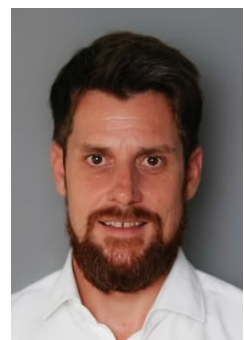


Holzhochhaus in Zürich Regensdorf: Tragwerksentwurf, Variantenstudium, Robustheit

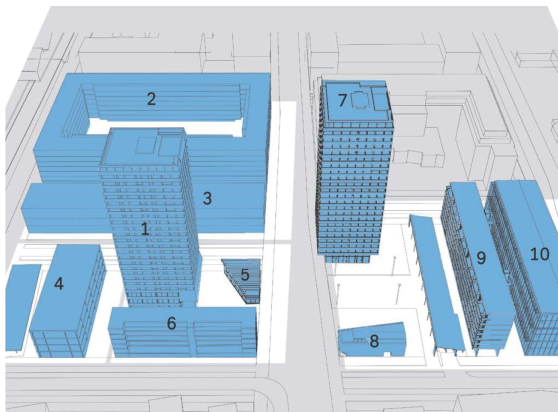
Ivan Brühwiler
B3 Kolb AG
Romanshorn



1. Einleitung

Direkt am Bahnhof Regensdorf-Watt entsteht das neue Stadtquartier «Zwhatt» der Anlagestiftungen Turidomus, Pensimo und Adimora. Für «Vielfalt in der Architektur» sorgen namhafte Architekten. Entwickelt wurden acht Gebäude (1. Etappe), darunter zwei Hochhäuser (siehe Abbildung 1). Die Bauherrschaft möchte beim Hochhaus H1 ein Leuchtturmprojekt umsetzen, das hohe Ziele in Städtebau, Architektur, Energie, Gemeinschaft, Mobilität, Betrieb, Zusammenarbeitsmodellen, Vermarktung und Kommunikation erfüllen soll.

Das aus einem Studienauftrag siegreiche Hochhausprojekt H1 (Höhe 75 m) von Boltshausener Architekten setzt dabei auf Holz. Der Sockel nimmt überwiegend gewerbliche Funktionen auf, die Hauptnutzung ist Wohnen. Dem Projekt bescheinigte die Bauherrschaft gemäss Jurybericht unter anderem eine grosse Flexibilität in der horizontalen wie auch vertikalen Organisation der Wohneinheiten – die Wohnungen sind im Raster des Holzbaus überzeugend eingeschrieben. Zudem begeistert der Holzbau nicht nur auf konstruktiver Ebene, sondern auch aus atmosphärischer Sicht in den Wohnungen: man wohnt zwischen oder in der sichtbaren Holzstruktur.



Beispiel eines möglichen Entwicklungsszenarios mit weiteren Etappen

- | | | |
|-----------------|---------------|----------------------|
| 1 Hochhaus H1 | 5 Corner-Shop | 9 Querbau mit Loggia |
| 2 Superblock | 6 Längsbau | 10 Mobilitätshub |
| 3 Strukturbau | 7 Hochhaus G | |
| 4 Mobilitätshub | 8 Pavillon | |



Abbildung 1: Übersicht Stadtquartier Zwhatt (linkes Bild, Pensimo Management AG) und Visualisierung Hochhaus H1 (Boltshausener Architekten AG)

1.1. Auszug Projektbeteiligte

Bauherrschaft: Anlagestiftung Pensimo, Zürich
Architektur: Boltshauser Architekten AG, Zürich
Landschaftsarchitektur: Lorenz Eugster Landschaftsarchitektur + Städtebau GmbH, Zürich
Tragwerksingenieure: INGE «Zwhatt»:
B3 Kolb AG, Romanshorn & Schnetzer Puskas Ingenieure AG,
Basel
Brandschutzingenieur: B3 Kolb AG, Romanshorn

1.2. Projektstand

Die Vor- und Bauprojektphase ist abgeschlossen, die Baubewilligung wird demnächst erwartet. Die Angebote der Submissionspakete für das Tragwerk/Holzbau und weitere Gewerke sind eingegangen, die Vergabe erfolgt demnächst.

2. Tragwerksentwurf

2.1. Einleitung

Der Tragwerksentwurf wurde im Rahmen des Studienauftrages in interdisziplinärerer Zusammenarbeit zwischen Architektur und Tragwerksingenieuren entworfen, um eine auf die Architektur und Nutzung optimierte und wirtschaftliche Konstruktion zu erzielen. Auch die weiteren Spezialgebiete wie Haustechnik und Bauphysik wurden bereits in dieser Phase beigezogen. Erfahrungsgemäss bestimmt der Entwurf die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit eines Bauwerkes, in den weiteren Planungsphasen nimmt das Optimierungspotential ab. Für ein erfolgreiches Hochhausprojekt in Holz- oder Holzhybridbauweise gilt es bei der Tragwerkskonzeption einige Themenfelder zu beachten, die gegenüber den bisherigen Gebäudetypologien im Holzbau an Bedeutung gewinnen.

2.2. Vertikale Lastabtragung

Beim Tragwerksentwurf wurde viel Wert auf ein klares, übereinanderliegendes Tragraster mit einem einfachen Holz- oder Holzhybridbausystem gelegt, welches eine optimale Trennung von Primär-, Sekundär- und Tertiärsystem aufweist und Nutzungsflexibilität für eine grosse Bandbreite an unterschiedlichen Wohnungstypologien bietet.

Diese Ausgangslage führte zur Lösung einer Struktur mit regelmässigem Stützenraster und aufgelegten, vorgefertigten Deckenelementen. Unter Berücksichtigung der Transportmöglichkeiten der vorgefertigten Deckenelemente wurden unterschiedliche Stützenraster untersucht, damit den Bedürfnissen entsprechende Wohnungsgrundrisse möglich sind. Als vorteilhaft erwies sich ein Stützenraster von 3.4 x 7.8 m, wodurch sich die Unterzüge in die Deckenelemente bereits im Werk integrieren lassen und ein zweiachsig tragendes Deckensystem vorliegt. Ein einfaches Tragsystem, bestehend aus zwei Bauteilen: Stützen und Deckenelemente. Mit diesem Ansatz sind sämtliche Holzrahmenbau-Aussenwände wie auch -Innenwände ohne tragende Funktion. Der Regelgrundriss sowie der Stützenraster beziehungsweise die Einteilung der Deckenelemente ist aus Abbildung 2 ersichtlich.

In den unteren drei Geschossen über Terrain mit öffentlicher Nutzung und dem architektonischen Anspruch einer Rückversetzung sowie teilweise aussenliegender Tragstruktur liegt eine Anpassung des Tragsystems vor. Für die Lastumleitung wurden in Abhängigkeit des gewählten Rasters im oberen Bereich ebenfalls unterschiedliche Lösungsansätze gesucht. Als zielführend wurde die Abfangung mit einzelnen geschosshohen Wandscheiben in Kombination mit einem umlaufenden Brüstungsträger erachtet, um statisch sinnvolle und wirtschaftliche Tragelemente zu erhalten (keine Abfangung über Geschossdecke).

Abbildung 3 zeigt das gewählte Tragsystem sowie die Aufteilung der unterschiedlichen Gebäude- und Konstruktionsbereiche. In Abbildung 4 ist das Variantenstudium des Abfanggeschosses für unterschiedliche Stützenraster in den Wohngeschossen dargestellt.

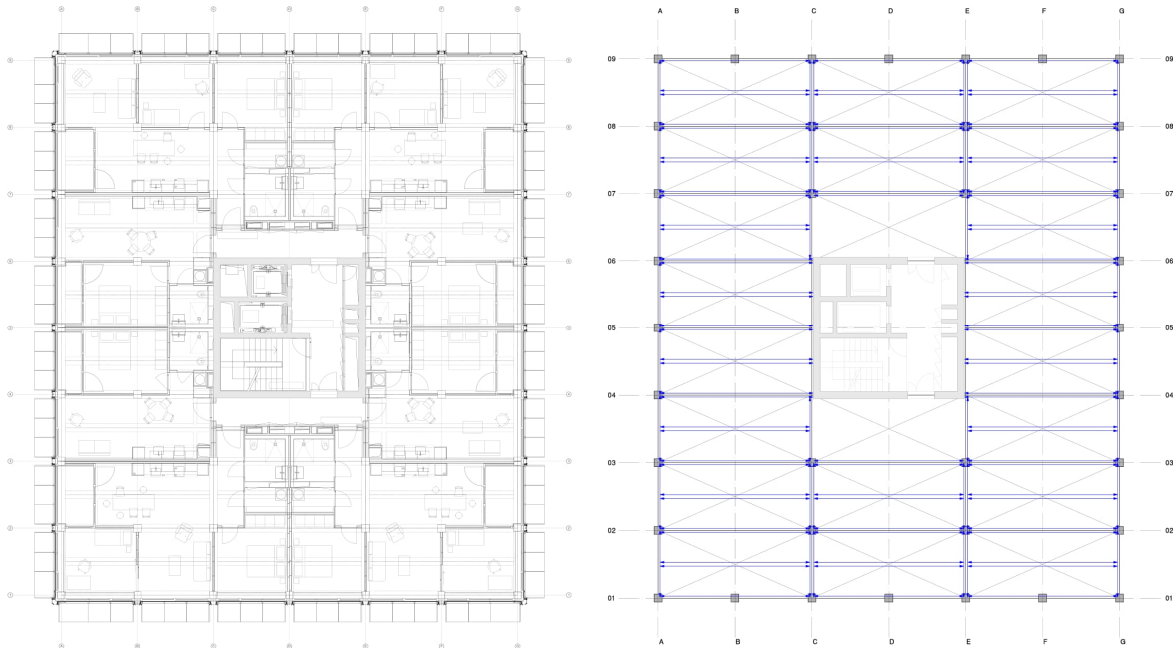


Abbildung 2: Architekturgrundriss Regelgeschoss (linkes Bild, Boltshauer Architekten AG) und Stützenraster (3.4 x 7.8 m) beziehungsweise Einteilung Deckenelemente

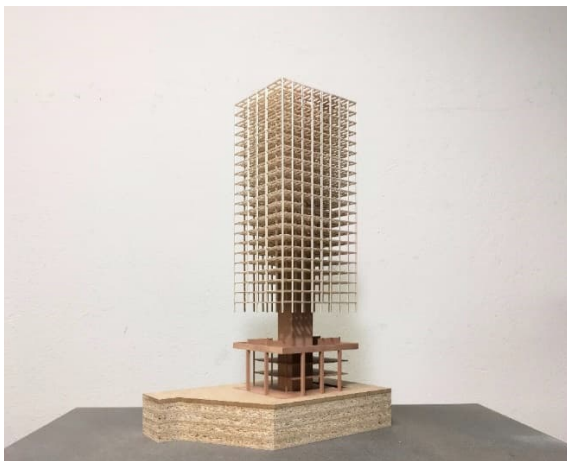


Abbildung 3: Modell Tragstruktur (linkes Bild, Boltshauer Architekten AG) und Aufteilung Gebäude- und Konstruktionsbereiche

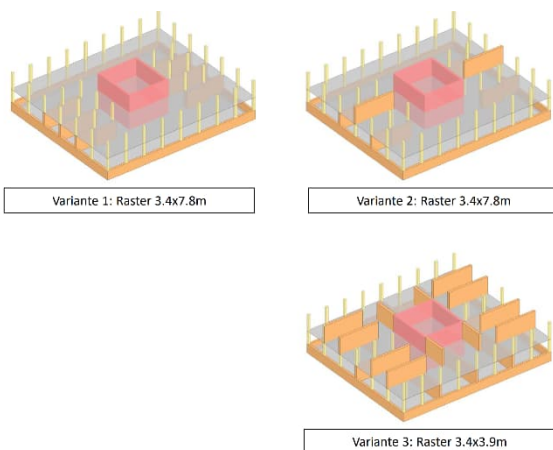


Abbildung 4: Variantenstudium Abfanggeschoss mit unterschiedlichem Stützenraster in den Wohngeschossen

In Bezug auf die Materialisierung fiel die Wahl auf eine Lösung in Holzhybridbauweise, nach dem Motto «jedes Material am richtigen Ort». Während für die Wohngeschosse mit regelmässigem Raster eine Lösung mit Holzstützen und zweiachsig tragenden Deckenelementen in vorgefertigter Holz-Beton-Verbundbauweise als bevorzugte Lösung evaluiert wurde, erwies sich für die unteren drei Geschosse infolge geänderten Tragsystem sowie den zentrisch angeordneten Erschliessungskern eine Ausführung in Stahlbeton-Bauweise als sinnvoll.

Weitere Informationen zum gewählten Deckensystem sowie der Materialwahl sind in Kapitel 3 zu finden.

2.3. Horizontale Lastabtragung

Für die horizontale Lastabtragung wurden unterschiedliche Ansätze untersucht. Zum einen eine Aussteifung im Bereich der Gebäudehülle mittels Fachwerke, Scheiben, Rahmen sowie «tube in tube-Lösungen», andererseits die alleinige Aussteifung über den zentrisch angeordneten Kern. Als bevorzugte Lösung wurde die Variante mit dem Kern gewählt, damit in den Fassadenbereichen eine höchstmögliche Flexibilität beziehungsweise keine zusätzlichen aussteifenden Bauteile oder infolge einer Rahmenkonstruktion stärker zu dimensionierenden Bauteilen vorliegen. Dies hätte zu Einschränkungen im Bereich der kleinen Wohnungen wie auch der Loggien geführt.

Aufgrund der Schlankheit des Kerns ist zur Einhaltung der horizontalen Schwingungsanforderungen beziehungsweise der Kopfauslenkung infolge von Windeinwirkungen (Gebrauchstauglichkeit) – ohne weitere aussteifende Elemente – nur eine Ausführung in Stahlbetonbauweise sinnvoll. Alternativ wurde in den oberen Geschossen ein Materialwechsel auf Brettsperrholz geprüft. Mit dieser Lösung kann die Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit nur mit einem zweigeschossigen Outrigger erfüllt werden (siehe Abbildung 5). Auf ein Materialwechsel wurde aufgrund der zusätzlichen Massnahmen, Kosten und der Systemdurchgängigkeit verzichtet (unterschiedliche Oberflächen, Installationen Brandschutz usw.).

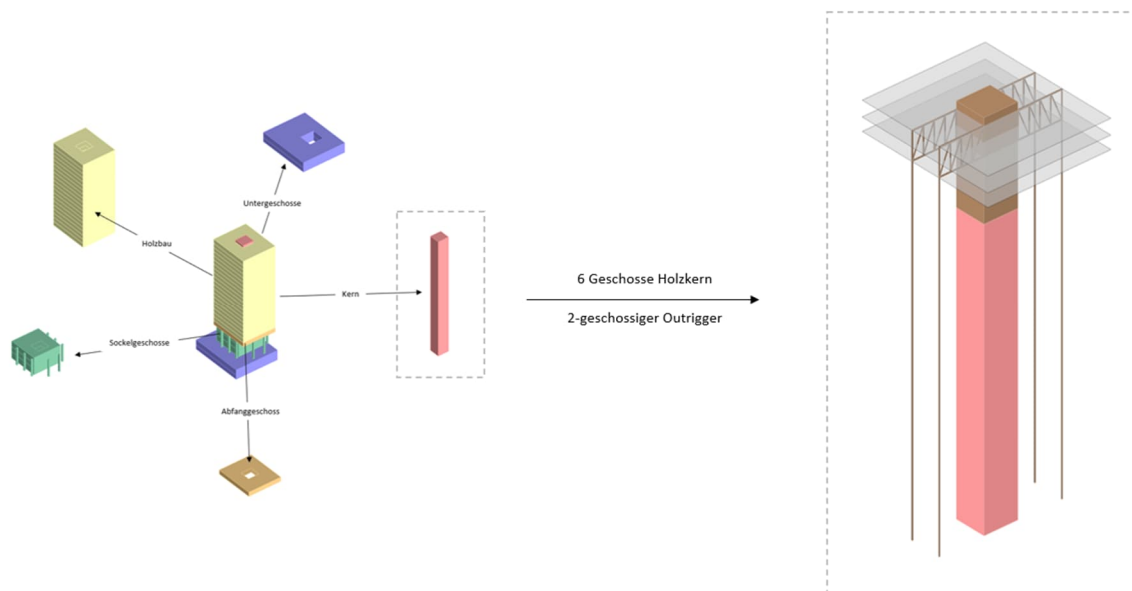


Abbildung 5: Aussteifungskern in den oberen Geschossen mit Holz und zweigeschossigem Outrigger

3. Variantenstudium

3.1. Deckensysteme

Für das definierte Tragraaster wurden verschiedene Deckensysteme (Abbildung 6) mittels umfangreicher Vergleichsmatrizen untersucht und auch der konventionellen Stahlbetondecke gegenübergestellt. Die Variantenstudien und Vergleichsmatrizen sowie realisierte Hochhausprojekte zeigen, dass reine Holzlösungen bei Geschossdecken weniger bedeutend sind. Dies hängt mit den geltenden Schweizerischen VKF-Brandschutzvorschriften zusammen, die bei Standardkonzepten mit Löschanlagen sichtbare, linear tragende Holzbauteile im Hochhaus ermöglichen. Flächige Holzbauteile oder solche in baulichen Konzepten ohne Löschanlage sind dagegen als gekapselte Konstruktionen umzusetzen, was durch die Verkleidungsschichten zu unwirtschaftlichen Lösungen führt. Deshalb setzen sich häufig Geschossdecken aus Holz-Beton-Verbundsystemen (HBV) mit linearen Rippen oder HBV-Decken mit flächigen Holzelementen durch. Bei flächigen HBV-Systemen ist der Tragwerksnachweis für den Brandfall nur mit der Überbetonschicht zu führen. Die HBV-Systeme erfüllen die Anforderungen an Brand- und Schallschutz bereits bei geringen Deckenstärken. Zudem zeichnen sie sich durch den hohen Vorfertigungsgrad sowie die kurze Montagezeit aus, und die Überbetonschicht ist als Abdichtung während der Bauphase nutzbar.

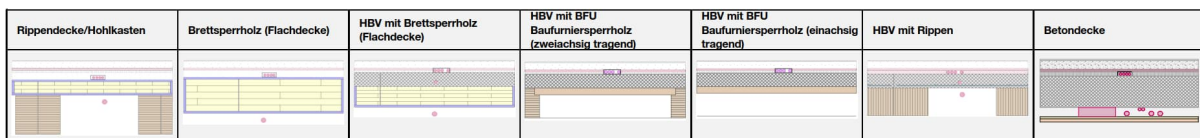


Abbildung 6: Variantenstudium Deckensysteme

Für den vorliegenden Fall erfüllt die Variante «HBV mit Rippen» die gestellten Anforderungen am besten. Damit ist die Tragstruktur im Gebäude sichtbar und spürbar sowie eine hohe Vorfertigung möglich. Abbildung 7 zeigt eine Innenvisualisierung sowie das Strukturmodell eines Deckenelements mit Stützen.

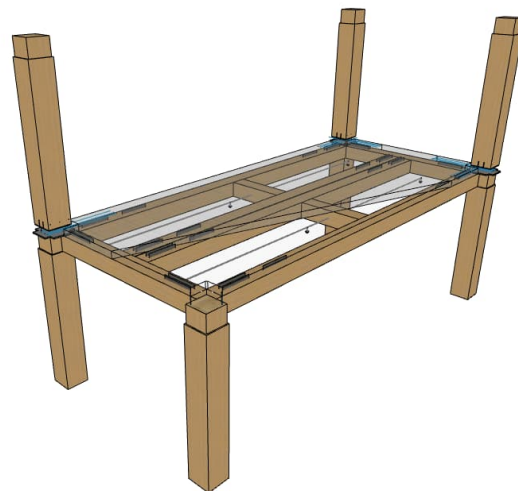


Abbildung 7: Visualisierung Innenräume (Boltshouser Architekten AG) und Strukturmodell Stützen-Decken

Zur Verifizierung und Optimierung des gewählten Systems wurde ein Versuchselement im Massstab 1:1 erstellt (siehe Abbildung 8). Nebst statischen Aspekten wurden auch schalltechnische Messungen für unterschiedliche Bodenaufbauten und Wohnungstrennwandtypen und -anschlüsse untersucht. Aus diesen Erkenntnissen resultieren für die Ausführung einige Optimierungen.



Abbildung 8: Versuch Deckenelement mit unterschiedlichen Bodenaufbauten und Wohnungstrennwandtypen beziehungsweise -anschlüssen

3.2. Anschlussknoten Decken-Stützen

Ein zentrales Element stellen die Knoten zwischen Decken und Stützen dar. In einer breiten Auslegung wurden verschiedene Varianten untersucht, sowohl bereits realisierte Lösungen wie auch neue Ansätze (siehe Abbildung 9). Analog den Decken fand mittels Vergleichsmatrizen eine Bewertung der Knoten nach verschiedenen Kriterien wie z.B. Investitionskosten, Nettoquerschnitt, Kraftdurchleitung, Lasteinleitung, Robustheit, Kosten usw. statt.

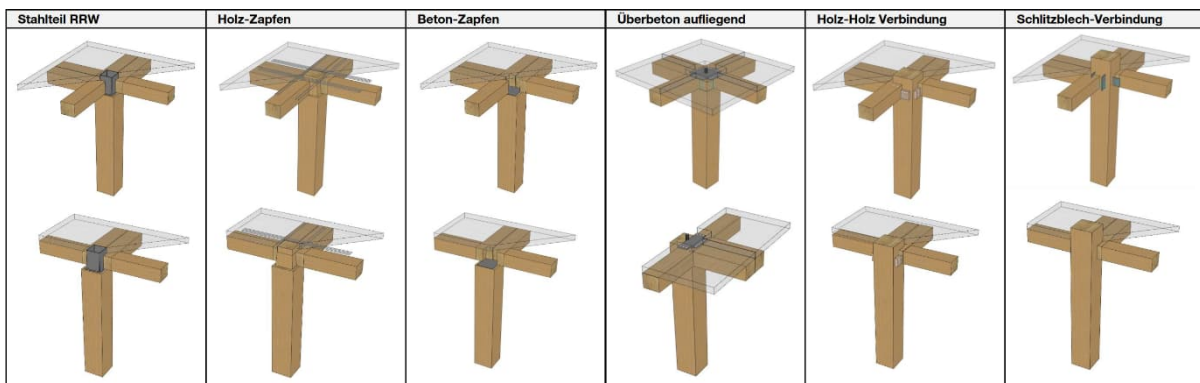


Abbildung 9: Variantenstudium Anschlussknoten Decken-Stützen

Als favorisierte Lösung zeigt sich die Variante «Überbeton aufliegend» (siehe Abbildung 10). Dieser Knotentyp charakterisiert eine allseitig kleine Ausklinkung der Stütze als Montageauflager und zur Aufnahme von Toleranzen, jedoch werden die Vertikallasten über eine einfache, flächige Stahlplatte mittels Vollgewindeschrauben aufgehängt und direkt ins Stirnholz der Stütze eingeleitet. Die Höhenjustierung der Stützen wie auch die Ausbildung der Deckenscheiben erfolgt über einen nachträglichen Verguss mit Mörtel. Diese Knotenlösung ergibt nur einen geringen Querschnittsverlust im Bereich der Geschossdecken, sodass keine Querschnittserhöhung der Stützen infolge der Lastdurchleitung erforderlich wird (gedrungener Querschnitt).

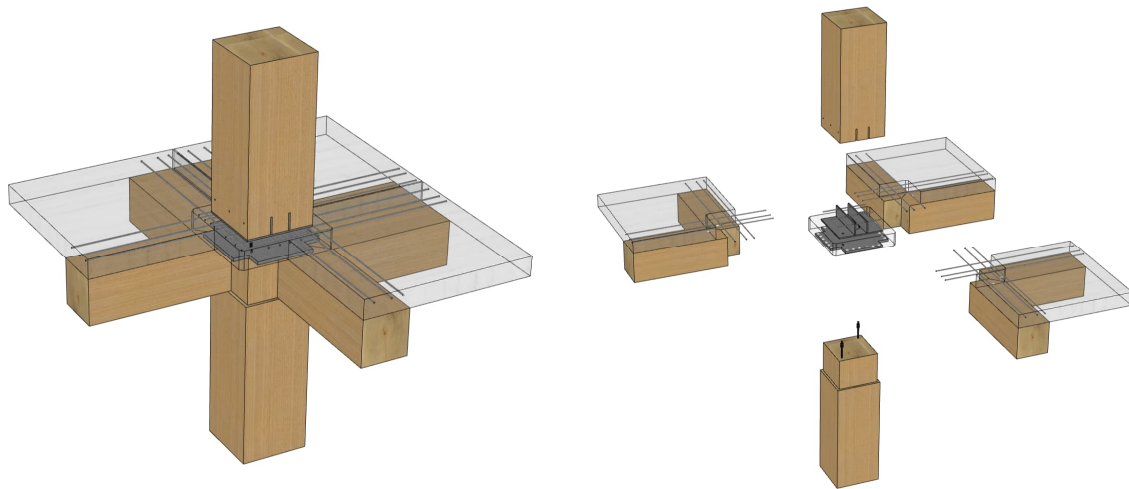


Abbildung 10: Prinzip Anschlussknoten (ohne Massnahmen Robustheit)

3.3. Materialwahl

Bezüglich Materialien besteht eine eindrückliche Auswahl von normalen bis hochfesten Holzprodukten. Es wurden verschiedene Materialien wie Fichte, BauBuche und Buchen-Stabschichtholz gegenübergestellt, auch Materialkombinationen innerhalb der Geschosse bzw. über die Gebäudehöhe. Infolge der unterschiedlichen Einwirkungen über die hohe Geschossanzahl besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Festigkeitsklassen einzusetzen, damit die Dimensionen über alle Geschosse ähnliche Abmessungen aufweisen.

Bei der definitiven Materialwahl waren insbesondere die optische Erscheinung sowie nutzungsbedingte Vorteile wie Oberflächenhaptik und vermietbare Wohnfläche die massgebenden Kriterien. Auf Grund dessen hat sich die Bauherrschaft erfreulicherweise für eine Ausführung mit einheimischem Buchen-Stabschichtholz entschieden. Dieser Entscheid für die Verwendung von Laubholz wurde aus klimapolitischen, ingenieurtechnischen und gestalterischen Gründen sehr begrüsst. Infolge weniger Anbieter dieses Produktes erfolgten in früher Phase Vorverhandlungen für den Materialeinkauf, was in einer Absichtserklärung festgehalten wurde.

4. Robustheit

4.1. Grundlagen

Robustheit wird gemäss den Schweizerischen Tragwerksnormen des SIA definiert als «Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, Schädigungen oder ein Versagen auf Ausmasse zu begrenzen, die in einem vertretbaren Verhältnis zur Ursache stehen»¹. Ergänzend ist in der Holzbaunorm verankert, dass «konzeptionelle Massnahmen zur Sicherstellung einer angemessenen Robustheit» erforderlich sind wie z.B. «die Wahl von auf Teilausfall unempfindlichen Tragsystemen und Bauteilen».²

Detailliertere Anforderungen sowie eine Objekteinstufung sind in den europäischen Normen enthalten.³ Das vorliegende Objekt wird aufgrund der Geschossigkeit in die Versagensklasse 3, also die höchste Klasse eingestuft. Zur Begrenzung von Schadensfolgen lokalen Versagens aus unspezifizierter Ursache werden zur Steigerung der Robustheit gegen progressiven Kollaps folgende statischen Massnahmen vorgeschlagen:

¹ SIA 260 (2013): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken

² SIA 265 (2021): Holzbau

³ SN EN 1991-1-7 (2006): Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Aussergewöhnliche Einwirkungen

- Wirksame horizontale Zugverankerungen
- Wirksame vertikale Zugverankerungen
- Kompensation bei Stützensausfall

Die obigen Definitionen sind für Hochhäuser in Stahl- und Stahlbetonbauweise definiert und sollen bei einem lokalen Versagen eine Umlagerung von Kräften ermöglichen und einen globalen Versagensmechanismus verhindern. Es gilt diese sinngemäss auch auf Holz- oder Holzhybrid-Bauten zu adaptieren, damit bei Ausfall eines Tragelements, etwa infolge einer Explosion, nicht das ganze Tragsystem versagt. Aufgrund der vorgefertigten, gelenkigen Bauweise sind weiterführende Überlegungen bezüglich der Anschlussausbildung und Toleranzen erforderlich.

4.2. Ansätze für den Holzbau

Die im vorhergehenden Kapitel beschriebene Ausbildung von horizontalen Zugankern wird innerhalb der Überbetonschicht über im Bereich der Stützen lokale Vergussbereiche mit Rückbiegebewehrung vorgesehen. Durch diese Massnahme werden sowohl die schubsteifen Deckenscheiben als auch die geforderte Robustheit sichergestellt (siehe Abbildung 11).

Die vertikale Zugverankerung der Holzstützen erfolgt über im Werk eingeklebten Gewindestangen im Stützenkopf in Kombination mit einer Stabdübelverbindung im Stützenfuss (siehe Abbildung 11). Die Gewindestangen werden gleichzeitig zur genauen Höhenjustierung der oberen Stütze genutzt.

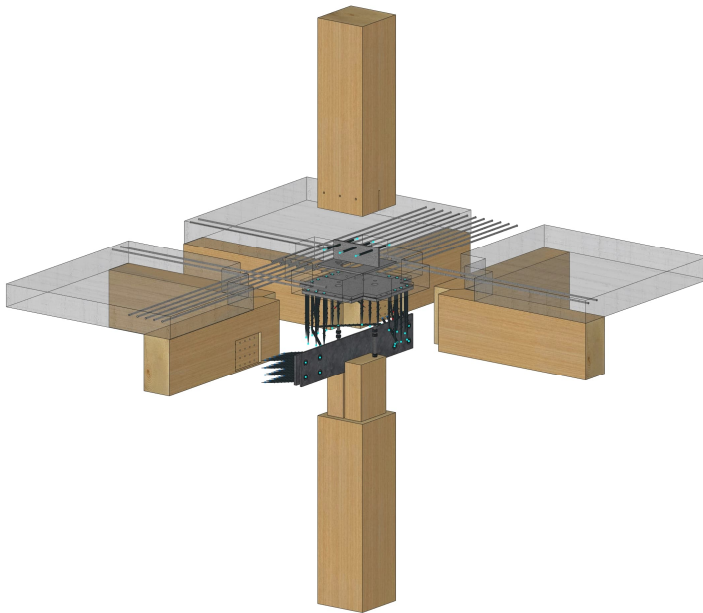


Abbildung 11: Stützen-Deckenknoten (Explosionszeichnung) mit Massnahmen zur Erhöhung der Robustheit

Für die Kompensation eines Stützensausfalls wurden zwei Massnahmen geprüft. Einerseits durch Vorsehen einer zusätzlichen Stützenreihe im Bereich ohne Kern als Kompensation eines inneren Stützensausfalls. Andererseits durch eine Vorspannung/Kurzschliessen der Fensterstürze (Achsen A und G) zur Kompensation eines Ausfalls einer Fassadenstütze (siehe Abbildung 12). Mit der aufgezeigten Massnahme der zusätzlichen Stützen wird eine statisch unbestimmte Lagerung und damit eine erhöhte Redundanz erreicht. Aufgrund der Lastumkehrung im Holz-Beton-Verbundelement, der hohen Beanspruchung der Mittelstützen (Achse D) im aussergewöhnlichen Lastfall, Platzproblemen im Grundriss sowie ökonomischen Gründen wurde dieser Ansatz verworfen. Als weiterentwickelte Lösung werden

die Deckenelemente bei Innen- und Fassadenstützen in eine Richtung biegesteif verbunden. Die Verbindung erfolgt mit dem Verguss im Überbeton und eine zusätzliche Zugverbindung der Rippen, bestehend aus geschraubten Stahlteilen (siehe Abbildung 11). Über den Hebelarm zwischen Überbeton und den Stahlteilen entsteht bei Stützensausfall eine Durchlaufwirkung, welche die Feld- und Stützmomente im Bereich der Stützenköpfe übertragen.

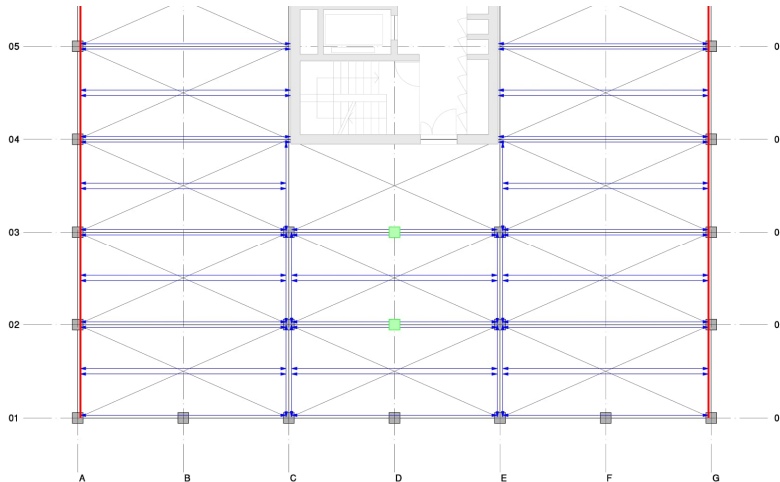


Abbildung 12: Grundriss mit zusätzlichen Stützen (Achse D, grüne Rechtecke) und Vorspannung/Kurzschluss der Fensterstürze (Achsen A und G, rote Linien)

5. Fazit

Forschungsarbeiten und Erfahrungen beim normalen Holz-Geschossbau mit seinen erprobten und robusten Holzbausystemen bilden eine gute Basis auch für den Hochhausbau in Holz- oder Holzhybridbauweise. Für erfolgreiche Hochhausprojekte gilt es bei der Tragwerkskonzeption jedoch einige Themenfelder zu beachten, die gegenüber den bisherigen Gebäudetypologien im Holzbau an Bedeutung gewinnen (z.B. Robustheit, differentielles Setzungsverhalten zwischen unterschiedlichen Baustoffen usw.). Weitere Erfahrungen in der Holzbranche und die Integration von Spezialisten mit Erfahrung im Hochhausbau sind wünschenswert. Diese Kombination wird es ermöglichen, erfolgreich Hochhäuser in Holz- oder Holzhybridbauweise zu erstellen. Die bei vielen Bauprojekten übliche Trennung zwischen Architektur und Entwurf und der späte Einbezug von Ingenieur- und Herstellerwissen ist beim Hochhausbau mit Holz Vergangenheit. Die frühe Zusammenarbeit von Architekten und Ingenieuren ist unabdingbar.

Erfreulich ist die Bereitschaft von innovativen Bauherrschaften und Architekten, mit dem Werkstoff Holz bis in den Hochhausbereich vorzudringen. Und dazu, wie im vorliegenden Projekt «Zwhatt» der Fall, bereit sind Mehraufwände für Untersuchungen und Versuche von neuen Materialien und Systemen zur Weiterentwicklung des Holzbaus zu tragen.