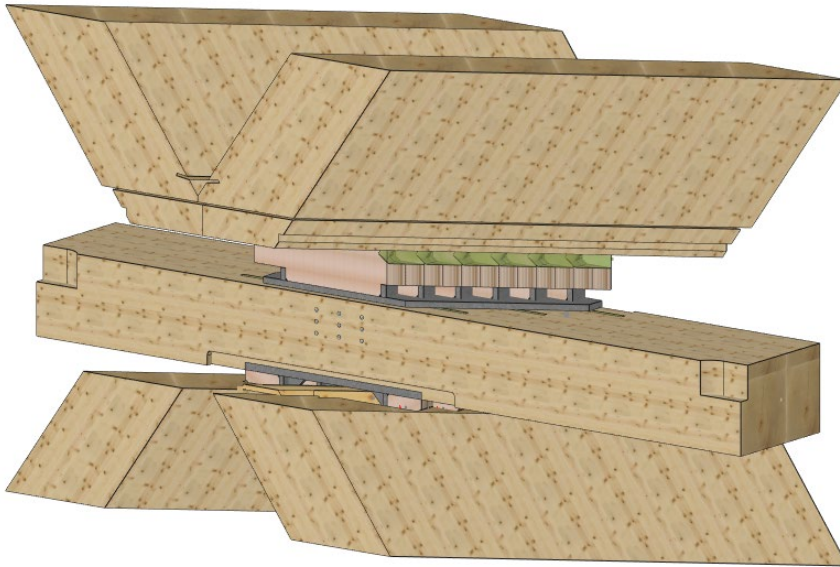


Abbildung 4: Knoten tiefe Stütze (DERIX Gruppe)



Pre-construction of facade elements

Abbildung 5: Vorfertigung im Werk (DERIX Gruppe)

Zur späteren Katalogisierung und möglichen Identifikation aller Bauteile wird ein Material Passport bzw. ein Materialkataster angelegt. In dieser Datenbank sind sämtliche Informationen jedes einzelnen Bauteils hinterlegt. Das BIM-Modell bildet hierbei das Herzstück für die relevanten Daten.

Die Anforderungen an die Statik und Ausführungsplanung sind enorm. Hierfür wurde von DERIX ein zusätzliches Expertenteam zusammengestellt, und neben Knippers Helbig auch die Schweizer Fachbüros SJB Kempter Fitze und design-to-production eingebunden.

2.2. Kreislaufansätze in der Produktion und Montage

Da die Holzkonstruktion durch Schraub- und Steckverbindungen montiert wird, sind die einzelnen Bauteile bereits kreislauffähig. Durch verschiedene C2C-Kriterien sind jedoch beispielsweise nicht alle auf dem Markt erhältlichen Holzschutzmittel auf Grund der Inhaltsstoffe kreislauffähig zulässig; die Bauteile müssen auf andere Weise ausreichend geschützt werden.

Die Herausforderung ist zudem, durch eine optimierte Zeitplanung zu ermöglichen, dass Verbrauchsgüter wie Verpackungsfolien oder Witterungsschutz nach ihrer ersten Nutzung wiederverwendet werden können. Des Weiteren sind Abläufe so zu planen, dass möglichst viele Bauteile auf einmal transportiert werden können, sodass Treibstoff eingespart werden kann.

Zudem müssen während der Montage verschiedene Kriterien bezüglich der Bauprozesse befolgt werden, welche in der Planung mit einbezogen werden müssen (z.B. Vermeidung von Müll durch wiedereinsatzbares Heuballenvlies als Witterungsschutz, statt Folie).

Durch die Anwendung von Lean Construction werden Optimierungen in Produktions- und Montagezeit, damit einhergehend die Optimierung von Wirtschaftlichkeit sowie der Ressourcennutzung erreicht.

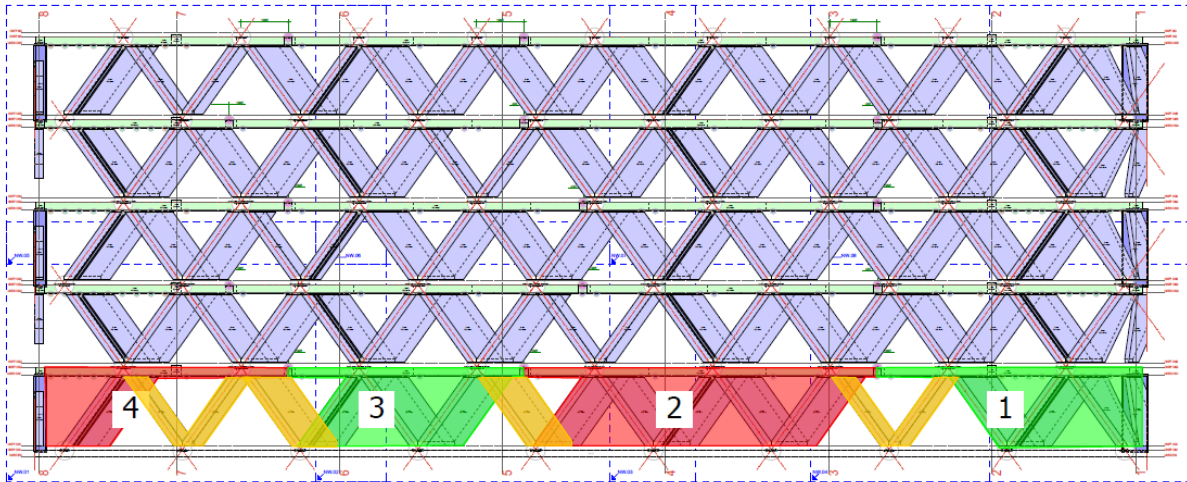


Abbildung 6: Vorelementierung Fassadenstützen (DERIX Gruppe)



Abbildung 7: Vorelementierte Fassadenstützreihe (DERIX Gruppe)

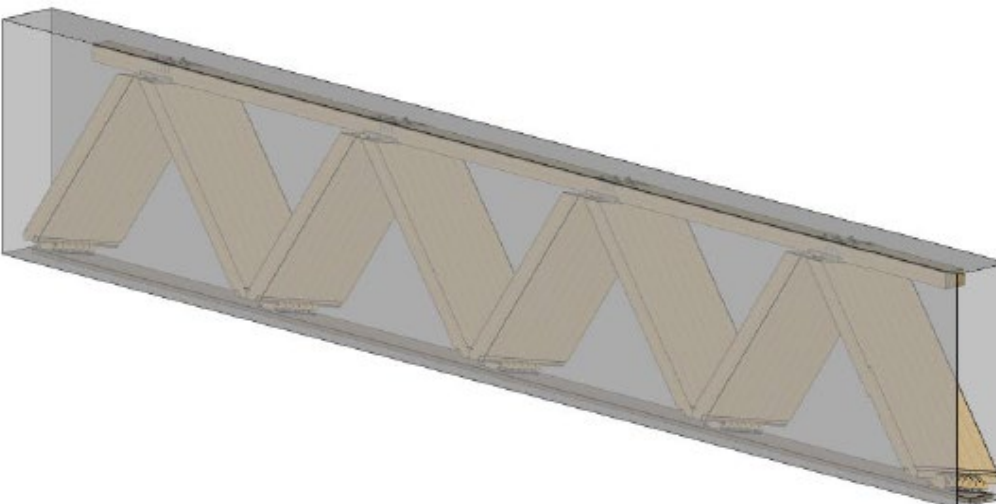


Abbildung 8: Schema Transport- und Montageschutz (Heuballenvlies) (DERIX Gruppe)



Abbildung 9: Montageprozess der vorgefertigten, gesteckten Elemente mit Heuballenenvlies (DERIX Gruppe)

Ebenso wird bereits in der Planungsphase, d.h. auch vor Produktionsbeginn, ein Demontagekonzept für das Gebäude erstellt. Da alle Bauteile der Holzkonstruktion durch Steck- oder Schraubverbindungen montiert werden, ist es theoretisch möglich, diese gemäß den C2C-Bestimmungen zerstörungsfrei zurückzubauen.

Der Rückbau erfolgt in denselben Bauabschnitten wie bereits die Montage, in umgekehrter Reihenfolge. Die Ablaufplanung eines Geschosses lautet wie folgt:

1. Demontage der Deckenplatten
2. Demontage von Fassadenstützen
3. Demontage der Unterzüge
4. Demontage der Innenstützen
5. Demontage der Fassade und der Fassadenstütze

2.3. Kreislaufwirtschaft im Holzbau beginnt jetzt

Im Zuge der Planungen für «the cradle» und auch aus der Erfahrung mit anderen zirkulär geplanten Projekten (vgl. «the circl» Amsterdam oder «Triodos Bank» Zeist), geht die DERIX-Gruppe neue Wege und führt 2021 eine generelle Rücknahmeverpflichtung für alle Bauteile ein.

Diese Rücknahmeverpflichtung ist Bestandteil jedes Angebotes für Brettschichtholz- und X-LAM-Elemente. Es gibt einige Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für die zurückzunehmenden Bauteile, insbesondere eine durchdachte Planung und zirkuläre Konzeption betreffend. Mit der Rücknahmeverpflichtung schafft es die DERIX-Gruppe, Anreize für Bauherren und Planer zu setzen, ihre Neubauten nach zirkulären Planungsansätzen auszurichten.



Abbildung 10: Rücknahmekreislauf von Massivholzelementen bei der DERIX Gruppe

3. Konstruktive Rahmenbedingungen

Im Auftrag von DERIX ist die Holzbaustatik und die Arbeitsvorbereitung enthalten. Um die Abläufe der Arbeitsvorbereitung im Kerngeschäft nicht zu belasten, hat DERIX bereits in der Angebotsphase SJB Kempter Fitze mit Unterstützung von Knippers-Helbig für die Statik und Design-to-Production für die Detailplanung und Parametrisierung ins Boot geholt.

Zum Projektstart sind die folgenden Rahmenbedingungen vorausgesetzt:

- Cradle to Cradle Prinzip
- Architekturplanung nach LP5 abgeschlossen
- Genehmigungsstatik freigegeben – Auftrag = Anschlussstatik
- Brandschutzplanung genehmigt und abgeschlossen

3.1. Materialisierung Randträger

Die Randträger im (kalten) Deckenrand waren in einer Variante vor der Ausschreibung in Stahl angedacht. Diese Variante stellte sich vor allem aufgrund der Produktionstoleranzen und der Temperaturendeckung als wenig erfolgsversprechend heraus.

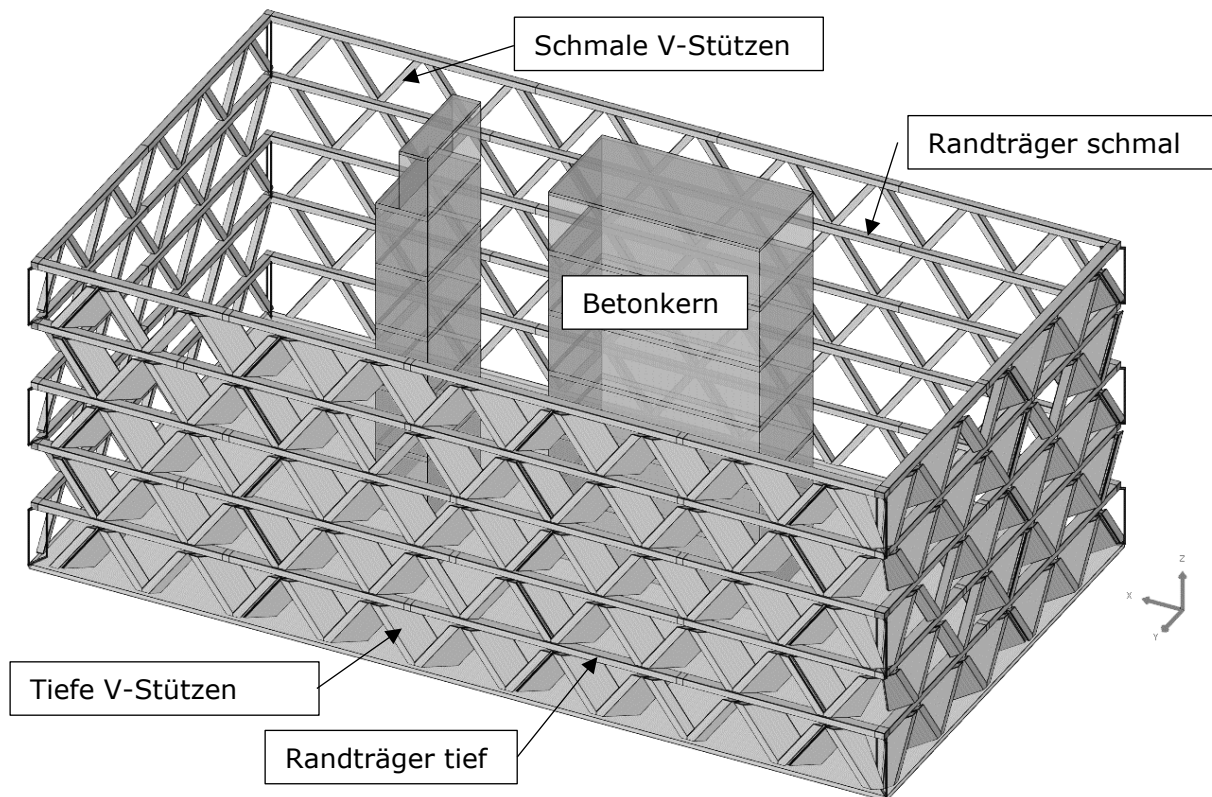


Abbildung 11: Axonometrie der Fassadentragkonstruktion (kalt) und der Betonkerne im Zentrum (warm)

Wir haben damals eine Variante mit BauBuche-Trägern vorgeschlagen. Dabei sind wir von BauBuche-Q anstelle der BauBuche-S Variante als Lamellen ausgegangen. Wenn die Lamellen vertikal eingebaut werden, kann damit die Querdruckfestigkeit erhöht und vor allem das Quell-Verhalten der sehr trocken produzierten Träger auf ein Minimum reduziert werden. Erst später haben wir erfahren, dass aus zulassungstechnischen Gründen die BauBuche-Träger nur mit S-Lamellen produziert werden dürfen. Mit BauBuche-S-Lamellen hat sich dieser zentrale Vorteil in Luft aufgelöst. Es gibt aber die Möglichkeit, über Baumesungen, die Berücksichtigung der Zeitachse und die Arbeitsvorbereitung diesen Effekten entgegen zu wirken.

Diese wesentlichen Effekte sind:

- Quellen der BauBuche-Träger
- Schwinden der Betonkerne
- Elastische Verformung der Innenstütze
- Elastische Verformung und Kriecheffekte in den Anschlüssen

Ohne Korrekturmassnahmen im Szenario «oberer Grenzwert» wäre aufgrund derartiger Effekte ein theoretisches Deckengefälle von bis über 1% möglich:

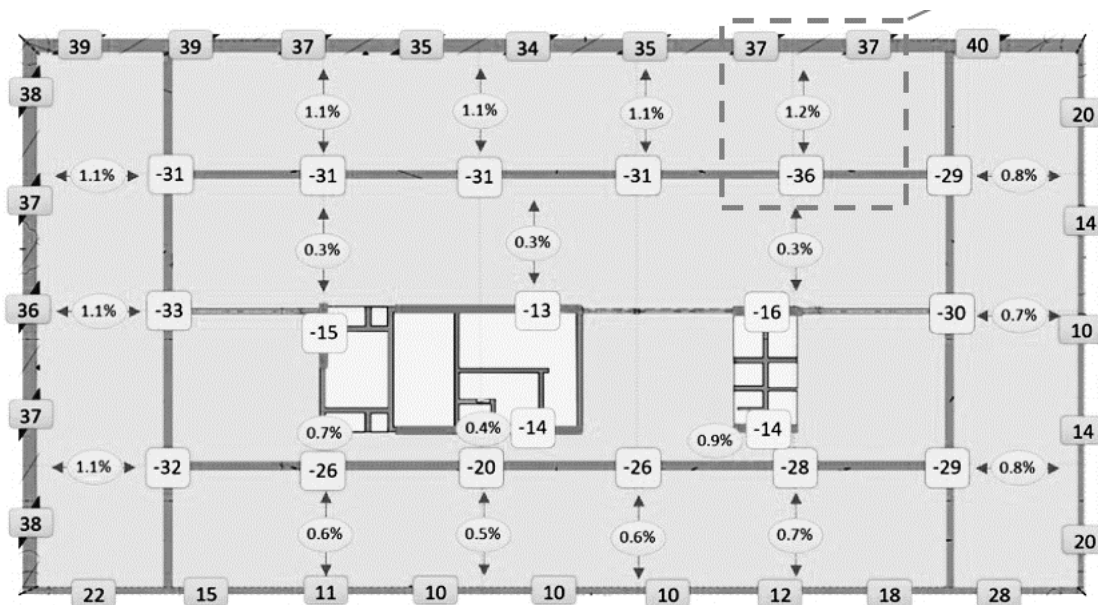


Abbildung 12: Deckenverformung «oberer Grenzwert – ohne Korrekturmassnahmen» (+ = nach oben)

Die Optimierung dieser Parameter brachte nicht den gewünschten Erfolg um die resultierenden Risiken genügend einzugrenzen und so entschied DERIX die Randträger in Fichte zu realisieren und eine Lastdurchleitung in Stahl zu organisieren.

Wesentliche Punkte der ausgeführten Variante:

- Betonkerne früh betoniert: Schwinden beim Montagestart wesentlich erfolgt
- Bleche der Lastdurchleitung sind gelasert (Masshaltigkeit)
- Einlagen pro Geschoss von 5mm um fortlaufend korrigieren zu können (+/-5mm)

3.2. Brandschutz

Vorgaben:

- R90 ohne Sprinkler (GK5)
- Nachweise über Abbrand (BSH und CLT)
- Stahlbauverkleidungen
- Holzbauverbindungen in Stahl: Geschützt durch Holzüberdeckung oder Brandschutzanstrich

Die am Markt verfügbaren Brandschutzanstriche benötigen Platz zum Aufschäumen und müssen bei der vorgegebenen Nutzungsdauer revisionierbar und für Aussenanwendung zulässig sein. Diese Anforderungen konnten nicht erfüllt werden und so wurde ein alternatives Konzept mit Aestuver - Brandschutzplatten entwickelt.

3.3. Wasserableitung am Fassadenknoten

Die Fassadenstreben sind faktisch kaum austauschbar. Also versucht man solche tragende, direkt bewitterte Holzbauteile zu verkleiden. Aus architektonischer Sicht konnte dies aber nicht umgesetzt werden. So wird eine wesentliche Frage, welche Flächen überhaupt bewittert werden und wie man Hinterläufigkeit verhindert.

Die Schnittflächen der V-Stütze mit einem Kegel mit 60° Flankenneigung ab der Vorderkante Prallscheibenverglasung ergeben eine Fläche, welche aus unserer Sicht relevant bewittert werden kann.

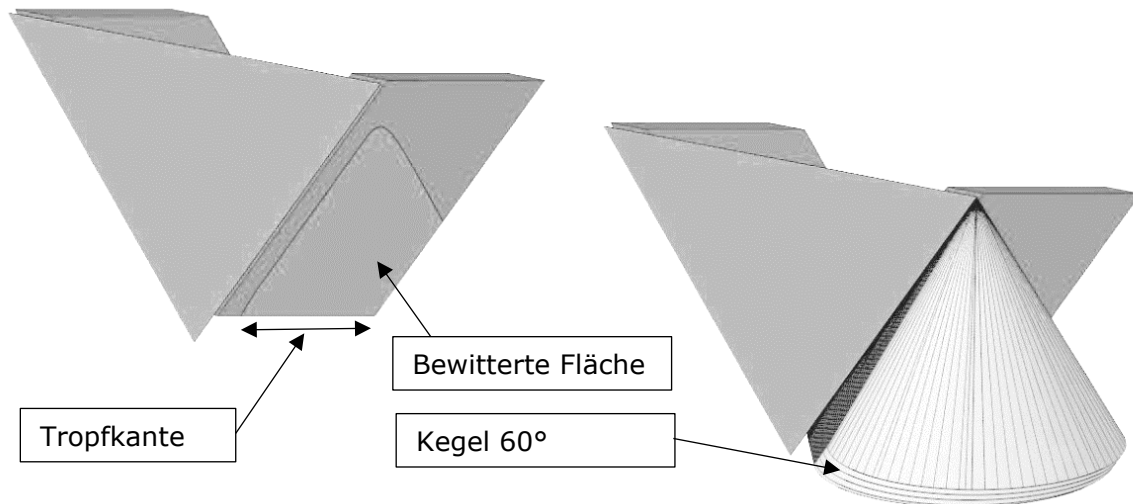


Abbildung 13: Bewitterungsanalysen an den tiefen V-Stützen

Wir haben uns auf eine hinterschnittene Tropfkante festgelegt, welche 35mm tief eingeschnitten wird und umläuft. Auch im Bereich zwischen den Stützen ist eine Tropfkante mit einem Blech (im Gefälle) eingesetzt.

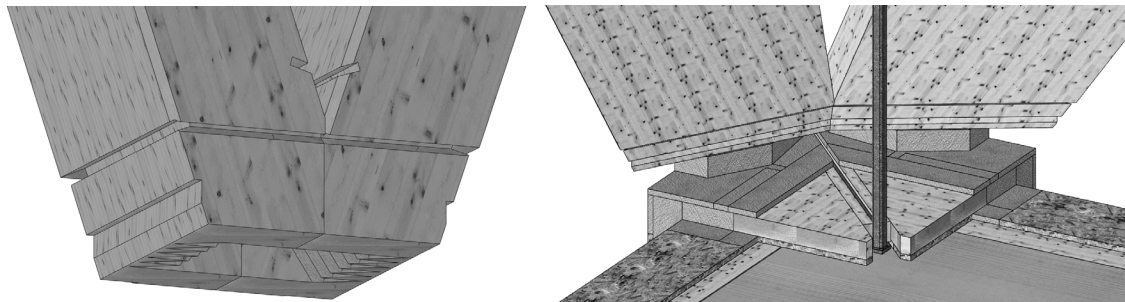


Abb. 14: Umlaufende Tropfkante (Ansicht innen)

Abb. 15: Ecke E1 – Aufdopplung für Abdichtung.

Die Details mussten so umgestaltet werden, dass für die Abdichtungsbauer möglichst viele Absätze und Kanten vermieden werden.

3.4. Koordination und Modelle

Die LP5-Planung war unzureichend koordiniert, auch weil man am Schluss das gleiche Volumen eines Tragwerks nur mit einem Material füllen kann. Die zur Verfügung gestellten Details wiesen an verschiedenen Stellen keine Übereinstimmung auf. So gab es kaum Details, welche Bautoleranzen ermöglichen. Auch wurden relevante Verschwächungen durch Einschnitte / Ausschnitte z.B. aufgrund anderer Gewerke nicht berücksichtigt. Jeder Plan für sich scheint plausibel, weisen aber kein «kleinstes gemeinsames Vielfaches» auf. So hat sich die Entwicklung der Konstruktion zu DERIX hin verschoben und so haben wir die Details als *.ifc entwickelt und den Fachplanern zur Verfügung gestellt.

Nach entsprechender Freigabe wurden von Design-To-Production die Produktionsmodelle entwickelt. Dabei wurden diese Modelle parametrisiert, zusammengefügt, und auf Produktionsgenauigkeit getrimmt. Anschliessend wurden alle Bauteile mit sämtlichen notwendigen Attributen ergänzt, welche für Produktion, Montage und die C2C-Materialdatenbank erforderlich sind.

4. Detailierung

4.1. Decken / Dach

Das Dach mit einem vorgegebenen Retensions - Aufbau von 405kg/m^2 bei einer Schneelast von 52kg/m^2 führt zu einer sehr aufwändigen Konstruktion. Auch Teile vom Staffelgeschoss-Aussenbereich werden mit Retension versehen. Hier wird teilweise sogar ein Eigengewicht von 750kg/m^2 aufgebaut. In den Regelgeschossen sind mit $470\text{--}490\text{kg/m}^2$ ebenfalls sehr schwere Decken eingesetzt. Diese Lasten müssen durch alle Geschosse geleitet werden und als Erdbebenkraft auch zum Kern geleitet werden. Mit einer anderen Retensionslösung und optimierten Aufbauten gehen wir davon aus, dass ohne grössere Kräfte 1-2 Geschosse mehr möglich gewesen wäre.

Um beim Deckenschwingen die angestrebte Schwingungsklasse 1 zuverlässig zu erreichen, muss der Einfluss der Unterzüge berücksichtigt werden. Hier hilft, dass die Lastdurchleitung am Knoten zu einer teilweisen Einspannung der Randträger führt und die Gesamtfrequenz vom System durch den Unterzugeinfluss so weniger stark reduziert wird.

4.2. Fassade tief & Loggien

Aus architektonischen Gründen schneiden sich die Fachwerkachsen ausserhalb vom Randträger-Querschnitt und somit nicht an einem Punkt. Der vertikale Versatz ist mit 222mm enorm.

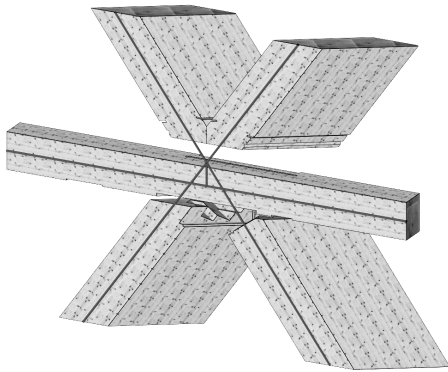


Abbildung 16: Achsenschnittpunkt

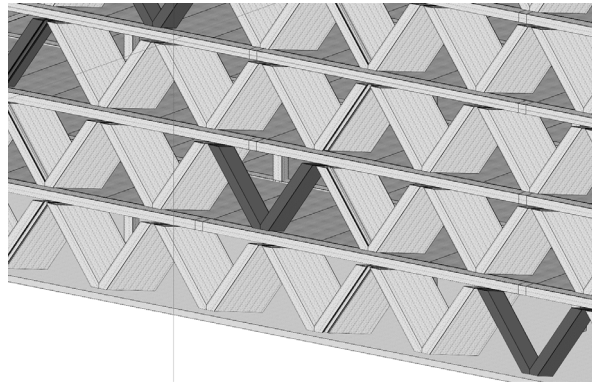


Abbildung 17: Loggien - V-Stützen

Gleichzeitig will die Architektur mit sogenannten Loggien den Raum zwischen der dahinterliegenden Fassade und dem Tragwerk nutzbar machen.

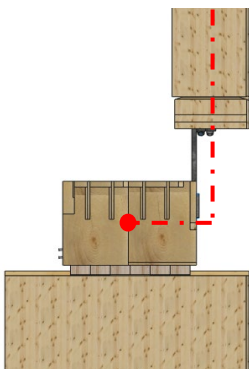


Abb. 18: Loggia-Strebenfusspunkt im Schnitt

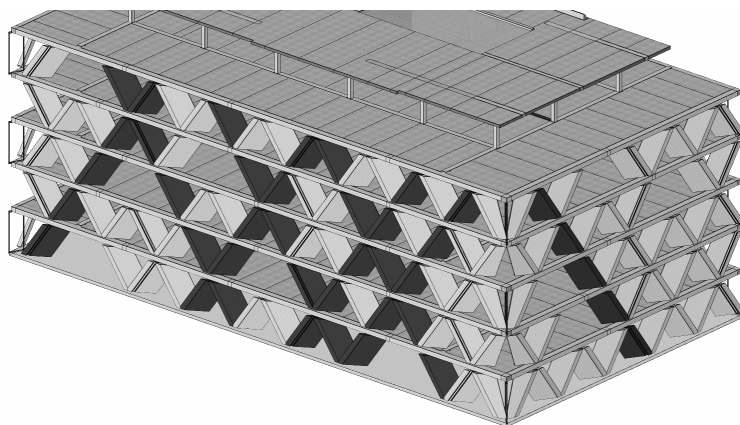


Abbildung 19: Verbleibende direkte Lastpfade (dunkel)

Die Aussermittigkeit der Anschlüsse aus der Fassadenebene ist mit 315mm ebenfalls gross und kann nicht über Torsion vom Randträger oder Einspannung Loggia-Strebenende aufgefangen werden. Sie werden so als Nullstäbe angenommen und tragen lediglich die Prallscheibe.

Die Spreizwirkung, welche aus der Neigung Stützen resultiert, hebt sich an den Randträgerknotenpunkten immer wieder auf. Einzig in den Ecken resultiert aus den nicht durchgehenden Lastpfaden eine Zug- oder Druckkomponenten im Randträger. Durch die eher zufällige Verteilung Loggien und so der Nullstäbe werden die durchgehenden Lastpfade unregelmässig unterbrochen und führen zu einer sehr inhomogenen Druckkraftverteilung in den Streben.

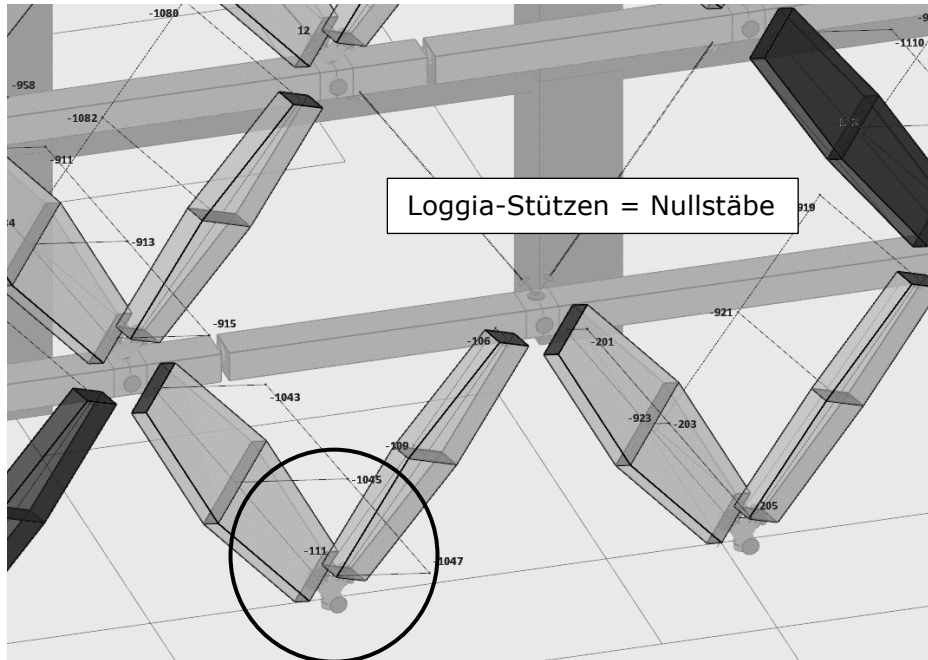


Abbildung 20: Normalkräfte im Bereich der Loggia E4/5 (Design-Niveau, $k_{mod} = 1.0$)

So ergeben sich beim Anschluss zum Massivbau an der Achse E5 aus der Streben links $N_{Ed} = 1045\text{kN}$ aber von rechts nur 110kN . Daraus entwickelt sich eine Horizontalauflagerkraft von 540kN , welche lokal mit entsprechender Exzentrizität in den Massivbau eingeleitet werden muss. Wäre die Loggia-Stützen statisch tragend, würden sich an dieser Stelle nur ca. 20% dieser Horizontalkraft ergeben. Noch gravierender wird dieser Zusammenhang für die Randträger. So werden die differentiellen Normalkräfte in den Randträgern auf bis zu 595kN erhöht. Mit der Exzentrizität von 222mm ergibt sich ein Versatzmoment von 132kNm , welches im Bereich des Netto-QS-Widerstandes an der entsprechenden Stelle liegt. Abgesehen davon, wird üblicherweise eine Stützenkraft in einem Rechteckquerschnitt entlang seiner Haupt-QS-Abmessungen übertragen und damit werden die Anschlüsse sehr einfach. Durch das Abdrehen der Querschnitte ergeben sich enorme Kraft-Komponenten (Grafik = F_{90}), welche aus der Fassadenebene wirken und mit der CLT-Decke stabilisiert werden müssten.

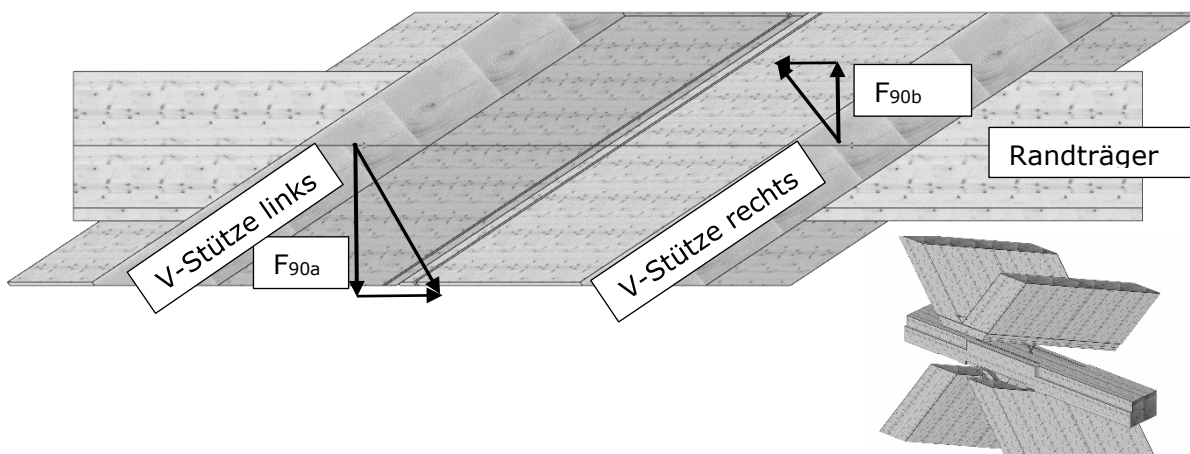


Abbildung 21: Horizontalschnitt auf halbem Geschoss (gemäss Axonometrie rechts)

Durch das Aufteilen in sechs virtuelle Scheiben aus Baubuche-Q (Abbildung 5) konnte der Lastübertrag ausschliesslich in Fachwerkebene ermöglicht werden und die Komponenten F_{90} entfallen. Im Gegenzug erhöht sich die Komplexität an die Fräsung der Anschlusssteile enorm.

4.3. Ecke E1

Bei dieser Ecke ergibt sich nicht nur die vertikale Exzentrizität, sondern ebenfalls eine horizontale Exzentrizität von 252mm. Somit schneiden sich die Stabachsen in beide Richtungen ausserhalb vom Randträgerquerschnitt. Bei der maximalen Strebennormalkraft im Eck von 500kN (notabene ohne Vorholz) sind die Anforderungen an Modellierung und Konstruktion hoch.

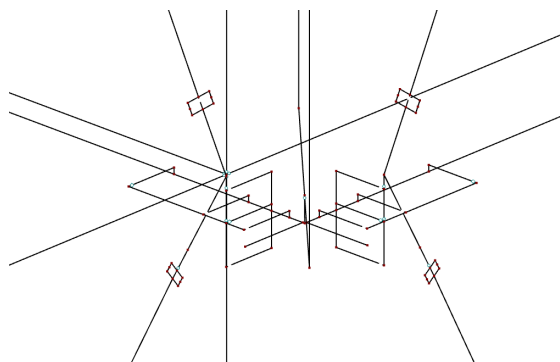


Abbildung 22: Statikmodellierung der Exzentrizitäten

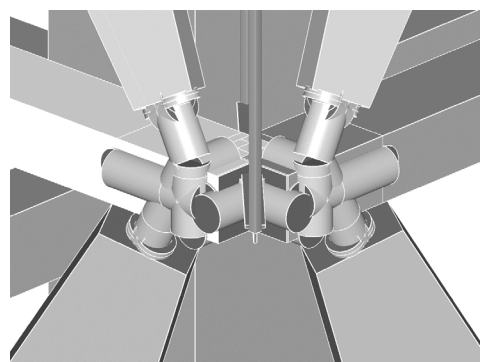


Abbildung 23: Rendering Statikmodell

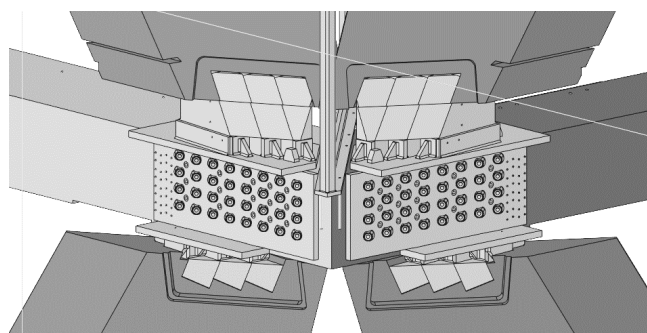


Abbildung 24: Konstruktion E1 – Brandschutzplatten ausgeblendet

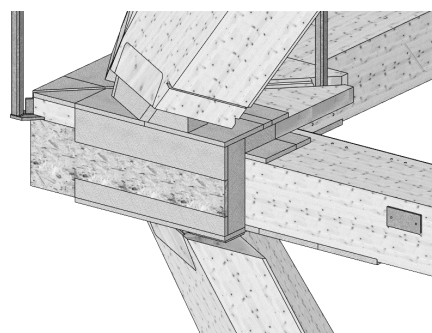


Abbildung 25: E1 mit Brandschutzplatten

4.4. Fassade schmal

Für die schmale Fassade wurden die Details und Produktionsstrategien übernommen. Da diese Fassaden über keine Loggien verfügen und die Streben auch nicht abgedreht sind, sind die Querschnitte massiv kleiner und diese Fassade wird auch erheblich kostengünstiger. Der Lasteintrag aus den Decken ist bei dieser Fassade aber nur unwesentlich geringer im Vergleich mit der tiefen Fassade.

4.5. Innenbereich

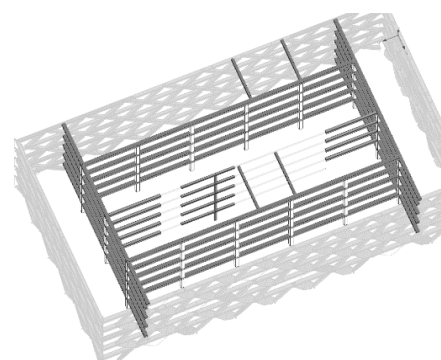


Abbildung 26: Innere Unterzüge und Stützen

Die Unterzüge (400/560mm) und Stützen (400/400mm) im Innenbereich sind mehrheitlich aus BauBuche erstellt. Die Unterzüge zwischen den Betonkernen bestehen hingegen aus Stahlprofilen bis HEM400.

Bei der Entwicklung der Details und der Umsetzung war vor allem die Schnittstelle zum Massivbau und der Stahlträger an den Holzbau aufwändig. Herausfordernd war der Umgang mit den massiven Betonkernabweichungen bei gleichzeitiger R90-Anforderung über Abbrand und Brandschutzplatten.

5. Fazit

Es war von Beginn weg klar, dass das Projekt in der vorliegenden Konstellation sehr komplex wird. Doch neben den statisch-konstruktiven Herausforderungen ist auch immer der Mensch im Zentrum. Da es für die meisten Fachplaner trotz der enormen Komplexität das erste Holzbauprojekt war, konnte man immer eine Unsicherheit spüren. Es wurden so an verschiedenen Stellen falsche Entscheidungen getroffen, welche dann bei unserem späten Eintritt ins Projekt nicht mehr korrigiert werden kann.

So muss man mit den daraus entstehenden Konsequenzen umgehen können und proaktiv das Beste daraus machen. Es wäre sicher wünschenswert, wenn gerade bei solchen Projekten die Fachplaner-Teams ausgewogener zusammengesetzt werden könnten.

Trotzdem möchten wir diese Aufgabe nicht missen und es war spannend zu sehen, wie wir als DERIX und SJB Kempter Fitze zusammen mit Design-To-Production wieder ein ordentliches Stück an dieser Aufgabe wachsen konnten.