

**Konzeption eines innovativen Holzbauquartiers in der
Hamburger HafenCity / Baufeld 102**

Abschlussbericht über ein Förderprojekt, gefördert
unter dem Aktenzeichen: 34585/01-25 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Benedict Pielmeier – Garbe Immobilien-Projekte GmbH

unter Mitwirkung von

Uta Meins - Störmer Murphy and Partners GbR (Kap. 3.1 & 4.1)

Henning Klattenhoff - ASSMANN Beraten + Planen GmbH (Kap. 3.3 & 4.3)

Lisa Ansel - HAHN Consult Ingenieurgesellschaft für
Tragwerksplanung und Baulichen Brandschutz mbH (Kap. 3.4 & 4.4)

Prof. Rainer Pohlenz - IFAS Ingenieurbüro für akustische
Signalanalyse - PartGes Prof. Pohlenz + Partner Ingenieure und
Bauphysiker - Beratende Ingenieure für Bauphysik (Kap. 3.5 & 4.5)

Kolja Schöne - KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH (Kap. 3.6 & 4.6)

Februar 2025

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern und Tabellen	1
Abbildungen	1
Tabellen	2
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	3
1. Zusammenfassung	5
2. Einleitung	6
3. Hauptteil	11
3.1 Architektur - Störmer Murphy and Partners GbR	11
3.1.1 Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise	11
3.1.2 Bauvoranfrage zu Grundsatzfragen beim Brandschutz	15
3.1.3 Detailentwicklung im Holzbau	17
3.2 TGA-Planung	23
3.2.1 Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise & Detailentwicklung im Holzbau	23
3.3 Tragwerksplanung - ASSMANN Beraten + Planen GmbH	24
3.3.1 Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise	24
3.3.2 Detailentwicklung im Holzbau	27
3.3.3 Konstruktiver Brandschutz	31
3.3.4 Nachweis der zulässigen Eigenfrequenz	32
3.3.5 Robustheit	33
3.3.6 Elastomerauflager	36
3.3.7 Mock-Up	37
3.3.8 Qualitätsüberwachung im Holzbau	37
3.4 Brandschutz - HAHN Consult Ingenieurgesellschaft für Tragwerksplanung und Baulichen Brandschutz mbH	38
3.4.1 Entwicklung von Kompensationslösungen für Risikoszenarien bei Hochhäusern in Holz	38
3.4.2 Detailentwicklung im Holzbau	41
3.5 Schallschutz - IFAS Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse PartGes Prof. Pohlenz + Partner Ingenieure und Bauphysiker Beratende Ingenieure für Bauphysik	43
3.5.1 Entwicklung von Detaillösungen im Holzbau	43
3.6 Bauphysik - KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH	52

3.6.1 Detaillierter Wärmebrückennachweis für Holzknotenpunkte / Hygrothermische Bauteilsimulation	52
3.7 Beratung Umwelt- u. Nachhaltigkeitsaspekte	60
3.7.1 Erstellen einer Ökobilanz	60
3.8 Beratendes / ausführendes Unternehmen	63
3.8.1 Prozessuale u. holzbau-technische Beratung	63
3.8.2 BIM-Koordination für 5-D Planung	64
3.9 BauherrIn	65
3.9.1 Erhöhter Aufwand / Präsenz Bauleitung u. Qualitätsüberwachung Holzbau	65
3.9.2 Besondere Aufwendungen zur Findung eines Vergabemodells	66
3.9.3 Komplexität Prüfstatik / Mehrkosten Tandemlösung (zwei Prüfer) ...	67
4. Fazit	69
4.1 Architektur - Störmer Murphy and Partners GbR	69
4.2 TGA-Planung	69
4.3 Tragwerksplanung - Assmann Beraten + Planen GmbH.....	70
4.4 Brandschutz - HAHN Consult Ingenieurgesellschaft für Tragwerksplanung und Baulichen Brandschutz mbH.....	70
4.5 Schallschutz - IFAS Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse PartGes Prof. Pohlenz + Partner Ingenieure und Bauphysiker Beratende Ingenieure für Bauphysik	71
4.6 Bauphysik - KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH.....	72
4.7 Beratung Umwelt- u. Nachhaltigkeitsaspekte	72
4.8 Beratendes / ausführendes Unternehmen	73
4.9 BauherrIn	73
5. Literaturverzeichnis	75

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildungen

Abb. 1: Baufeldübersicht der HafenCity Hamburg (HCH, 2021).....	6
Abb. 2: Blick vom Baakenhafen nach Osten auf das roots (© Copyright – Daniel Sumesgutner / Garbe Immobilien-Projekte GmbH, 2024)	7
Abb. 3: Projektverlauf mit Holzbaukompetenz im Planungsteam (leanWOOD, 2017, Seite 6)	12
Abb. 4: Projektverlauf roots mit Holzbaukompetenz durch Holzbaufirmen (leanWOOD, 2017, Seite 6, modifiziert durch SMP).....	15
Abb. 5: Zeitschiene roots (SMP).....	15
Abb. 6: Auszug aus Bauteilmatrix (SMP, 2019, Seite 1)	17
Abb. 7: Auszug aus Bauteilmatrix (SMP, 2019, Seite 2)	18
Abb. 8: vorgezogene Leitdetailplanung Holzbau Außenwand ETW (SMP, 2018)	19
Abb. 9: Raumstudien Holzichtigkeit (© Copyright dreidesign Hamburg, 2018)20	
Abb. 10:Raumstudien holzsichtige Decke (© Copyright dreidesign Hamburg, SMP, 2019).....	21
Abb. 11: Variantenvergleich Außenwände Brandschutz (SMP)	21
Abb. 12: Finales Detail Holzbau Außenwand ETW (SMP, 2020).....	22
Abb. 13: Schaubild einer Planungsstrategie bei vorgefertigten Holzbauelementen (© Copyright Henning Klattenhoff, ABP).....	25
Abb. 14: zu Planungsbeginn formulieren alle Planungsbeteiligte die Anforderungen ihrer Planungsdisziplinen (ABP)	26
Abb. 15: Darstellung der radialen Deckenauslegung im Turm (ABP)	28
Abb. 16: typisches Knotendetail mit direktem Lastabtrag (ABP)	29
Abb. 17: Geprüfte Deckenvarianten (BRÜNINGHOFF-HOLZ GmbH, <i>Heiden: Mock-Up roots Hamburg, 2019-01-22</i>).....	45
Abb. 18: Elastisch entkoppelter Deckenverbinder (Foto: ABP).....	47
Abb. 19: Hartholz-Deckenverbinder (IFAS)	47
Abb. 20: Entkoppeltes Stützauflager (IFAS)	48
Abb. 21: Außenwandaufbau (SMP)	48
Abb. 22: Realisierter Deckenaufbau (SMP).....	49
Abb. 23: Sprinklerdurchführung (IFAS).....	50
Abb. 24: Übersicht horizontaler Wärmebrücken im Gebäudeteil Turm (KuK)...	54

Abb. 25: Ergebnisübersicht Wärmebrücke Anschluss Wand/Geschossdecke Turm (KuK).....	55
Abb. 26: Skizze Detailschnitt Außenwandaufbau (SMP, 2018).....	57
Abb. 27: Simulationsmodell für den Regelquerschnitt des Gefachquerschnitts (KuK).....	58
Abb. 28: Simulationsergebnisse Gefachquerschnitt (KuK).....	58
Abb. 29: Tragwerksmodell (ABP)	60
Abb. 30: Ergebnisse der Lebenszyklusmodelle (GIP)	61
Abb. 31: Ergebnisse der Lebenszyklusmodelle 2 (GIP)	61
Abb. 32: 5-D-Planung (McKinsey & Company: https://www.letsbuild.com/blog/5d-bim-in-construction).....	64
Abb. 33: Diagramm zum Ablauf des Nachweises der Robustheit und des Feuerwiderstandes (HAC: Überwachungskonzept, 2020).....	67
Abb. 34: Diagramm zur Überwachung der Herstellung und Bauausführung (HAC: Überwachungskonzept, 2020).....	68

Tabellen

Tab. 1: Gegenüberstellung der Anforderungen (DIN 4109-1 und DEGA 103 SSK C, IFAS).....	43
Tab. 2: Kenngrößen zur Beurteilung von tieffrequentem Gehschall (Kühn, B., Blickle R.)	43
Tab. 3: Luft- und Trittschalldämmung der Decken im Mock-Up (IFAS)	46
Tab. 4: Flankenschalldämmung von Deckenverbindungen (IFAS)	47
Tab. 5: durch die geöffnete Glashaut bewirkte Pegelminderung (IFAS)	49
Tab. 6: Messergebnisse des Schallschutzes in drei Wohnungen (IFAS).....	50

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Kapitel 2 - Einleitung:

Mock-Up	Demonstrationsmodell
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
Leed	Leadership in Energy and Environmental Design (international anerkanntes Zertifizierungssystem für ökologisches Bauen)

Kapitel 3.1 - Architektur:

SMP	Störmer Murphy and Partners GbR (Architekten)
HOAI	Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen
LP u.a.	Leistungsphase unter anderem
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
Jour Fixe	regelmäßig (an einem bestimmten Wochentag) stattfindendes Treffen eines bestimmten Personenkreises
HBauO	Hamburgische Bauordnung
BPD	Bauprüfdienst
Z.i.E.	Zustimmung im Einzelfall
BSH	Brettschichtholz
BSPH	Brettsperrholz
UK	Unterkante
e.t.c	et cetera

Kapitel 3.3 – Tragwerksplanung:

ABP	Assmann Beraten + Planen GmbH (Tragwerksplaner)
o.g.	oben genannt

Kapitel 3.4 – Brandschutz:

Bspw.	Beispielsweise
-------	----------------

Kapitel 3.5 - Schallschutz:

IFAS	Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse (Schallschutzplaner)
------	---

SMP	Störmer Murphy and Partners GbR (Architekten)
ABP	Assmann Beraten + Planen GmbH (Tragwerksplaner)
HCH	HafenCity Hamburg
DEGA	Deutsche Gesellschaft für Akustik
dB	Dezibel (Einheit zur Angabe des Schalldruckpegels)
$L_{AF,max,n}$ [dB]	Maximaler Norm-Schalldruckpegel (Kennwert für den durch Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung verursachten Schallpegel)
$L'_{n,w}$ [dB]	Bewerteter Norm-Trittschallpegel (Kennwert für die Luftschalldämmung von Bauteilen unter Einbeziehung der Schallübertragung über flankierende Bauteile)
R'_{w} [dB]	Bewertetes Schalldämm-Maß (Kennwert für die Luftschalldämmung von Bauteilen unter Einbeziehung der Schallübertragung über flankierende Bauteile)
C/ Ctr / zurCI [dB]	Spektrum-Anpassungswerte (Korrekturwerte zum R'_{w} bzw. $L'_{n,w}$ zur besseren Beschreibung der Luft- und Trittschalldämmfähigkeit)

Kapitel 3.5 – Bauphysik:

KuK	KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH (Bauphysiker)
ΔU_{WB}	Wärmebrückenzuschlag
$W/(m^2K)$	Wärmedurchgangskoeffizient
z.B.	zum Beispiel
kg/m^3	Kilogramm pro Kubikmeter

Kapitel 3.7 – Beratung Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte

ABP	Assmann Beraten + Planen GmbH (Tragwerksplaner)
GIP	Garbe Immobilien-Projekte GmbH

Kapitel 3.8 – Beratendes / ausführendes Unternehmen

s.o. siehe oben

Kapitel 3.9 – BauherrIn

HAC	HAHN Consult Ingenieurgesellschaft für Tragwerksplanung und Baulichen Brandschutz mbH
-----	---

1. Zusammenfassung

Mit dem Projekt roots (ehemals Wildspitze) wurde in der Hamburger HafenCity im Jahr 2024 das größte Holzhochhaus-Projekt Deutschlands und eines der größten weltweit, fertiggestellt. Bei einer Höhe von ca. 64 m und einer Bruttogeschossfläche von ca. 31.000 m² beherbergt es neben 128 Eigentums- und 53 geförderten Wohnungen auch den Stiftungssitz und eine multimediale Ausstellung nebst Gastronomie der Deutschen Wildtier Stiftung.

Das Gebäude besteht aus einem dreigeschossigen Sockel (Erdgeschoss, Warftgeschoss und Untergeschoss) und zwei aufgehenden Baukörpern: einem 19-geschossigen „Turm“ im Westen und einem sieben-geschossigen „Riegel“ im Osten des Grundstücks.

Mit der Wahl von Holz als Hauptbaumaterial stellt der Projektentwickler **Garbe Immobilien-Projekte** das Projekt in den Kontext der jüngsten Entwicklungen im Holzbau. Neben ökologischen Vorteilen des nachwachsenden Baumaterials Holz wie einer verbesserten CO₂-Bilanz und einer gesteigerten Energieeffizienz, ist auch eine Verkürzung der Bauzeit durch einen hohen Vorfertigungsgrad und modulare Bauweise, gegenüber dem konventionellen Bauen mit Beton oder Stahl, anzuführen. Die Planung des Projekts erforderte eine detaillierte und strukturierte Vorgehensweise, um die spezifischen Anforderungen des Holzbaus zu erfüllen. Dazu gehörte neben der Einbindung von Holzbau- und Planungskompetenz zu einem frühen Projektstadium auch die Entwicklung von Bauteiloptionen samt Erstellung eines umfassenden Bauteilkatalogs und dem Einsatz von Building Information Modeling (BIM), um die interdisziplinäre Koordination und Planung zu unterstützen. Die Sicherstellung des Brandschutzes in Bau und Betrieb des Gebäudes, für die spezielle Konzepte entwickelt wurden, und die frühzeitige Erörterung des Einflusses von Wärmebrücken, samt hygrothermischer Untersuchung von Bauteilen zur Sicherstellung der Anforderungen aus der thermischen Bauphysik, stellte weitere wesentliche Planungsinhalte dar. Zudem wurden hohe Anforderungen an das Tragwerk und die Bauakustik gestellt, um den Lärmschutz für die Wohnnutzung zu gewährleisten, wofür ein großdimensionales Mock-Up zur Testung der Wand- und Deckenaufbauten gebaut wurde.

Das Projekt roots verdeutlicht, wie Holz als Baumaterial auch in Hochhäusern erfolgreich eingesetzt werden kann. Die Kombination von Nachhaltigkeit, innovativer Planung und technischer Präzision macht das Gebäude zu einem Modell für zukünftige Holzbauprojekte, insbesondere im urbanen Raum. Es zeigt, wie Holzbau in der Großstadt nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern auch wirtschaftlich konkurrenzfähig und technisch umsetzbar ist.

Das Projekt wurde unter dem Titel **„Konzeption eines innovativen Holzbauquartiers in der Hamburger HafenCity / Baufeld 102“** (Aktenzeichen: 34585/01-25) von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Der vorliegende Abschlussbericht kann von der Garbe Immobilien-Projekte GmbH bezogen werden (info@garbe.de).

2. Einleitung

Mit einer Höhe von ca. 64 m und ca. 31.000 m² BGF (Bruttogeschosfläche) ist das Projekt roots (ehemals Wildspitze) nach momentanem Stand das höchste und auch eines der größten Holzgebäude Deutschlands.

Das Grundstück, auf dem das Projekt roots errichtet wurde, liegt im Bereich des sog. „Quartier Elbbrücken“, dem östlichsten und letzten Entwicklungsabschnittes der Hamburger HafenCity. Das Baufeld befindet sich an städtebaulich exponierter Stelle direkt an der nördlichen Kaianlage des Baakenhafens. Hier, vis-à-vis des jüngst fertig gestellten Baakenhafenparks, wurde durch Veränderung des Kaimauerverlaufs und Aufschüttungen die Wasserlinie so verändert, dass sich das Hafenbecken stufenweise nach Osten verjüngt und so immer wieder neue stadträumliche Orte schafft.



Abb. 1: Baufeldübersicht der HafenCity Hamburg (HCH, 2021)

Das roots ist dreiseitig von öffentlichen Räumen umschlossen: im Norden grenzt das Grundstück an den Liselotte-von Rantzau-Platz, den zukünftigen Stadtplatz des Quartiers, im Süden und Westen „umfließt“ die touristisch stark frequentierte Promenade und die höher gelegenen Warftflächen des Versmannkais das Gebäude. Ein hohes Maß an öffentlicher Wahrnehmung des Gebäudes in seiner Ganzheit ist bereits durch diese Lage und die damit verbundene Fernwirkung gewährleistet.

Die Gebäudemasse gliedert sich in einen dreigeschossigen Sockel (Erdgeschoss, sogenanntes Warftgeschoss (hochwassergefährdeter Bereich) und Untergeschoss) und zwei darauf aufgehenden Baukörpern, einem 19-geschossigen „Turm“ auf der westlichen und einem sieben-geschossigen „Riegel“ auf der östlichen Grundstücksseite.

Das roots ist vornehmlich ein Wohngebäude. Im Turm- und Riegelbaukörper sind 181 Wohnungen, davon flächenmäßig ca. 1/3 (53) als geförderte Mietwohnungen enthalten. In beiden Bereichen (frei finanzierte und geförderte Wohnungen) wurde ein Wohnungs-Mix aus 2- bis 4,5-Zimmer-Wohnungen mit Größen

zwischen 45 und 125m² umgesetzt, der eine hohe soziale Durchmischung ermöglicht.



Abb. 2: Blick vom Baakenhafen nach Osten auf das roots (© Copyright – Daniel Sumesgutner / Garbe Immobilien-Projekte GmbH, 2024)

Im Erd- und Warftgeschoss, sowie im ersten und zweiten Geschoss des Turms hat die Deutsche Wildtier Stiftung die Räumlichkeiten ihres Stiftungssitzes bezogen. Den Hauptteil der Fläche macht dabei eine großflächige, sich über zwei Etagen erstreckende, multimedialen Ausstellung aus, in der sich die Deutsche Wildtier Stiftung präsentiert und sich mit verschiedenen Nachhaltigkeitsfragen im Umweltschutz und der Landwirtschaft auseinandersetzt. Die Ausstellung wird ergänzt mit Lehr- u. Schulungsräumen für Kinder und Jugendliche, einem Kinosaal und thematischen Gastronomieflächen. Für die allgemeine Stiftungsarbeit stehen ca. 1.500 m² Büroflächen im 1. und 2. Obergeschoss zur Verfügung.

In einem zusätzlichen Untergeschoss sind eine Tiefgarage mit 97 Stellplätzen sowie, neben dem Staffgeschoss im 19. Obergeschoss, die Kellerräume der Wohnungen verortet. Die Erschließung der Tiefgarage erfolgt über PKW-Aufzüge.

Die PKW-Stellplätze sind nicht ausschließlich den Wohnungen zugeordnet, sondern zu einem Viertel, im Rahmen eines stationären Car-Sharing Konzeptes, einem breiten Nutzerkreis zu Verfügung gestellt. Sämtliche Car-Sharing Stellplätze enthalten Ladestationen für E-Mobilität und sind dahingehend vorgerüstet.

Noch wenige Jahre vor Projektstart im Jahr 2017 gab es kein Hochhaus in Holzbauweise in Europa und vermutlich auch weltweit. Dies änderte sich über den Projektzeitraum grundlegend: In Kanada, Australien, Japan, Südafrika, Großbritannien, Norwegen, Schweden, Frankreich, Belgien, Niederlande, Österreich, Schweiz und nicht zuletzt in Deutschland entstehen nun solche Projekte oder wurden bereits fertiggestellt.

Das Bauen in Holz erfährt in diesem Sinne seit einigen Jahren eine Renaissance und diese Tendenz wird durch politische Entscheidungen dem Grunde nach oftmals unterstützt: Durch Bekanntmachung am 06.02.2018 im Hamburgischen Gesetz- und Verordnungsblatt trat kurze Zeit später eine neue, novellierte Hamburgische Bauordnung (HBauO) in Kraft. Diese erlaubt die Errichtung von Gebäuden bis 22m (Gebäudeklasse 5) in Massivholzbauweise, unter Einhaltung definierter Rahmenbedingungen.

Die Absichtsbekundung, dem Baustoff Holz im Bauen eine größeres Einsatzspektrum zukommen lassen zu wollen heißt jedoch nicht, dass den Holzkonstruktionen in den einschlägigen Regelwerken heute oder gar zu Projektstart bereits vollumfänglich Rechnung getragen wird und wurde, bzw. das Bauen mit Holz durch Berücksichtigung in den beschriebenen Nachweisverfahren normiert wäre.

Beispiele hierfür sind die erst im Jahr 2018 novellierte Schallschutznorm DIN 4109-1: 2018-01, die ebenfalls relativ neue DIN 18534 „Abdichtung von Innenräumen“ oder die DIN 1991-1-7 „Außergewöhnliche Einwirkungen auf das Tragwerk“, denen gemein ist, dass den dort beschriebenen Anwendungsfällen grundsätzlich eine gedachte, monolithische Konstruktion in Beton / Mauerwerk zu Grunde gelegt ist. Besonderheiten im Holzbau sind daher regelmäßig nicht mit den in den Normen beschriebenen Verfahren harmonisierbar.

Die Definition des „Üblichen“ als ein Gebäude mit einer massiven, mineralischen Grundkonstruktion beschränkt sich aber nicht allein auf technische Normen und Richtlinien, sondern findet sich in allen prozess- oder konstruktionsbeschreibenden Regelwerken wieder. Beispiele hierfür sind die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), deren Leistungsphasenabfolge, die das komplexe und verflochtene Abstimmungsverfahren im Holzbau nicht vorsieht, die Kataloge zu den einschlägigen Zertifizierungsmethoden (Umweltzeichen HafenCity, DGNB, Leed – zumindest zu Projektstart) und die meisten Bautechnischen Zulassungen und Prüfzeugnisse.

Das Bauen mit Holz ist per se aufgrund der Verwendung eines nachwachsenden Rohstoffes grundsätzlich nachhaltiger als das sogenannte „konventionelle“ Bauen mit Stahlbeton / Stahl. Eine Prognose zum Grau-Energiebedarf im Rahmen der Konzeptbewerbung auf das Grundstück bei der Stadt Hamburg ergab, dass die Einsparung bei 26.000 t CO₂ liegen könnte. Die Verwendung von Holz legitimiert sich jedoch auch nicht alleinig durch das Prädikat „nachwachsend“, vielmehr ist ein Gebäude dann am umweltfreundlichsten, wenn

Holz effizient und somit ressourcenschonend eingebaut wird. Dies gewährleistet eine sorgfältige und vor allem präzise Planung.

Die im Folgenden formulierten zusätzlichen Planungsaufgaben stellten also in jedem Fall einen bedeutenden Beitrag zur Nachhaltigkeit des Gebäudes aber auch späteren Projekten dar, in denen die hier gewonnen Erkenntnisse angewendet werden können.

Anders als bei anderen Holzhochhausprojekten wurden die Deckenplatten der Geschosse in massiver Holzbauweise hergestellt. Die erhöhte Nachhaltigkeit einer Konstruktion in Massivholz durch ihre vorteilhafte CO₂-Bilanz, gute Wärmespeicherefähigkeit und monolithischen, schichtenarmen Aufbauten bietet ein optimales Verhältnis von Wärmeschutz und thermischer Speichermasse. Dies führt im Optimalfall zu ganzjährig verbesserter Behaglichkeit bei geringer Energieaufwendung. Gleichwohl gilt das Projekt aber auch als Indikator dafür, ob ein Bauen mit elementierten und teil-vorgefertigten Holzelementen im Rahmen der erforderlichen Nachverdichtung unserer Großstädte vermehrt zum Einsatz kommen kann. Eine Verkürzung der Bauzeit durch Elementierung kann die negativen Einflüsse innerstädtischer Baustellen auf ihre Umwelt signifikant vermindern. Das Konstruktionsmaterial Holz sollte sich, trotz Hochhaus, auch in der Fassade materialisieren. Hierfür wurde ein belastbares sicherheitstechnisches Konzept zur Verhinderung eines Brandereignisses an der Fassade entwickelt. Für die Planung eines vorelementierten Holzhochhauses waren Planungs- und Entscheidungsprozesse gegenüber einer „klassischen“ Planung maßgeblich zu verändern, da eine Vielzahl von Sonderthemen im Holzbau frühzeitig in hoher Detailtiefe ausgearbeitet und zu Entscheidungsvorlagen aufbereitet werden mussten.

Für das Projekt roots war eine bis ins Detail strukturierte Vorgehensweise erforderlich, um ein optimales technisches und wirtschaftliches Ergebnis zu erhalten. Während im ersten Schritt die bauteilbezogenen Anforderungen formuliert wurden, erforderte der zweite Schritt eine Methodik, um mit der Vielzahl der im Holzbau vorhandenen interdisziplinären Wirkungszwänge aber auch verfügbaren Optionen umzugehen. Schließlich war im dritten Schritt eine Struktur erforderlich, die es ermöglicht mit der Vielzahl der Parameter umzugehen, um zielsicher die Vorzugsvarianten der Bauteile und so des gesamten Bauwerkes bestimmen zu können. So wurde ein Bauteilkatalog mit Bauteiloptionen erforderlich, der sämtliche Anforderungen an die Bauteile enthält, sowie sich daraus ergebende Konsequenzen der Planungsgewerke. Dabei war ein 3-dimensionales Model zum frühestmöglichen Zeitpunkt herzustellen und zu pflegen. Dies erforderte entsprechende Leistungen innerhalb des Planungsteams sowie eines BIM-Koordinators.

Die branchenüblichen Prozesse und Verfahrensprinzipien sind und waren allesamt nicht auf den Holzbau zugeschnitten. Zur Herbeiführung einer bauordnungsrechtlich verbindlichen Planungsgrundlage ab der Entwurfsplanung war es daher erforderlich, bei der Stadt Hamburg, einen Antrag auf Erteilung

eines Vorbescheides zu einer Vielzahl grundsätzlicher Abweichungstatbestände beim Bauen mit Holz im Hochhausbereich zu stellen.

An die Wohnnutzung des Projektes wurden außerdem sehr hohe Anforderungen hinsichtlich der Bauakustik gestellt. Aus diesem Grunde wurden die ermittelten Wand- und Deckenaufbauten im Rahmen eines großdimensionalen Mock-Ups mit Hilfe von geeigneten messtechnischen Anordnungen, auf die selbst gesetzten Mindestanforderungen überprüft. Als zusätzliche Maßnahme der erforderlichen Qualitätssicherung ist außerdem eine erhöhte Präsenz des Aufstellers auf der Baustelle erforderlich gewesen.

Die zuvor und im Folgenden beschriebenen und beim, Projekt roots untersuchten, Methodiken und Zielsetzungen sind beispielhaft für die komplexen Fragestellungen, mit denen sich der Holzbau in den kommenden Jahren auseinandersetzen und an denen er sich messen muss, wenn er nicht nur ökologisch sondern auch ökonomisch konkurrenzfähig sein will.

- Entwicklung von Planungs-Routinen bei der interdisziplinären Entwicklung von Holzbaudetails
- Klärung der Fragestellung, welche bau- und anlagentechnischen Mehraufwendungen von Nöten sind, um die Genehmigungsfähigkeit eines Holzbaus im Bereich des Hochhauses herzustellen
- Bestimmung eines sinnvollen Elementierungs- und Standardisierungsgrads im Holzbau
- Entwicklung von Lösungen, die großvolumige, reine Holzgebäude robust gegen Leckage-Szenarien machen
- Entwicklung eines Tragwerkskonzeptes in Holz, das den Baustoff unter den Gesichtspunkten des Abbrandes und der Schwingungsanregung sinnvoll und effizient einsetzt

3. Hauptteil

3.1 Architektur - Störmer Murphy and Partners GbR

3.1.1 Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise

Ausgangssituation

Die Komplexität der Bauaufgabe, das Bauvolumen und die Planung eines, bislang in Deutschland in der Höhe noch nicht realisierten, Tragwerks in Holzbauweise im Bereich eines Hochhauses, stellten für alle Planungsbeteiligten eine große Herausforderung dar.

Für den Erfolg des Holzbauprojekts war entscheidend, bereits in der Vorplanungs- und Entwurfsphase spezifische Aspekte des Holzbaus zu berücksichtigen. In diesen frühen Planungsphasen mussten, über die grundlegenden Leistungen des Architekten hinaus, sehr konkrete Einflussfaktoren bedacht und frühzeitig in die Planung integriert werden. Neben der Vereinigung von raum- und holzbaugerechter Tragstruktur sowie den Anforderungen an Brandschutz, Energiekonzept und Bauphysik waren auch die Abhängigkeiten der Vorfertigung, Transportlogistik und Montage in die Planung einzubeziehen. Diese Faktoren waren nicht nur für die Konstruktion, sondern auch für den Entwurf selbst von entscheidender Bedeutung.

Der mehrschichtige Aufbau von Holzbauteilen erfordert, dass alle Anforderungen an die Bauteile stets integrativ über alle Schichten hinweg betrachtet werden müssen. Brandschutz, Schallschutz sowie Feuchte- und Wärmeschutz werden in der Regel gemeinsam von Rohbau- und Ausbauelementen erfüllt. Daher erfordert die Bauteilfügung im Holzbau besondere Aufmerksamkeit, da die Komplexität mit dem Vorfertigungsgrad steigt. Das konventionelle, schrittweise und baubegleitende Planen von Rohbau, Fassade und Ausbau ist im Holzbau nicht umsetzbar.

Daher wurde zu Planungsbeginn vereinbart, sich zur Optimierung des Planungsprozesses an dem Forschungsbericht 'leanWOOD' der TU München zu orientieren. In diesem Forschungsprojekt wurden die Komplexität und vielfältigen Anforderungen im vorgefertigten Holzbau untersucht. Ein holzbaugerechter Planungsprozess sieht hier die frühe Ergänzung der Holzbaukompetenz im Planungsteam vor, um den Planungsprozess zu optimieren.

Idealerweise sollte hier ein Holzbauingenieur als Bindeglied zwischen den verschiedenen Beteiligten fungieren und das gesamte Projekt, einschließlich der Massivbauteile, koordinieren. Diese bündelt die unterschiedlichen Fachplanungen und bringt sie zusammen, um eine integrierte Fertigungsplanung zu ermöglichen, die dem Holzbauunternehmer übergeben werden kann.¹

¹ Technische Universität München: leanWOOD – Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise, München: 2017, Seite 13

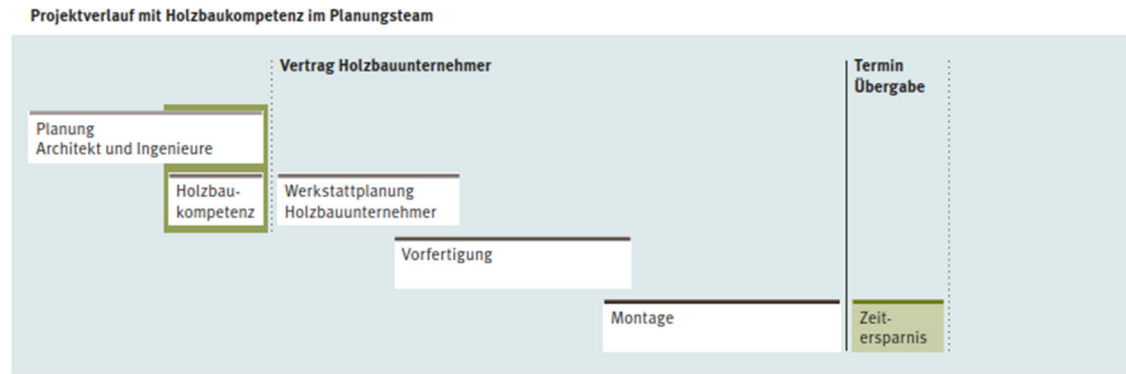


Abb. 3: Projektverlauf mit Holzbaukompetenz im Planungsteam (leanWOOD, 2017, Seite 6)

leanWOOD: frühe Einbindung der Holzbaukompetenz

Für dieses Projekt sollte somit frühzeitig im Planungsteam eine spezifische Holzbaukompetenz in den Planungsprozess einbezogen werden und die Planungsprozesse so optimiert werden.

Abweichend von dem theoretischen Modell, welches von der Integration eines unabhängigen Holzbauingenieurs ausgeht, wurde im vorliegenden Projekt der Weg über die frühe Beteiligung einer Holzbaufirma bereits in Leistungsphase 2 (HOAI) im Sinne eines Pré-Construction Modells gewählt. Dies geschah insbesondere vor dem Hintergrund, dass die bauphysikalischen Bedingungen, die als gesetzliche Vorgaben, projektspezifischen Anforderungen aus dem HafenCity Umweltzeichen sowie weitergehenden privatrechtlichen Vorgaben in der Planung zu berücksichtigen waren, nicht wie üblich durch Berechnungen festgelegt werden konnten und daher ein Mock-Up gebaut werden sollte. Dies unterstreicht den Aspekt, dass das vorliegende Projekt eher einer Forschungs- als an einer konventionellen Planungsaufgabe zuzuordnen ist.

Wesentlichstes Thema war hier der Schallschutz, da die in DIN 4109-2 enthaltene Nachweismethode ² und der dazu vorhandene Datensatz ³ den rechnerischen Nachweis der projektspezifisch hohen Anforderungen des Schallschutzes nicht mit ausreichender Sicherheit zuließen. (siehe hierzu auch Kapitel 3.5 Bauakustik).

Hieraus entstand die Notwendigkeit, über Messungen anhand eines real gebauten Mock-Ups die geplanten Bauteilaufbauten zu verifizieren. Anhand des gebauten Realmodells konnten wesentliche Bauteilvereinfachungen und Einsparmöglichkeiten identifiziert und gleichzeitig auch weitergehende Aspekte z. B. der Fassadenplanung überprüft und weiterentwickelt werden.

² DIN 4109-2: Schallschutz im Hochbau – Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen, 2018-01

³ DIN 4109-33: Schallschutz im Hochbau – Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Holz-, Leicht- und Trockenbau, 2016-07

Bauteilmatrix und vorgezogene Detailentwicklung in LP 2 und 3 (HOAI)

Aufgrund eingangs beschriebener Notwendigkeit, die Anforderungen an die Bauteile frühzeitig integrativ über alle Schichten hinweg zu betrachten, wurde vertraglich vereinbart, bereits in Leistungsphase 2 (HOAI) einen Detailkatalog der wesentlichen Bauteilaufbauten zu erstellen und diesen umfänglich im gesamten Planungsteam abzustimmen.

Zwecks Koordination der Bauteil- und Detailentwicklung wurde eine Bauteilmatrix entwickelt, in die jeder Fachplaner die fachspezifischen Belange an das entsprechende Bauteil einzutragen hatte und die als Grundlage für weitere gemeinsame Abstimmungen diente.

Nach leanWOOD sollte in der Vorentwurfsphase die Definition der wesentlichen Anforderungen aller Disziplinen (Brandschutz, Schallschutz, Energie, Tragwerk, Vorfertigung) erfolgen und diese in die Entwicklung des Raumkonzeptes integriert werden. In der Entwurfsphase sollten dann alle grundlegenden Konzepte entwickelt werden: Tragwerk, Holzbausystem, Schichtenaufbauten, Fügung, Oberflächen, Schnittstellen-Definition, Vorfertigungsgrad und Elementgrößen werden im Grundsatz geklärt.⁴

Aufgrund der zusätzlichen Anforderung des Baus eines Mock-Ups wurde die Detailtiefe der Bauteilentwicklung in vorliegender Planung noch weiter vorgezogen. Schichtenaufbauten, Fügung und Oberflächen mussten bereits in Leistungsphase 2 entwickelt werden, um diese dann anhand des Mock-Ups überprüfen zu können.

Gegenseitige Planfreigaben aller Fachplaner

Zwecks Sicherstellung der Wahrung der verschiedenen fachspezifischen Belange an das jeweilige Bauteil wurde vertraglich ein Planlaufschema für den Prüflauf in der jeweiligen Leistungsphase vereinbart. Festgelegt wurde, dass die jeweiligen Planer die Planung der anderen Fachplaner zu prüfen und gegenseitig freizugeben hatten, bevor diese dem Auftraggeber zur Freigabe vorgelegt wurden. Die Freigabe fand teilweise in protokollierten Freigabebesprechungen, teilweise in kommentierten Prüfläufen statt. Das Procedere war zeitaufwändig, stellte jedoch eine zusätzliche Planungssicherheit für alle Beteiligten dar.

Das Mock-Up parallel zur LP2 und LP3 (HOAI)

Die Planung des Mock-Ups begann im September 2018 gegen Ende der Leistungsphase 2 (Freigabe Vorentwurf August 2018). Grundlage bildete der bis dato erarbeitete, vorgenannte Bauteil- und Detailkatalog. Die Fertigstellung inklusive der ca. einen Monat andauernden Schallschutzmessungen erfolgte mit März 2019, zeitgleich mit der Abgabe der LP3 (HOAI).

⁴ Technische Universität München: leanWOOD – Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise, München: 2017, Seite 8

Komplexitätsreduktion – Überarbeitung der LP3 (HOAI)

Aufgrund von massiven Kostensteigerungen im Bauwesen erfolgte im Anschluss an die Abgabe der LP3 eine Prüfphase der Vereinfachungs- und Einsparungsmöglichkeiten- genannt „Komplexitätsreduktion“. Ziel dieser Phase war es, zu überprüfen, inwieweit sich die mittlerweile recht komplex gewordenen Details vereinfachen ließen. Hier floss auch der Erkenntnisgewinn aus dem Mock-Up ein. Untersucht wurde u. a. auch der mögliche Entfall der Glashaut, der Sprinkleranlage innen wie außen sowie die mögliche Vereinfachung der auskragenden Deckenplatten. Auch wurde die Gesamtkonstruktion noch einmal auf den Prüfstand gestellt und eine Skelettkonstruktion erwogen. Weiterhin wurde eine Reduzierung der Anforderung im Schallschutz in Abhängigkeit zum Umweltzeichen der HafenCity Umweltzeichens diskutiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich insbesondere aus dem Erkenntnisgewinn des Mock-Ups erhebliche Vereinfachungsmöglichkeiten ergaben. Reduzierungen der Anforderungen sowie eine Umplanung auf eine Skelett Konstruktion wurden nicht beschlossen. Die Erweiterung der Grundfläche des Turms trug weiterhin zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei. Allerdings mussten weite Teile der LP3 noch einmal überarbeitet werden, was im September 2020 abgeschlossen wurde.

Holzbauworkshops mit der ausführenden Holzbaufirma LPH 3 - 5

Grundlage der Ausführungsplanung für den Holzbau waren die weiterentwickelten Leitdetails, welche im Rahmen diverser Holzbauworkshops zwischen Bauherrschaft, Planerteam und Holzbauunternehmen weiter abgestimmt wurden. Diese wurden nacheinander mit verschiedenen Holzbauunternehmen durchgeführt, da mit der ersten Firma kein Vertragsabschluss gefunden werden konnte (siehe auch Kapitel 3.9.2, Besondere Aufwendungen zur Findung eines Vergabemodells).

Holzbauübersichtspläne und frühzeitige Fixierung der S und D Planung

Wesentlich für den weiteren Planungsablauf war die rechtzeitige Integration der Holzbauübersichtspläne. Die Berechnung und Einreichung aller Holzbauteile (Decken, Stützen, Balken) zum Standsicherheitsnachweis in LPH 4 (HOAI) sowie die Einreichung der Detailnachweise und Holzbauübersichtspläne mit Entwicklung und Konstruktion der Knotenpunkte, Berechnung der Verbindungsmittel beim Prüfstatiker musste ausreichend früh erfolgen, da diese die Grundlage für den Holzbauers für die Erstellung der Werkstattplanung darstellten.

Weiterhin war eine frühzeitige, vollumfänglich abgeschlossene Schlitz- und Durchbruchsplanung des TGA- Planers unabdingbar.

Jour Fixe mit Holzbauer

Ab Ende 2020 fanden dann regelmäßig 14-tägige Abstimmungen als Jour Fixe mit der nunmehr vertraglich gebunden, ausführenden Holzbaufirma statt. Hier wurde der Abgleich der Ausführungsplanung mit den Belangen der Werk- und Montageplanung sowie der Fertigteileproduktion vorgenommen. Teilweise wurden die produktions- und ausführungstechnischen Belange in die Details der Architekten übernommen, teilweise wurden diese jedoch auch direkt und effizient in die Werk- und Montageplanung des Holzbauers eingearbeitet.

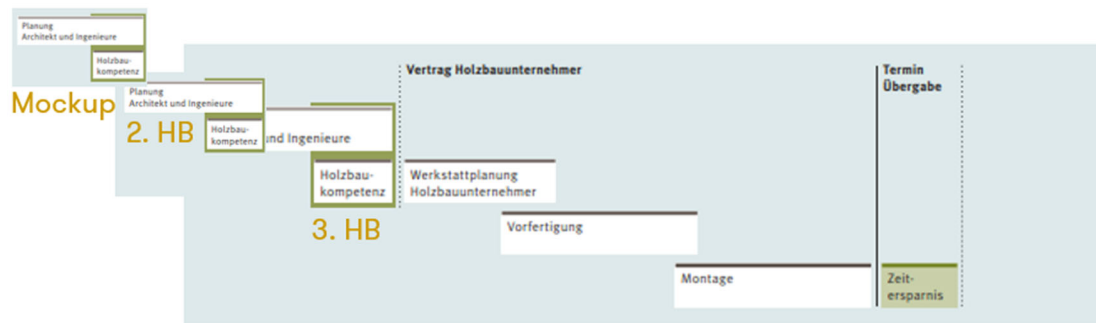


Abb. 4: Projektverlauf roots mit Holzbaukompetenz durch Holzbaufirmen (leanWOOD, 2017, Seite 6, modifiziert durch SMP)

Zeitschiene Gesamtplanung:

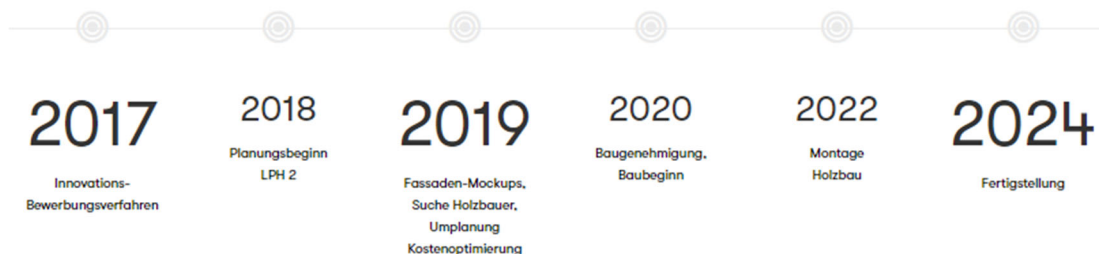


Abb. 5: Zeitschiene roots (SMP)

3.1.2 Bauvoranfrage zu Grundsatzfragen beim Brandschutz

Zwecks Herbeiführung einer bauordnungsrechtlich verbindlichen Planungsgrundlage wurde bereits 2018 parallel zur Leistungsphase 2 (HOAI) ein Vorbescheid gestellt. Hierzu wurde dem Bauordnungsamt sowie auch der Feuerwehr zunächst eine im Vorfeld durch die Fachplanung Brandschutz erstellte Machbarkeitsstudie sowie darauffolgend eine Risikoanalyse in Verbindung mit den konkreten bauordnungsrechtlichen Abweichungen zum Brandschutz vorgestellt. Vornehmlich ging es hierbei darum, die grundlegenden bauordnungsrechtlichen Abweichungen von der HBauO und dem BPD 1/2008 für Hochhäuser nachhaltig zu überprüfen und zu konkretisieren, um die Schutzziele hinsichtlich des Brandschutzes und das Anforderungsniveau Hochhäuser nachweislich zu erfüllen.

Die konkrete Umsetzung wesentlicher Parameter hinsichtlich des Tragwerkes aus Holz sollte mit der Bauvoranfrage gelöst werden, da nur so eine klare Zustimmung zu allen Abweichungen gegeben werden konnte.

Beispielhaft seien folgend einige Grundsatzfragen zu Abweichungen im Brandschutz bezüglich des Tragwerkes aufgeführt, die im Vorbescheid gestellt und abgeklärt wurden:

- Ist die Ausführung des Tragwerkes für das Hochhaus in Massivholzbauweise mit dem Nachweis feuerbeständig und brennbar zulässig?
- Ist die Massivholzbauweise als aufgelöstes Tragwerk mit Holzstützen und Holzbalken für die Wohnungstrennwände zulässig? Dabei werden die Holzstützen und -balken allseitig mit Gipsplatten oder gleichwertig bekleidet. Wandhohlräume werden mit Mineralwolle, Schmelzpunkt $\geq 1.000^{\circ}\text{C}$, ausgefüllt.
- Kann zum Nachweis des feuerbeständigen Tragwerks eine wirksame Bekleidung zur Reduzierung des Holzquerschnittes entsprechend DIN EN 1995-1-2 zum Ansatz gebracht werden?
- Kann der Nachweis der Verbindungsmittel abweichend nach DIN EN 1995-1-2 nach alternativen Lösungsvarianten aus Literaturangaben, der DIN 4102-4 bzw. mit ingenieurmäßigen Methoden erfolgen? Ist dafür eine Z.i.E. erforderlich?

Die Klärung der Abweichungstatbestände konnte im Rahmen des Vorbescheides herbeigeführt werden. Formal mussten diese Fragen jedoch im Bauantragsverfahren erneut gestellt werden, um eine Vollständigkeit und Rechtsverbindlichkeit der Baugenehmigung sicher zu stellen.

3.1.3 Detailentwicklung im Holzbau

Bauteilmatrix und Detailkatalog

In voran beschriebener Bauteilmatrix wurden Bauteile gemäß Abbildung 4 detailliert.

Inhalt

Bodenaufbau ETW – Wohnen (B.1-1-1-1).....	
Bodenaufbau ETW – Bäder (B.1-1-1-3).....	
Bodenaufbau ETW – Galeriegang / Loggia (B.1-1-1-X).....	
Dachaufbau ETW (D.1-1-0-X).....	
Außenwand ETW (W.1-1-1-X).....	
Außenwand Loggia ETW (W.1-1-1-X).....	
Außenwand Fenstersturz ETW (W.1-1-1-X).....	
TRH-Kernwand ETW (W.4-6-3-1).....	
Tragende Innenwand ETW (W.2-2-3-1).....	
Tragende Innenwand großer Sturz ETW (W.2-2-3-1).....	
Tragende Innenwand Türsturz ETW (W.2-2-3-1).....	
Wohnungstrennwand ETW (W.2-1-3-1).....	

Abb. 6: Auszug aus Bauteilmatrix (SMP, 2019, Seite 1)

Wesentliche zu integrierende Themen waren:

- Architekt: Koordination, Holzschutz, Abdichtung, Entwässerung, Materialität, Nachhaltigkeit
- Bauakustik: Einhaltung DIN 4109-1 sowie DEGA 103, SSK C, Schallakustische Trennung von Auflagern
- Bauphysik: Feuchteschutz (Hydrothermische Simulation), Luftdichtigkeit, Winddichtigkeit, Wärmeschutz
- Brandschutz: Ausbildung eines brennbaren Tragwerks, Rauchdichtigkeit der Anschlüsse, fehlende Verwendbarkeitsnachweise für die Bauteile
- Statik: Tragfähigkeit, Verformung, baulicher Brandschutz/ Abbrandbemessung, Fügung und Verbindungsmittel, Nachweis der zusätzlichen Robustheit, Toleranzkonzept, Aspekte der Vorfertigung
- TGA: Durchführungen durch brandschutzrelevante Bauteile
Schottungen, Führung der haustechnischen Installationen in Holzwänden, Integration Sprinklertechnik

Die Bauteilmatrix (siehe auch Auszug als Abbildung 7) und die vorgezogene Detailentwicklung stellte die Grundlage für die Ausführungsplanung dar und war entsprechend nach Leistungsphase 3 abgeschlossen. Sie stellte damit keinen Ersatz, sondern lediglich eine zusätzliche Vorleistung für die Ausführungsplanung dar.

18

1. Themen	2. Anforderungen	3. Konsequenzen	4. Besprechung/ Beschluss
1. Themen - Materialität - Decken/Boden - Oberfläche - Decken/Boden - Bauteile - Brandschutz - Schutz/Abdichtung - Nachhaltigkeit - Koordination	1.) Oberbelag Holz in Sichtqualität, Farbe 2.) Sichtqualität Deckenunterseite 3.) Abdichtung gefällender Bereiche 4.) Hinreichende Koordinierung	Aus 2.) Trockenbauwände für 2C mm Kofferformung auslegen Aus 4.) Anschlüsse Abdrandbauteil vs. gewässeltes Bauteil Aus 4.) Prüfung Anschlüsse abgedeckter Elemente Aus 1./2.) Abdichtung sicherstellen Aus 1.) Integrieren Leitungen in Deckenaufbau Aus 1.) R80 von oben gewährleisten Aus 2./3.) integrieren Sprinkler und nicht brennbare Dämmung Aus 1./2.) Verfüllung von Hohlräumen Versiegelung Fugen Durchdringungspunkte und Langsstöße BSPH Bodenplatten Aus 1.) Zweischichtigkeit des Aufbaus Aus 2.) Einbringen von Masse (Beschwerung)	- Holzbelag 20mm, Oberflächenqualität nach Angabe - Schwimmender Holzestrich 72mm - Treischicht PE-Folie - Trittschalldämmung 40mm, $s = 6 \text{ MN/m}^2$ - keilförmige Stiezelbetonstreifen ca. 100mm stark, mit einer Abtastung, im Abstand von 300mm, mit ca. 10mm dicken Stielen, die in den Untergrund und Zwischenräume unter Bereiche mit ungebundener Schüttung bzw. Sand eingelegt, Elektro- u. Spindelverteilung in Sand eingelegt verlegt - Korbdrückung, seitlich an aufliegenden, auf der Rückseite stehenden Elementen bzw. Kern- u. Randstreifen des Korbdrückungsvorgangs, verklebt, anschließend bis Korbdrückungsvorgang verklebt - BSPH-Deckenelemente (ESFH), Plattenstärke 220mm, Deckenunterseite in Sichtqualität nach Definition/Angabe mit Oberflächenbehandlung/Lasur etc. nach Vorgabe
1. Themen - Tragfähigkeit - Verformung - Schwingung - Bauteile - Brandschutz (Abbrand)	1.) Tragfähigkeit gewährleisten 2.) Durchbiegungsbegrenzung L300 (Erdb.) L350 (aust-Erdb.) L400 (Anfang), total 20 mm 3.) Schwingung: 8 Hertz oder besondere Untersuchung 4.) Abbrand mit doppelter Rate 5.) Anforderungen aus der Robustheit	Aus 2.) Elementierung vornehmen Aus 4.) Anschlüsse Abdrandbauteil vs. gewässeltes Bauteil Aus 3.) ggf. Fugen in der Deckerschleife Aus 3.) weitestgehend entkoppelte Wand-Decken- Verbindungen Aus 2.) und 1.) Abdrandbemessung	
1. Themen - Leitungsführung - Sprinkler - Fußbodenheizung	1.) Bodenaufbau liegt mit Durchdringung durch BSPH Decke zu darunterliegender WE 2.) ggf. flexible Ver- bindungsstücke zw. Elementen	Aus 2.) Verzug der Leitungen oberhalb der Decke Aus 1./2.) SuD abstimmen Aus 1.) ES-Schottung für REI90 Aus 2.) Planung Sprinklerung	

Veränderung der Details im Planungsverlauf- am Beispiel der Außenwand

Am Beispiel der Außenwand soll im Folgenden exemplarisch die Entwicklung und Veränderung des Aufbaus eines Regelbauteils in Abhängigkeit der verschiedenen fachspezifischen Belange dargelegt werden. Ausgangspunkt der Planung war ein möglichst monolithischer, einfacher Schichtaufbau mit holzsichtiger Oberfläche innen.

Zu Beginn der vorgezogenen Leitdetailplanung Holzbau mit Aufstellung der Bauteilmatrix startete die Planung mit folgendem Aufbau:

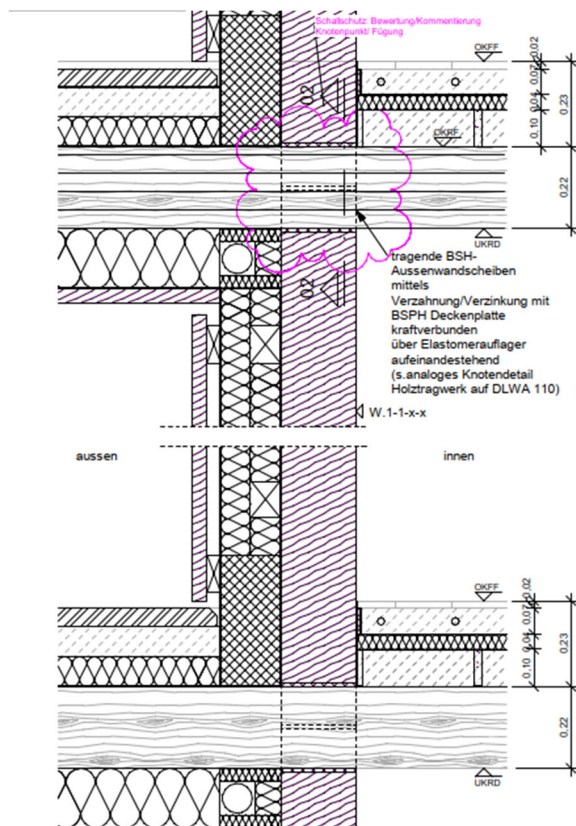


Abb. 8: vorgezogene Leitdetailplanung Holzbau Außenwand ETW (SMP, 2018)

Regelwandaufbau von innen nach außen Stand LP5.1 (HOAI) aus 07/2018:

- 200 mm Brettschichtholz (BSH) Oberfläche raumseitig in Sichtqualität, mit BSPH Deckenplatten konstruktiv entkoppelt verzahnt/verzinkt nach Vorgabe Tragwerksplanung
- zusätzliche Folie als Dampfbremse, nach Erfordernis Tragwerksplanung
- 200mm Mineralwolle, außen kaschiert, hydrophob eingestellt, Schmelzpunkt > 1000°C
- Schottbleche vertikal
- Winddichtfolie dampfdiffusionsoffen, Stöße überlappend verklebt,
- 30mm Luftschicht
- Elementierte Holzverkleidung auf UK, 25mm ebenengleiche, vertikal Lattung, für direkte Bewitterung geeignet

Gesamtdicke: **455mm**
(ohne innere Vorsatzschale zum Leitungsverzug e.t.c.)

BSPH Decke unterseitig sichtbar

Im Zuge der weiteren Planung wurde folgende Themen diskutiert und Pro und Kontras abgewogen:

BAUPHYSIK: Klärung ausreichende Dampfdichtigkeit von raumseitig exponierten BSH-Außenwandoberflächen, Erforderlichkeit Dampfdichtigkeitsbremse im Stoßfugenbereich der BSH-Wandelemente außenseitig

AUSSENLÄRMSCHUTZ: Erforderlichkeit von akustischer Flankendämmung außen und innenraumseitiger Vorsatzschale auf Außenwand

HOLZVERBRAUCH/STATIK: Die Ausführung der komplett auf Abbrand bemessenen BSH-Wände (von 20 cm BSH waren 9,5 cm für 120 min Abbrand erforderlich) sowie deren Ausführung auch im nichttragenden Bereich führte zu

einem sehr hohen Holzverbrauch, was die Konstruktion nicht nachhaltig und auch sehr kostenintensiv machte.

HAUSTECHNIK: Die holzsichtige Innenwand ermöglichte keinerlei Leitungsverzüge. Integration von Steckdosen problematisch

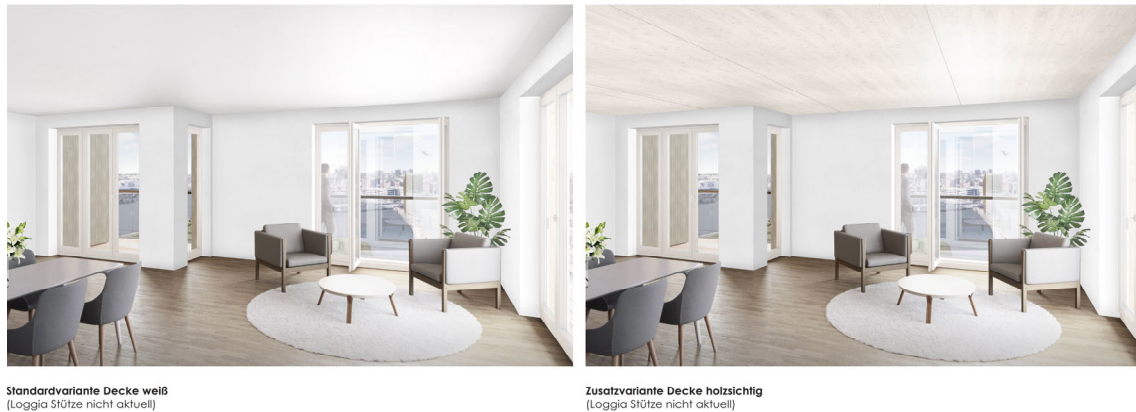
VERTRIEB: Weiterhin wurden in Zusammenarbeit mit dem Vertrieb Studien zur Holzichtigkeit der Wände und Decken erstellt. (Thema verschiedene Holzfarben/Oberflächen in einem Raum, befürchtete „Saunaoptik“ e.t.c.)



Abb. 9: Raumstudien Holzichtigkeit (© Copyright dreidesign Hamburg, 2018)

Nach Abwägung all dieser Belange wurde die Entscheidung zugunsten einer inneren Vorsatzschale an den Wänden gefällt.

Die zum Ende der Leistungsphase 3 bestehende Überlegung, die Holz-sichtigkeit der Decke zu einer Kundensonderwunschoption zu machen, wurde verworfen, da dieses für den Bauablauf erhebliche Konsequenzen gehabt hätte und das Einbringen einer mit Mineralwolle belegten unteren Abhangdecke auf Federschienen eine weitere erhebliche Verbesserung des Innenraumschallschutzes bedeutete, sowie den Einbau von Undercoversprinklern und den einfacheren Leitungsverzug für Deckenbeleuchtung ermöglichte.



	Wände Anstrich RAL 9010 reinweiß		Decke (Standard) Anstrich RAL 9010 reinweiß		Decke (holzsichtig) Brettsperholz Fichte lasiert (Adler Lignovit Interior UV100 Monti Blanc)		Fensterrahmen Holz lasiert Anstrich RAL 9010 reinweiß		Bodenbelag Wohnräume Mehrschichtparkett Eiche, hell geölt Dielenformat ca. 11 x 120 cm, Wilder Verbund
---	---	---	--	---	---	---	---	---	---

Abb. 10: Raumstudien holzsichtige Decke (© Copyright dreideSIGN Hamburg, SMP, 2019)

Im Hinblick auf den Brandschutz sieht der Vergleich der Wandkonstruktion der Ausgangsvariante und der ausgeführten Konstruktion wie folgt aus:

Variante 1
monolithischer Aufbau

Variante 2 ausgeführt:
aufgelöster Aufbau

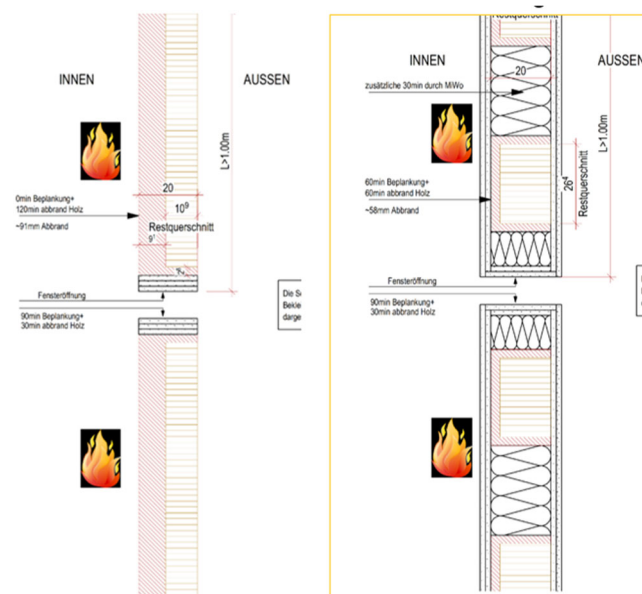
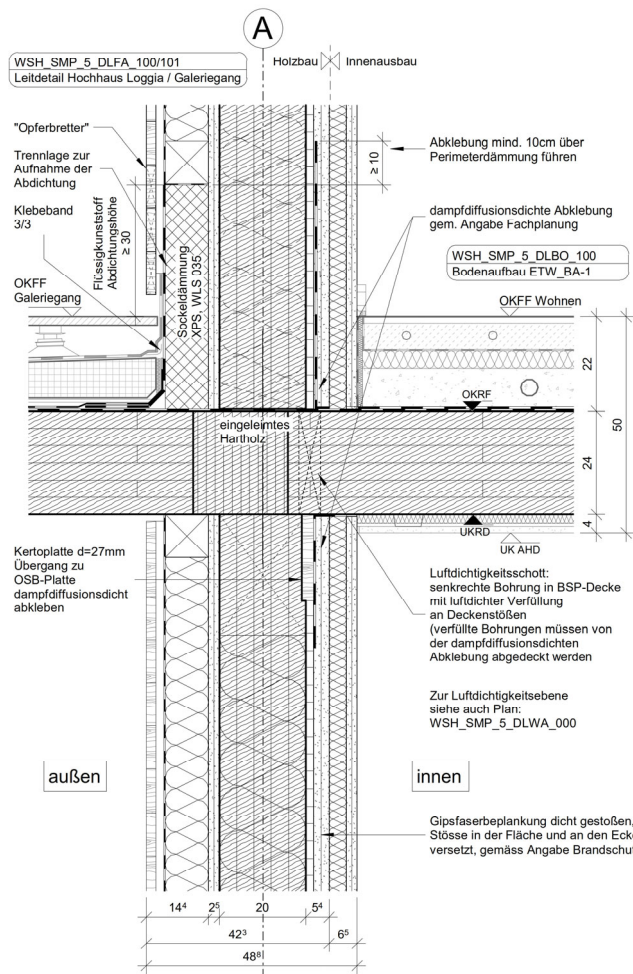


Abb. 11: Variantenvergleich Außenwände Brandschutz (SMP)

Finaler Wandaufbau:



Wandaufbau Aussenwand ETW, tragend von innen nach außen:

- 2 x GKB 12,5mm 25mm
- Luftschicht 10mm
- Dämmung (Miwo 30mm) 30mm
- 2 x Gipsfaserplatte 18mm 36mm
- OSB-Platte, luftdicht abgeklebt 18mm
- Holzstützen ausgefacht mit Miwo (WLS 035, 1000°C, 40kg/m³, nicht glimmend) 200mm
- 2 x Gipsfaserplatte 12,5mm 25mm
- Lattung / Ausgefacht mit Miwo (WLS032, 1000°C, 40kg/m³, nicht glimmend) 100mm
- Unterspannbahn
- Vertikale Lattung 22mm
- Horizontale Schalung (LAE) 22mm

Gesamtdicke:

488mm

Abb. 12: Finales Detail Holzbau Außenwand ETW (SMP, 2020)

3.2 TGA-Planung

3.2.1 Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise & Detailentwicklung im Holzbau

Sowohl die Anpassung des Planungsprozesses als auch die Detailentwicklung im Holzbau erfolgten seitens des TGA-Planers zu großen Teilen nach ähnlichen Grundprinzipien wie bei Architektur & Tragwerksplanung (siehe auch Kapitel 3.1.1, 3.1.2 & 3.3.1, 3.3.2 (Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise und Detailentwicklung im Holzbau von Architektur & Tragwerksplanung)).

Die weitere Anpassung des Planungsprozesses sowie die Detailentwicklung in Hinblick auf die Erfordernisse des Holzbaus, nach erklärter Fertigstellung der Leistungsphase 5 (HOAI) durch den TGA-Planer, zu einem frühen Projektzeitpunkt, erfolgte durch den/die BauherrIn, unter federführender Mitwirkung von u.A. Architektur, Tragwerksplanung & Brandschutz. Neben der Abstimmung der Befestigungskonstruktionen im Holzbau stand insbesondere die Schlitz- und Durchbruchplanung sowie die Planung der Anlagentechnik (Feuerlöschesysteme (auch für die Bauphase), Notstromtechnik, etc.) im Fokus.

Die Wahl eines holzbauerfahrenen TGA-Planungsbüros ist neben der von Architektur, Tragwerksplanung und Brandschutzplanung als fundamentaler Pfeiler einer funktionierenden Holzbauplanung zu sehen.

3.3 Tragwerksplanung - ASSMANN Beraten + Planen GmbH

3.3.1 Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise

Es ist seit einigen Jahren bekannt und im Forschungsprojekt leanWOOD⁵ auch wissenschaftlich untersucht, dass eine Holzbauplanung erst durch einen besonderen Prozess erfolgreich werden kann.

Die Gründe dafür sind vielfältig und haben genau genommen in einigen Aspekten wenig mit dem Baustoff Holz als solchem zu tun. Im vorliegenden Projekt roots war ein vielgeschossiger Holzbau zu planen, der folgende, teils aus der Materialität Holz, teils aus dem Umstand der Vorfertigung und teils aus der Bauaufgabe Hochhaus herrührende Herausforderungen im Planungsprozess zu vereinigen hatte, wie z. B.:

- Materialität Holz im mehrgeschossigen Bauen:
 - Wenig vorhandene Routine von primär, aber auch sekundär Beteiligten der Planung und ausführenden Gewerke im mehrgeschossigen Bauen mit Holz, insbesondere im Hinblick auf Schall- und Brandschutz,
 - Witterungsschutz als besonders wichtige Anforderung im Holzbau,
 - Vorkehrungen zum Schutz sichtbarer Holzoberflächen,
 - Anforderungen aus der Nachhaltigkeits-Zertifizierung der HafenCity,
 - wirtschaftliche Aspekte und Kostenkontrolle,
- Vorfertigung:
 - frühzeitige planerische Festlegungen in Bezug auf Bauteilaufbauten und Details,
 - frühzeitige Fertigstellung der den Holzbau betreffenden Ausführungsplanung,
 - Festlegung eines sinnvollen Vorfertigungsgrads
 - Vergabestrategie,
 - Umstände und Konsequenzen aus Elementierung, Fertigung sowie Logistik und Montage,
- Bauaufgabe Hochhaus in Holz
 - Wahl eines interdisziplinär-effektiven Bausystems in oder mit Holz,
 - Besonderheiten in der statischen Bemessung z. B. der Differenzstauchung zwischen Holz- und Stahlbetonbauteilen und der Robustheitsbetrachtungen,
 - erhöhte Brandschutzanforderungen, insbesondere im Hinblick auf die unzureichende Baurechtslage in den Landesbauordnungen und

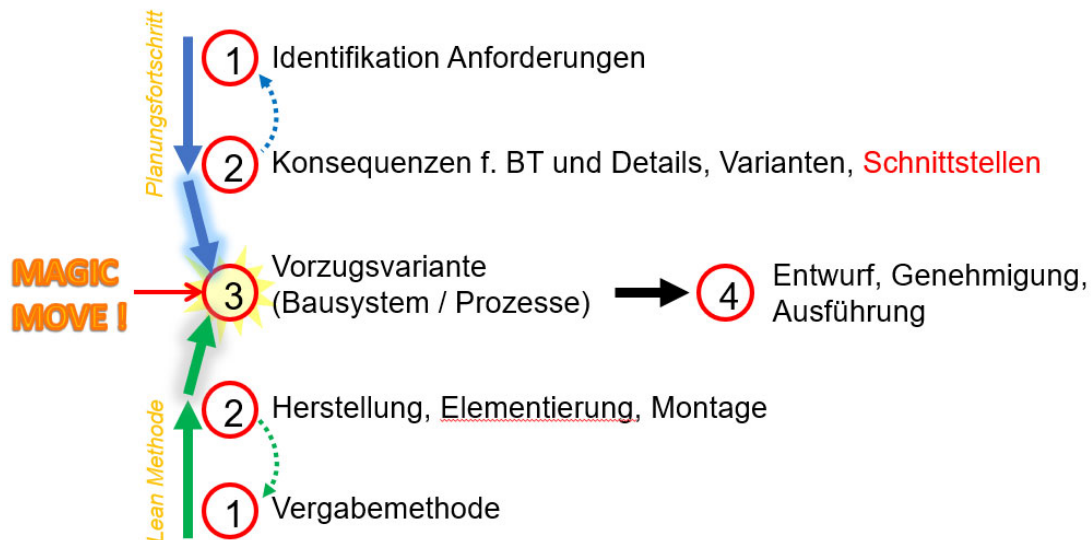
⁵ Technische Universität München: leanWOOD – Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise, München: 2017

die unzureichenden technische Baubestimmungen zur Umsetzung der hohen Anforderungen,

- keine bzw. kaum Erfahrungen im Planen und Bauen eines Holzhochhauses bei den Planungs- und Baubeteiligten, auch nicht bei dem/der BauherrIn, der Objektplanung und dem Holzbauunternehmen. Ein Holzhochhaus ist demnach ein Pionier-Projekt.

Die dem Vorfertigungsprozess, aber auch einer hohen Kostenkontrolle, geschuldete Erfordernis nach früher Klarheit über Bauteile und Details benötigte einen besonders engen integralen Austausch aller Planungsbeteiligter. Es ist dabei im Holzbau erforderlich, dass sämtliche Planungsbeteiligte so früh wie möglich eingebunden werden.

Es war Ziel des Planungsprozesses beim roots, in Anbetracht der oben beispielhaft genannten, herausfordernden Planungsumstände einen robusten Entwurf zu entwickeln. Die Vielzahl der Möglichkeiten im Holzbau, das Fehlen von Standards in den höheren Gebäudeklassen und die noch wenig vorhandenen Erfahrungen der AuftraggeberIn im mehrgeschossigen Holzbau führen zu einem relativ großen Verunsicherungsrisiko in die planerische Qualität eines Holzbauentwurfs. Der Planungsprozess sollte also den/die BauherrIn in die Lage versetzen, mit größtmöglicher Überzeugung, eine Vorzugsvariante auszuwählen, die dann kritikrobust durchgeplant werden konnte. Folgendes Schaubild war dabei richtungsweisend:



© Henning Klattenhoff

Abb. 13: Schaubild einer Planungsstrategie bei vorgefertigten Holzbauelementen (© Copyright Henning Klattenhoff, ABP)

Bei einem Pionier-Projekt wird die Entscheidung für ein Holzbausystem mit entsprechenden Aufbauten sehr bedeutend.

In einem ersten Schritt wurden dabei sämtliche Anforderungen aus den Planungsdisziplinen, den besonderen Herausforderungen des Planungsobjekts und seiner Umgebung zusammengetragen und analysiert.

Im zweiten Schritt wurden die Konsequenzen aus den vielfältigen Anforderungen auf jede Planungsdisziplin ermittelt und in einer Bauteilmatrix (siehe auch Kapitel 3.1.3 (Detailentwicklung im Holzbau (Architektur))) dokumentiert. Auf der Basis dieses Gesamtbilds wurden dann mögliche Varianten für Bauteilaufbauten und Leitdetails skizziert und nochmals in Bezug auf die Anforderungen gegengeprüft. Die Bauteilmatrix sollte dabei als Hilfsmittel dienen, das sämtliche Anforderungen und integralen Konsequenzen enthält und als Entscheidungsgrundlage zur Identifikation einer Vorzugsvariante führt.

Die Absicht hinter diesem systematischen Vorgehen und der Erstellung der Matrix war es, unter der Vielzahl der Holzbausysteme eine Entscheidungsgrundlage mit einer großen Robustheit und einem breiten Verständnis zu schaffen, die nicht zu einem späteren Zeitpunkt wieder in Frage gestellt werden würde, weil im Nachgang dann noch eine neue, aussichtsreiche Holzbauvariante diskutiert werden müsste.



Abb. 14: zu Planungsbeginn formulieren alle Planungsbeteiligten die Anforderungen ihrer Planungsdisziplinen (ABP)

Denn, bei der Bewertung des Entwurfs durch kompetente Dritte kann es zu einer übermäßigen Vertrauenserschütterung beim/bei der BauherrIn kommen, insbesondere dann, wenn ein Holzbauunternehmen in das Projekt eintritt und mit eigenen Ideen und Präferenzen den potenziellen Auftraggeber von der eigenen Kompetenz überzeugen und den Auftrag gewinnen möchte.

Diese Strategie ging bei der Planung des roots dahingehend auf, dass es auch beim Hinzuziehen vom zunächst beratenden Holzbauunternehmen keine grundsätzliche Hinterfragung des gewählten Holzbausystems mehr gab. Lediglich in einigen Details gab es Anpassungsvorschläge. Auch die zusätzlichen Planungserfordernisse, die aus den konkretisierten Vorfertigungs- und Logistikprozessen vom beratenden und später auch beauftragten Holzbauunternehmen eingebracht wurden, ließen sich gut in den planerischen

Entwurf integrieren, ohne dass es eine Vertrauenserschütterung in den planerischen Entwurf gegeben hätte.

Schon in der Auseinandersetzung mit den Anforderungen, Konsequenzen und Bauteiloptionen zeigten sich klare Präferenzen für mögliche Vorzugsvarianten, so dass eine weitere, vollumfängliche Ausarbeitung der doch etwas mühseligen Matrix abgebrochen werden konnte.

Nach den Erfahrungen aus dem Planungsprozess und den späteren Workshops mit dem aus führenden Holzbauunternehmen ergab sich die Erkenntnis, dass

- eine Planung von Holzgebäuden bis zur Gebäudeklasse 5 sehr gut von einem Holzbau-erfahrenen Planungsteam ohne eine Beratung eines kompetenten Holzbauunternehmens erfolgen kann, aber dass
- eine Planung von Pionierprojekten wie dem roots eine frühe Bindung an ein Holzbauunternehmen in mehrfacher Hinsicht ratsam ist.

Die Weiterentwicklung der technischen Baubestimmungen mit der Fortschreibung der Musterholzbaurichtlinie führt in diesem Zusammenhang zu einer weiteren Standardisierung und damit Planungssicherheit in Gebäuden unterhalb der Hochhausgrenze.

Ein optimales Holzbaukonzept impliziert bestmöglich die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen des/der BauherrIn und der einzelnen Planungsdisziplinen sowie die Umstände der Vorfertigung, Logistik und Ausführung.

3.3.2 Detailentwicklung im Holzbau

Im Rahmen der Holzbauplanung des roots sind zahlreiche Details und Planungsaspekte zu bearbeiten gewesen, die nicht oder nicht hinreichend geregelt oder standardisiert sind.

Die Variantenuntersuchungen haben schnell gezeigt, dass für das Holzhochhaus roots folgende Prinzipien als Best-Practice zur Anwendung kommen:

Konzept zur Orientierung der Deckenspannrichtungen:

Die integralen Bauteilanalysen der Wandelemente haben gezeigt, dass es sinnvoll und effektiv ist, die Decken im Turmbereich des roots radial zum Kern auszurichten, anknüpfend an den mittigen Stahlbetonkern und gelagert auf einem inneren und einem äußeren tragenden Wandring sowie auskragend im Bereich der umlaufenden Galerien. Die Trennwände konnten so nicht-tragend in Trockenbauweise mit hinreichendem Schallschutz bei schmaler Aufbauhöhe umgesetzt werden. Die Spannrichtung der Decken erlaubte daher Elementfugen in den Trennwandachsen. Die Wirksamkeit der ausgebildeten, horizontalen Deckenscheibe ließ sich über eine Abstandsmontage mit Vollgewindeschrauben realisieren. Diese Verbindung wurde im Hinblick auf ihren Schallnebenweg Mock-Up untersucht und als hinreichend bewertet.

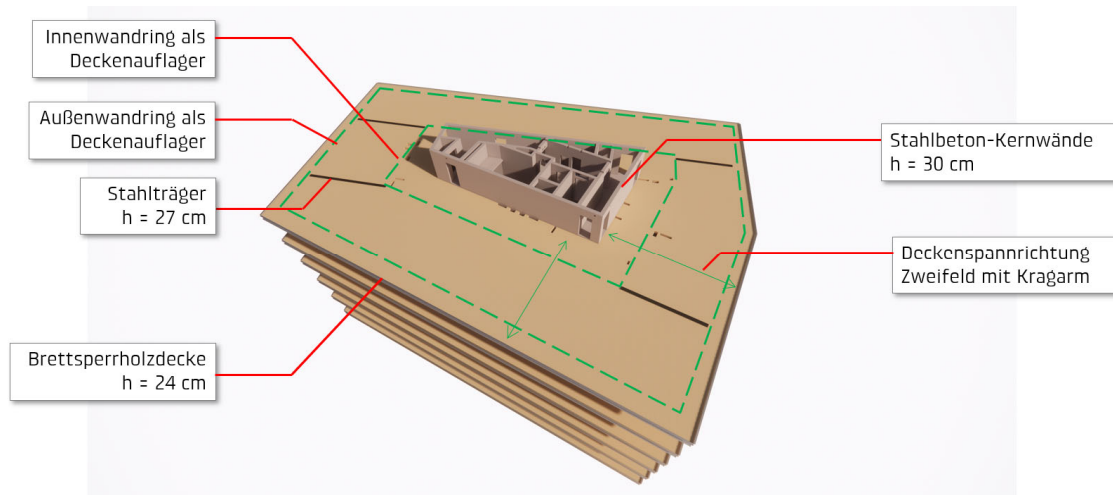


Abb. 15: Darstellung der radialen Deckenauslegung im Turm (ABP)

Ausschluss einer Ballonbauweise:

Eine Ballonbauweise impliziert geschossübergreifende vertikale Bauteile und wurde in norwegischen Holz-Skelett-Hochhäusern angewendet. Sie hat das Potential zusätzlicher Robustheit und Stabilität. Die priorisierte Entscheidung über die Deckenorientierung erforderte jedoch die geschossweise Herstellung der vertikalen Holztragelemente und schloss somit eine Ballonbauweise aus. Beim Einsatz von vorgefertigten Wänden für den vertikalen Lastabtrag ist die Ballonbauweise im Regelfall keine Option, da mit deutlich nachteiligen Bauzwischenzuständen statisch und Witterungsschutz-technisch zu rechnen ist.

Einsatz von Brettspertholz (BSPH) und Brettschichtholz (BSH) im Gesamtkonzept:

Für ein Holzhochhaus mit einem mittig-stabilisierenden Kern aus Stahlbeton ist statisch die Ausbildung der Geschossdecken als horizontale Scheiben sinnvoll und materialsparend. Die Scheiben müssen dabei in ihrer Ausbildung und Anbindung an den Kern über eine ausreichende Steifigkeit verfügen. Wird die Scheibe aus Massivholzelementen (im Gegensatz zu eine Hybriddecke) hergestellt, so ist hier der Einsatz von BSPH sinnvoll. Für die Materialwahl der tragenden, vertikalen Elemente ist der Einbau von BSH-Stützen mit zwischengehängten BSH-Trägern am Material-Effektivsten. Aufgrund der Querlagen ist der Rückgriff auf vertikale Brettspertholzwände nur dann sinnvoll, wenn eine Holzichtigkeit erforderlich ist.

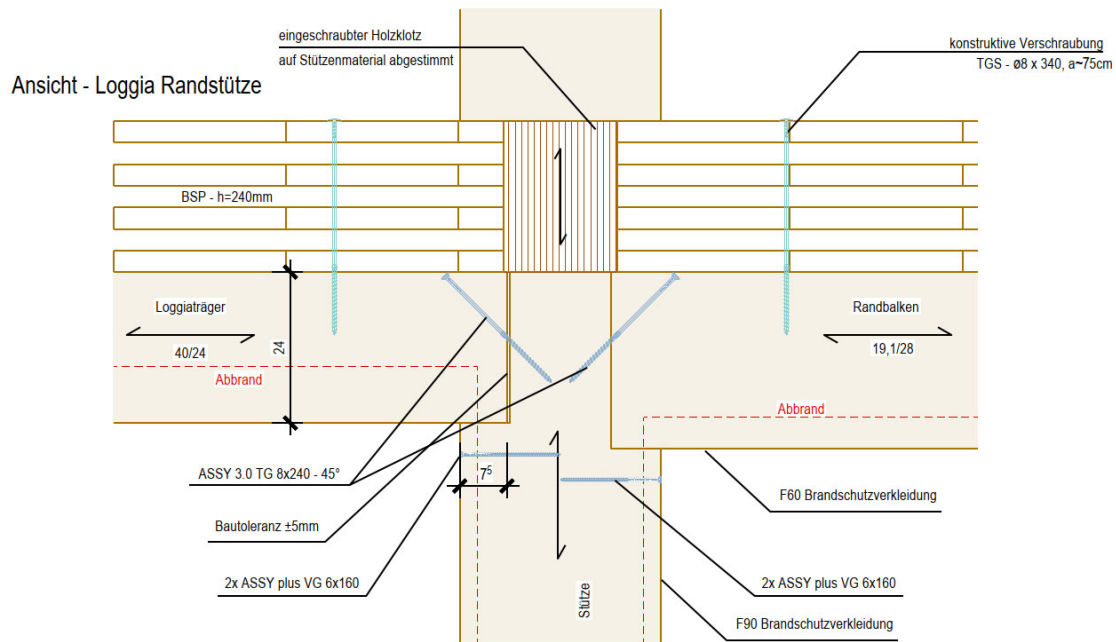


Abb. 16: typisches Knotendetail mit direktem Lastabtrag (ABP)

Im roots sind die tragenden Innen- und Außenwände zusammengesetzt aus BSH-Trägern und Stützen, mit brandschutzwirksamen Platten ohne statische Funktion bekleidet und ausgedämmt. Diese Bauweise erlaubt eine geschossweise Vorfertigung wie im Holztafelbau. In den unteren, hochbelasteten Bereichen der Stützen aber auch bei einzelnen weitspannenden Balken wurde statt BSH auch Furnierschichtholz aus Fichte und Buche eingesetzt. Diese Materialwechsel konnten die Druckfestigkeit des Stützenquerschnitts mehr als verdoppeln.

Die Verbindungspunkte zum Stahlbetonkern:

Die Anbindung der BSPH-Deckenelementen an den Stahlbetonkern erfolgt klassisch mit Stahlwinkeln unter Beachtung der Möglichkeit eines Toleranzausgleichs gegenüber dem mit höheren Bautoleranzen versehenen Stahlbeton. Im Vorfeld wurden verschiedene Varianten z. B. mit Einbauteilen, Konsolen, etc. diskutiert und aus verschiedenen Gründen verworfen.

Elementtrennungen zur Verringerung der Schallnebenwege:

Die Schallnebenwege sind durch die Geschossanordnung und die Deckenelementfugen hinreichend unterbunden. Die Unbedenklichkeit der Schraubverbindungen in den Deckenfugen wurden durch das Mock-Up belegt. Durch die bekleideten, vertikalen Massivholzelemente innerhalb der Wandkonstruktion ist auch der vertikale Schallnebenweg hinreichend unterbunden. Das Mock-Up konnte auch dies entsprechend verifizieren. Auf akustische Lager konnte vollständig verzichtet werden.

Optimierter Einsatz von Verbindungsmitteln:

Insbesondere für die Robustheit der Konstruktion, die schnelle Montage, auch für einen möglichen Rückbau und nicht zuletzt aus Kostengründen war es sinnvoll, die Holztragstruktur einfach und mit vorzugsweise direkt aufliegenden Holzbauteilen zu planen. Im roots lagern die BSPH-Decken direkt auf den BSH-Trägern und diese wiederum direkt auf den ausgeklinkten BSH-Stützen auf. Der Einsatz von Verschraubungen wurde auf ein konstruktives Maß reduziert (siehe Abbildung 16).

Einfluss auf Herstellungs- und Montageprozesse

Die Berücksichtigung einer schnellen und potenziell reibungslosen Montage ist für ein Holzhochhaus besonders wichtig, da in den Bauzustandshöhen Wind- und Wettereinflüsse einerseits sehr hoch sein können und andererseits ein permanenter Witterungsschutz der Bauteile zu gewährleisten ist. Die Deckenelementierung im roots ergab sich aus den statischen Vorgaben und dem Konzept der radialen Anordnung. Die vertikale Wandelementierung ergab sich aus den Fugen der Wohnungstrennungen und den Anforderungen des Holzbauers aus Herstellungsbegrenzungen, Transportbegrenzungen oder Hebelastbegrenzungen der einzelnen Elemente. Eine Besonderheit stellte die 3D-Vorfertigung der Außenwandelemente durch den Holzbauer dar, der die Loggien zusammen mit den Außenwandelementen jeweils als ein Element herstellen und liefern konnte.

Elementar bei dem statischen Entwurf ist die Berücksichtigung der Stauchungsdifferenz zwischen dem Stahlbetonkern und den Holzstützen. Da Holzbauteile in aller Regel ein geringeres Elastizitätsmodul haben, ergeben sich geschossweise Stauchungsdifferenzen von rechnerisch oft mehr als 1-2 Millimeter. Bei Holzhochhäusern können sich schon bei 10 Geschossen erhebliche Differenzen zwischen dem untersten Holzgeschoss bis zum Dach ergeben.

Die Stauchungsdifferenz beträgt bei der Höhe des roots rein rechnerisch ca. 2 Zentimeter. Eine genauere Betrachtung war erforderlich, um Zwängungen und unzulässige Verformungen zu unterbinden. Dies ist im Entwurf durch den horizontalen Abstand von unterschiedlich gestauchten Bauteilen gewährleistet.

Die Stauchungen haben unterschiedliche Ursachen und stellen sich in unterschiedlicher Geschwindigkeit ein. Grundsätzlich gibt es bei beiden Materialien belastungsbezogene elastische und auch plastische Verformungen. Aufgrund des geringeren E-Moduls des Holzes ergibt sich hier die höhere Verformung bei gleicher Auslastung. Wieviel höher die Steifigkeit im Stahlbetonkern ist, bleibt ohne Messungen spekulativ, denn neben den tabellierten E-Modulen der jeweiligen Betongüten, muss stets auch damit gerechnet werden, dass der Stahlbetonkern eingerissen sein kann. Gerissener Stahlbeton hat einen deutlich geringeren E-Modul als ein ungerissener Stahlbeton.

Die gleiche Tendenz stellt sich beim Kriechverhalten ein.

Holzbauteile verändern ihre Länge auch mit Zu- und Abnahme der Bauteilfeuchtigkeit deutlich. Dieser Umstand spielt im Stahlbeton keine Rolle.

Schließlich wurden die Bauteile, die Auslastungen und die Bauabläufe so gewählt, dass die Differenzstauchung maximal 2 cm beträgt.

Im Rahmen der Robustheitsüberlegungen wurden Belastungen aus „unbekannter Ursache“ gemäß Eurocode DIN EN 1991 untersucht. Bei der Definition von Haupttragelementen sind sehr hohe horizontale Lasten anzunehmen, die durch einfache Verbindungsmittel kaum aufnehmbar sind. Besondere Verbindungsmittel führen wirtschaftlich zu keinem befriedigenden Ergebnis. Einfacher erschien daher der Nachweis über direkten Druck in der Fuge zum benachbarten Deckenbauteil. Die so entstehenden Vertiefungen der Oberkanten der Stützen innerhalb des BSPH-Deckenspiegels waren jedoch für den Witterungsschutz der folierten Deckenelemente und die Stützenmontage nachteilig und wurde verworfen. In Absprache mit dem/der BauherrIn wurde ein vereinfachter Nachweis über das Ansetzen der Schubwiderstände aus den Stützennormalkräften geführt, zumal die zugehörigen Regeln des Eurocode nur informativ und damit nicht verpflichtend in Deutschland eingeführt sind.

In der Holzbauplanung sind neben den oben genannten Umständen weitere Aspekte zu betrachten, die erhebliche Einflüsse auf die Detailentwicklung haben können. Dazu gehören zum Beispiel Toleranzkonzepte für Stöße und Verbindungen, insbesondere zwischen Stahlbeton und Holz, und Bauablaufskonzepte, die wiederum zu Anforderungen an die Details führen können. Eine sehr gute Detaillierung zeichnet sich im Holzbau besonders darin aus, dass die Holzbauteile einfach hergestellt, schnell und sicher montiert werden und auf der Baustelle vor Witterung geschützt werden können. Die Details sollten so entwickelt werden, dass das ausführende Holzbauunternehmen anhand der Leitdetails schon erkennen kann, wie es die Elementierung festlegen und Vorfertigung durchführen sollte.

3.3.3 Konstruktiver Brandschutz

Der konstruktive Brandschutz ist weder im Hinblick auf die beim roots geforderte statische Feuerwiderstandsdauer R von 120 Minuten noch auf die Widerstandsdauer des Rauch- und Wärmedurchgangs EI von 90 Minuten vollständig geregelt.

Der konstruktive Aufbau des Holzbaus bestehend aus Massivholzelementen mit Bekleidungen der Wandbauteile gibt hinreichend Möglichkeiten, zumindest den statischen Feuerwiderstand herzustellen. Über die brandschutz-technisch wirksame Bekleidung der Wände und das Abbrennverhalten der Massivholzbauteile lassen sich für die Bauteile die entsprechenden Nachweise zum konstruktiven Brandschutz regelkonform erstellen. Normativ sind jedoch

Feuerwiderstände von Holzbauverbindungen > 60 Minuten noch nicht geregelt. Abhilfe schaffen hier jedoch der anerkannte Stand von Wissenschaft und Technik in Form des technischen Bearbeitungsstands zum neuen Eurocode 5 sowie einschlägig bekannten Veröffentlichungen zum Sachverhalt⁶

Die EI 90-Anforderung ist über die Bauteilaufbauten zwar grundsätzlich abgedeckt, allerdings waren zum Zeitpunkt der Planung die Element-Stöße nicht geregelt. Abhilfe schuf hier eine vorhabenbezogen Bauartengenehmigung, basierend auf einem Gutachten von Hahn Consult zum roots (siehe auch Kapitel 3.4 (Brandschutz)).

Das Gesamtkonzept des roots nimmt die Anforderungen aus dem konstruktiven Brandschutz relativ einfach auf. Bei größeren Abweichungen vom statischen Konzept und Fugenkonzept kann der konstruktive Brandschutz bei Abweichungen von der Musterholzbaurichtlinie zur Herausforderung werden.

3.3.4 Nachweis der zulässigen Eigenfrequenz

Grundsätzlich sind Gebäude und Bauteile im Hinblick auf ihre Schwingungsanregung zu prüfen. Besonders Wohngebäude haben hohe Komfortansprüche und sind daher sorgfältig zu untersuchen. Auslöser für schwingungsinduzierte Komforteinschränkungen können die Nutzer im Gebäude sein oder aber Einwirkungen von außen, insbesondere von Bahn- und Straßenverkehr, wobei vertikale und horizontale Schwingungsphänomene zu betrachten sind.

Regelungen mit einzuhaltenden Anhaltswerten finden sich in der DIN 4150, die regelmäßig als orientierender Standard bei Komfortbewertungen herangezogen wird.

Mehrgeschossige Holzbaukonstruktionen sind in der Regel leichter und weniger steif als Stahlbetonkonstruktionen. Untersuchungen im Rahmen des von der DBU geförderten Forschungsprojekts „Gebrauchstauglichkeit und Komfort von dynamisch beanspruchten Holztragwerken im urbanen mehrgeschossigen Hochbau“⁷ haben gezeigt, dass die horizontalen Schwingungsphänomene in Holztragwerken im Regelfall unproblematisch sind. Dies deckt sich mit Aussagen der DIN 4150, wonach einerseits selbst die tief-frequenten Anregungen aus dem Schienenverkehr unter 4 Hertz vernachlässigt werden können⁸ und andererseits horizontale Eigenfrequenzen bei Gebäuden mit mehr als zwei Geschossen mit kleiner 3,5 Hertz angenommen werden müssen⁹.

⁶ Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (Hrsg.): Holz Brandschutz Handbuch, 3. Aufl., München: 2009

⁷ Projektinformationen und Schlussbericht unter: www.dbu.de/projektdatenbank/34548-01/

⁸ vgl. DIN 4150-02: Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden, Anmerkung zu Abschn. 5.1

⁹ vgl. DIN 4150-1: Erschütterungen im Bauwesen, Formel (4) im Abschn. 4.3.4

Anders verhält es sich bei vertikalen Schwingungen: Decken (-elemente) haben Eigenfrequenzen, die in Holzausführung bei Anregungen durch Menschen im Gebäude und durch Straßen- und Schienenverkehre in Gebäudenähe bemessungsrelevant werden. Im Hochhaus ist auch eine zusätzliche Schwingungskomponente durch Stauchungen in den Stützen denkbar.

Für Deckenanregungen durch Menschen gibt es bereits seit einigen Jahren eine Bemessungsvorschrift in der Holzbaunorm¹⁰ und weiterführende Untersuchungen¹¹ von Hamm/Richter/Winter, die Anwendung in der Holzbaustatik finden.

Schwingungsanregungen von außen wurden erstmalig umfangreich im o. g. Forschungsvorhaben näher in Bezug auf den Holzbau untersucht. Maßgebend werden in Holzgebäuden meist Schwingungsanregungen, die durch Eisenbahnverkehr, insbesondere Güterzüge, verursacht werden:

Die üblichen Eigenschwingungen von Holzdecken können mit 5 bis 10 Hertz bei der Verwendung von BSPH im Wohnungsbau angenommen werden. Insbesondere tieffrequent schwingende Decken sind dabei anfällig für Anregungen aus naheliegender Eisenbahnverkehr. U-Bahnen in geschlossener Bauweise regen eher höher-frequent an und stellen meist keine Beeinträchtigung dar.

Im vorliegenden Fall des Holzhochhauses roots wurde durch einen Baudynamiker eine Anregung des Holztragwerks ausgeschlossen. Zwar befindet sich in weiterer Umgebung des Bauwerks auch eine Bahntrasse, allerdings liegen zwischen Bahn und Bauwerk, ein U-Bahn-Tunnel und ein Hafenbecken, so dass mit einer nennenswerten Weiterleitung der Schwingungsenergie durch den Baugrund ins Gebäude nicht zu rechnen ist.

Eine weitere Ursache für eine Schwingungsanregung von außen können resonante Windböen darstellen. Diese ließen sich über einen rechnerischen Ansatz nach DIN EN 1991-1-4 beim roots ausschließen.

3.3.5 Robustheit

Im Rahmen der Planung wurde ein Robustheitskonzept entwickelt, das auf den Anforderungen des Eurocode DIN EN 1991-1-7 basiert und folgenden Werdegang erfuhr:

- Gemäß Eurocode sind für Hochhäuser besondere Maßnahmen für eine zusätzlichen Robustheit erforderlich. In einer ersten Betrachtung wurden

¹⁰ DIN EN 1995-1-1:2004+AC2006+A1:2008, Abschn.7.3.3 und DIN EN 1995-1-1/NA:2013-12, NCI Zu 7.3.3

¹¹ WINTER, S.; HAMM, P; RICHTER, A.: Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15283. Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München: 2010

mögliche Robustheitsmaßnahmen in Bezug auf Machbarkeit und Kostenindikation dargelegt:

- Ansatz einer Trümmerlast
- Definition von Haupttragelementen unter außergewöhnlicher Last
- Begrenzung des Versagensbereichs
- Einsatz konstruktiver horizontaler und vertikaler Zugbänder
- Bauteilausfall mit Lastumlagerung

Die Regelungen zur Robustheit sind im Eurocode jedoch nur informativ, nicht aber zwingend. Eine Einigung mit dem/der BauherrIn war also erforderlich, um die aus statischer Sicht zumindest empfehlenswerte zusätzliche Robustheit in der Konstruktion kostengünstig zu gewährleisten.

- Seitens der Hamburger Feuerwehr wurde jedoch eine zusätzliche Robustheit gefordert, wobei hier der Begriff Robustheit nicht notwendigerweise im Sinne des Eurocode zu verstehen war. Der Grund für diese Forderung lag in folgender Überlegung: Ein mineralisch gebautes Wohnhochhaus würde nach 90 Minuten Vollbrand kein brennbares Material mehr in sich haben. Ein Holzhochhaus hingegen besteht aus brennbarem Material und hätte auch nach 90 Minuten Vollbrand noch brennbares Material in seiner Konstruktion. Zunächst wurde angeregt, dass das Tragwerk Bauteilausfälle berücksichtigen solle. Da diese Robustheitsmaßnahme bei bestimmten Bauteilen nur mit erheblichem Aufwand realisierbar gewesen wäre, wurde zwischen dem Tragwerksplaner und der Feuerwehr alternativ vereinbart, dass sich eine zusätzliche Robustheit durch die Anhebung des statischen Feuerwiderstands R von 90 auf 120 Minuten erreichen ließe, ohne besonders kostenintensive zusätzliche Maßnahmen. (Hinweis: Es gibt hier keine grundsätzliche Forderung der Feuerwehr, dass ein Holzhochhaus einen statischen Feuerwiderstand von R_{120} erreichen müsse. Vielmehr gibt es eine Vereinbarung, dass im Fall des Bauvorhabens roots die zusätzlich geforderte Robustheit durch einen vorhandenen statischen Feuerwiderstand von R_{120} erfüllt werden kann. In diesem Sinne wäre also auch für ein Holzhochhaus ein Feuerwiderstand von RE_{190} ausreichend, wenn eine andere zusätzliche Robustheitsmaßnahme abgestimmt würde.)
- Zwischenzeitlich wurde der Einsatz von vertikalen und horizontalen Zuggliedern geplant. Hierbei war die Frage zu klären, inwieweit die kreuzweise laminierten Brettsperrholzelement selbst als Zugglieder herangezogen werden können: die anzusetzenden Lastansätze des Eurocode können in den BSPH-Elementen ohne besonderen Aufwand aufgenommen werden, anders verhält es sich jedoch bei den Verbindungen zwischen den Elementen und zwischen Holzelement und Stahlbetonkern. Insbesondere die Anschlüsse an die Holzbauteile wurden bei den erforderlichen Belastungen schnell raumnehmend und teuer, auch im Hinblick auf die Anforderungen des Brand- und Schallschutzes.

Alternativ erschien es sinnvoll die Zugbänder zumindest vertikal mittels durchlaufender, schmaler Stahlprofile auszubilden. Diese Ausführungsvariante widersprach jedoch der Beachtung von Differenzstauchungen zwischen Holz und Stahl von mehreren Zentimetern. Demnach können vertikale Stahlprofile nicht über viele Geschosse durchlaufen.

- Naheliegender war daher, zur Sicherung der vertikalen Robustheit mit dem Eigengewicht der Gesamtkonstruktion zu argumentieren: Das Eigengewicht des Gebäudes ist derart hoch, dass es keiner zusätzlichen vertikalen Zügelemente bedarf, um abhebende vertikale Kräfte im Zuge der Robustheit nachweisen zu können. Lediglich die obersten 2-3 Geschosse mögen hier eine Ausnahme bilden, wenn die dortigen Stützenlasten den geforderten Zugwiderstand nicht übersteigen. Nachweislich reichten hier jedoch weniger Schrauben, um den erforderlichen Zugwiderstand herzustellen.
- Horizontal bleibt die Zugverankerung im Holzbau mit reinen BSPH-Decken (im Gegensatz zur Hybriddecke) problematisch, da die Anbindung der BSPH-Elemente untereinander und an den Stahlbetonkern für sehr hohe Lasten auszulegen gewesen wären, die sich als kompliziert, teuer und baupraktisch hinderlich darstellten. Sehr vorteilhaft war der Umstand, dass jede Geschossdecke zur Lagerung der Fassadenlasten durch ein umlaufendes U-Profil aus Stahl eingefasst war. Formal ist dem Eurocode an der Stelle zwar nicht genüge getan, die Summe der verschiedenen Versagenswiderstände, lässt jedoch ein Kollaps-Szenario nicht realistisch erscheinen.
- Schlussendlich wurden folgende, naheliegende Robustheitsmaßnahmen im Turm des roots umgesetzt:
 - Nachweis eines Stützenausfalls für normale Stützen in den Innen- und Außenwänden,
 - Nachweis von Haupttraggliedern im Fall von unverzichtbaren Stützen,
 - Umfassung der Geschossdecken durch U-Profil aus Stahl,
 - Konstruktiver Brandschutz für die Anforderung R120 und EI90.

Interessant im Zusammenhang mit der Anforderung an Robustheitskriterien ist die Tatsache, dass auch von der Feuerwehr eine zusätzliche „Robustheit“ gefordert war, die vorzugsweise durch das Berücksichtigen eines Stützenausfalls zu gewährleisten gewesen wäre. Für die Kosteneffektivität des Tragwerks wäre die Berücksichtigung von Stützenausfällen in einigen Bereichen sehr hinderlich geworden. In einem Robustheitskonzept zum roots wurde dargestellt, dass verschiedenen Robustheitsstrategien für die Konstruktion keine großen Implikationen mit sich bringen würden – mit Ausnahme des präferierten Stützenausfalls. Vielmehr wurde empfohlen, die betreffenden Stützen als Haupttragglieder mit zusätzlichen Horizontallasten gem. Eurocode zu bemessen.

In Bezug auf die Forderung der Feuerwehr wurde eine alternative Lösung zur Erbringung einer brandschutztechnischen Robustheit vorgeschlagen und umgesetzt (vgl. oben).

3.3.6 Elastomerauflager

Seit gut 10 Jahren ist im mehrgeschossigen Massivholzbau mit BSPH-Elementen der Einsatz von akustisch wirksamen Elastomerlagern zur Unterbrechung von Schallnebenwegen gängige Praxis. Hinzu kommen oft entkoppelnde Verbindungsmittel und Winkelverbinder, die in Summe mit den Lagern ein nicht unerhebliche Kostenposition darstellen.

In einem Holzhochhaus stellt sich die Frage, ob die dort eingesetzten größeren und schwereren vertikalen Holzbauteile immer noch sensible Schallnebenwege darstellen oder ob die Bauteilmasse bereits ausreicht, um auf besondere Maßnahme zur Unterbrechung der Schallnebenwege zu verzichten. Bei größeren Holzhochhäusern wie dem roots ist es schon aus Gründen der Stauchungsdifferenz zwischen Holz und Beton wünschenswert auf diese Lager zu verzichten, denn ihre Setzung summiert sich bei 16 Holzgeschossen auf knapp einen Zentimeter auf und wird damit zu einem erheblichen Faktor.

Unter solchen Bedingungen tun sich auch auf Holz spezialisierte Schallschützer schwer mit belastbaren Aussagen zu einem möglichen Verzicht auf Akustiklager, so dass das Planungsteam beim vorliegenden Bauvorhaben in allen Überlegungen, Zeichnungen und Berechnungen zunächst von dem Einsatz der Lager ausgegangen ist. Auch in den statischen Differenzsetzungsberechnungen ist der nicht unerhebliche Einfluss der Lager eingeflossen.

Beim Bauvorhaben roots sind die Schallschutzanforderungen (DEGA 103 C) aufgrund des zu erreichenden HafenCity Umweltzeichens in höchster Auszeichnung ausgesprochen hoch. Zum Zeitpunkt der Planung dürfte es in Deutschland nur sehr wenige andere mehrgeschossige Holzbauprojekte mit so hohen Schallschutzanforderungen gegeben haben.

Im Rahmen des Mock-Ups wurden die Elastomerlager für kleine Auflasten (oberes Geschoss des Mock-Ups) und für größere Lasten (durch Vorspannung) bemessen. Im Messstand wurde dann auch der Zustand ohne Elastomerlager überprüft.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass auf Elastomerlager ganz verzichtet werden konnte.

3.3.7 Mock-Up

Der Mock-Up zur Verifizierung des geplanten Schallschutzes konnte viele Fragestellungen zu statischen Details klären. Die wohl wichtigste Frage war, ob das statische Erfordernis der Verbindung benachbarter Deckenelemente, mit auf Distanz verschraubten Verbindungsmitteln, zur Ausbildung der horizontalen Deckenscheibe, zu dem erwarteten schlechten Effekt eines Schallnebenwegs führen würde.

Es gibt zwar zahlreiche Untersuchungen und Publikationen zu den Auswirkungen verschiedener Stoßausbildungen mit akustisch-wirksamen Lagern¹², allerdings sind dort stets andere Wandbauteilaufbauten untersucht worden, die keine Ähnlichkeit zu den geplanten Aufbauten (BSH-Stützen, zweifach bekleidet in Trockenbauwandkonstruktion) haben.

Erfreulicherweise konnte gezeigt werden, dass die Verschraubungen innerhalb der Deckenfuge mitsamt allen anderen Effekten nur eine Verschlechterung von einem dB zur Folge hatten. Das gegenteilige Ergebnis hätte eine grundlegende Hinterfragung des statischen Konzepts (Deckenorientierung radial zum Kern mit Elementfugen in den Trennwandachsen) zur Folge gehabt.

3.3.8 Qualitätsüberwachung im Holzbau

Für das Tragwerk war eine enge Begleitung der Vergabe und Ausführung von hoher Bedeutung. In einer Vielzahl an Workshops wurde die Vorfertigung durch den Holzbauer festgelegt und im Hinblick auf die abgeschlossene Planung sowie die bevorstehende Herstellung, Logistik und Montage bewertet. Insbesondere wurde das Elementierungskonzept des Auftragnehmers mitentwickelt und die erforderlichen Adaptionen in der Statik bewertet und nachgewiesen. Die Zwischenzustände der Bauphase wurden beraten und in zusätzlichen Berechnungen und Zeichnungen durchgearbeitet. Dazu zählt auch die Erstellung eines Bauablaufkonzepts zur Begrenzung der Differenzstauchungen zwischen vertikalen Holz- und Betontragelementen. In zahlreichen ingenieurtechnischen Kontrollen wurde überprüft, ob die Ausführung im Sinne der Planungsvorstellungen umgesetzt wurde. Unvorhergesehene Baustellenumstände wie z. B. statische Konsequenzen auf lokale Auffeuchtungen wurden im Nachgang rechnerisch geprüft und ausführlich kommentiert. Wesentlich war auch die Prüfung von Durchbrüchen im Tragwerk, insbesondere bei erforderlichen Abweichungen vom digitalen Model. Schließlich wurden in mehreren Nachbesprechungen von Planung und Ausführung, initiiert vom/von der BauherrIn, die Erfahrungen abgeglichen und die Zusammenarbeit (positiv) bewertet.

¹² Holzforschung Austria (Hrsg.): Deckenkonstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau, 5. Aufl., Wien: 2016

3.4 Brandschutz - HAHN Consult Ingenieurgesellschaft für Tragwerksplanung und Baulichen Brandschutz mbH

3.4.1 Entwicklung von Kompensationslösungen für Risikoszenarien bei Hochhäusern in Holz

Das roots war zum Zeitpunkt des Planungsbeginns Hamburgs erstes und Deutschlands mit Abstand höchstes Holzhochhaus. Das ist insgesamt auch heute noch so – es gibt zwar diverse Bauvorhaben in Hamburg und Deutschland, die inhaltlich in Richtung der brandschutztechnischen Komplexität des roots gehen, diese sind aber noch nicht in der Errichtungsphase angekommen. Hinzu kommt im roots als Erschwernisfaktor die ansprechende Holzfassade vor genutzten Balkonen (Loggien/Galeriegänge), die brandschutztechnisch weitere Herausforderungen auslöste.

Hochhäuser in Holzbauweise, d.h. mit einem Tragwerk, das sich am Brandgeschehen beteiligen kann, sind in den einschlägigen Regelwerken nicht vorgesehen. Da die Einsatzgeräte der Feuerwehr eine Gebäudehöhe von max. 30 m bzw. 22 m abdecken, müssen Gebäude, die diese Höhen überschreiten, grundsätzlich nichtbrennbar sein. Um das Sicherheitsniveau der Landesbauordnung in Verbindung mit den Anforderungen an Hochhäuser, abgeleitet aus dem Bauprüfdienst 1/2008 (vgl. Hochhausrichtlinie), aufrecht zu erhalten, mussten frühzeitig Kompensationslösungen ausgearbeitet werden, die diese grundlegende Abweichungen vom bauordnungsrechtlichen Standard angemessen aufwiegen. Grundsatz von Kompensationen im Brandschutz ist, dass sie stets ein „mehr“ gegenüber der bauaufsichtlichen Anforderung darstellen müssen. Für den Sonderbau „Hochhaus“ sind bereits an einigen Stellen die höchsten Anforderungen formuliert, sodass das reine Vorsehen bspw. einer Brandmeldeanlage keine Verbesserung der brandschutztechnischen Bewertung darstellt, sondern den ohnehin geforderten Standard. Für die Kompensationslösungen war daher die Anforderung, unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte, technische Verbesserungen zunächst als Möglichkeit aufzuzeigen und diese dann in Abstimmung mit dem/der BauherrIn, Architektur/Objektplanung und den jeweils betroffenen Fachplanungsdisziplinen sowie der genehmigenden Behörde weiter auszuarbeiten, sodass konkrete Kompensationen für die Errichtung eines Hochhauses in Holzbauweise mit brennbarer Fassade formuliert sind. Im Vordergrund der Kompensationslösungen standen der bauliche und anlagentechnische Brandschutz.

Allgemein

Alle im Folgenden beschriebenen Einzelmaßnahmen als Kompensationen für die vorliegenden Risikoszenarien im Holzhochhaus sind als alleinstehende Maßnahme zu betrachten. Dafür wurde es zunächst erforderlich, im Abgleich mit den brandschutztechnischen Schutzzielen nach § 17 HBauO die Risikoszenarien auszuarbeiten und konkret zu benennen. Erst dann ist es sinnvoll möglich,

Kompensationsansätze zu bewerten und festzulegen. Da im Hochhaus die Regelnutzung „Wohnen“ vorliegt, ist davon auszugehen, dass die Personen selbstrettungsfähig sind und keine gesteigerte Anforderung an die Personenrettung wie bspw. im Krankenhausbau gelegt werden muss. Eine Brandentstehung ist grundsätzlich nicht vollständig auszuschließen, besonders im Wohnungsbau, der organisatorische Maßnahmen nur bedingt zulässt. Folglich bleiben die Begrenzung der Brandausbreitung, zu der auch die Betrachtung der Brandentwicklung gehört, und die Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten.

Wesentliche Prämisse der Brandschutzplanung in Deutschland ist der Ansatz, dass baulicher Brandschutz höherwertig und vor dem anlagentechnischen zu bevorzugen ist. Auch ist Grundannahme in der brandschutztechnischen Konzeptionierung, dass Maßnahmen im Zusammenspiel und in Wechselwirkung zu betrachten sind.

Die gesamte Planungsphase des roots, teilweise auch nach Baubeginn aufgrund auftretender Herausforderungen in der Bauausführung, fanden intensive Abstimmungen mit der Behörde statt. Vordergründig ist hierbei ABH21 (oberste Bauaufsicht), ABH 23 (Bauprüfungsabteilung) und der vorbeugende Brandschutz der Feuerwehr Hamburg zu benennen. Schon mit Planungsbeginn und laufend während der Planungsphasen fanden Abstimmungstermine statt, in denen die Inhalte vorgestellt wurden. Dadurch konnte Konsens über die ausgearbeiteten, im Folgenden beschriebenen Maßnahmen gefunden werden und Anforderungen aus Regelwerken frühzeitig geklärt werden.

Grundsatz für den vorbeugenden Brandschutz (Brandschutzplanung) ist, diesen so auszulegen, dass der abwehrende Brandschutz (Feuerwehr) handlungsfähig ist und bleibt. Das heißt, es sind einzelfallbezogene Szenarien zu betrachten, die den Feuerwehreinsatz und Löschangriff erschweren können. Wesentliches Augenmerk in der Ausarbeitung von Kompensationslösungen für das Holztragwerk lag daher darin, die Feuerwehr für den Brandfall zu unterstützen.

Anlagentechnischer Brandschutz

In Hochhäusern sind technische Einrichtungen wie Feuerwehraufzüge, Wandhydrantenanlagen, Brandmeldeanlagen und automatische Löschanlagen bauordnungsrechtlicher Standard. Im roots war frühzeitig klar, dass die Erleichterungen des BPD 1/2008 für Hochhäuser geringer Höhe mit regulärer Nutzung keine Anwendung finden, sondern vorgenannte Einrichtungen als Minimum ausgeführt werden.

Als Anforderung der Feuerwehr, für die Grundsätzlichkeit des Holzhochhauses, wurde darüber hinaus eine erhöhte Sicherheit im anlagentechnischen Brandschutz erforderlich. Insbesondere im ursprünglichen Ansatz des holzsichten Tragwerks und aufgrund der Holzfassade (siehe unten) wurde die Ausfallwahrscheinlichkeit der geltenden Regelwerke hinterfragt. Da ein Entstehungsbrand im herkömmlichen Wohnhochhaus für die Feuerwehr grundsätzlich als beherrschbar eingestuft ist, wird hier auch die Restwahrscheinlichkeit des Anlagenausfalls aufgrund technischer Defekte oder

Fehlauslösung akzeptiert. Ein solcher Anlagenausfall sollte im roots vermieden und eine „Anlage mit erhöhter Ausfallsicherheit“ konzipiert werden.

Die auf dieser Grundlage geplante Sprinkleranlage bietet daher eine gewisse Sicherheit, die verschiedene mögliche Schwachstellen in der Anlage berücksichtigt und Unvorhergesehenes vorwegnimmt. Beispielsweise ist hier die Ausführung zweier Vorratsbehälter für das Löschwasser zu benennen, die allein jeweils ausreichend sind, um die geforderte Löschwassermenge zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich wurden die Sprinklerpumpen redundant ausgelegt, d.h. zu jeder Sprinklerpumpe gibt es eine Zweit-/Ersatzpumpe, die für den Fall des Ausfalls der Erstpumpe jederzeit zur Verfügung steht. Die Sprinklerleitungen in den Geschossen werden außerdem von zwei Steigleitungen versorgt, sodass ein Defekt der Zuleitung nicht zu einem Totalausfall der Sprinklerung führt.

Als weitere Kompensationsmaßnahme ist die Erhöhung der Kapazitäten der Wandhydranten zu benennen. Während in einem herkömmlichen Hochhaus der Wasserdurchfluss auf mind. 200 l/min festgelegt ist, beträgt dieser im roots 400 l/min. Damit wird der Feuerwehr im Einsatzfall Unterstützung durch erhöhte Löschwasserbeaufschlagung entgegengekommen, da diese neben den regulierten mobilen Brandlasten der Wohnnutzung (Möbliering) zusätzliche immobile Brandlasten mit Beitrag zum Brandgeschehen (Tragwerk) erwarten muss.

Beispiel Holzfassade mit genutzten Balkonen

Wesentliches Attribut des roots ist die Holzfassade, die im Riegelbau und im Hochhaus ausgeführt ist. Im Hochhaus stellt sie brandschutztechnisch einige Herausforderungen dar, da sie sich mit der Gebäudehöhe von 60 m außerhalb der Erreichbarkeit der Feuerwehr über Hubrettungsgeräte, ca. 23 m, bestenfalls knapp 30 m, befindet.

Eine Brandentstehung auf den umlaufenden Balkonen (Loggien/Galeriegänge) kann nicht ausgeschlossen werden, weil diese als Bestandteil der Wohnungen genutzt werden. Organisatorische Maßnahmen im privaten Wohnungsbau, wie die Regulierung von Möblieringen und Pflanzen und Anordnung von Rauchverboten, Untersagung von Elektrogrills etc. sind kritisch zu bewerten, da ihre dauerhafte Umsetzung fraglich ist.

Um einen vollentwickelten Fassadenbrand mit Ausbreitung auf mehrere Geschosse zu verhindern und die Feuerwehr damit arbeitsfähig zu halten, wurde eine Sprinklerung an der Fassade erforderlich. Dem Fassadenbrand wird besonderes Potential des kritischen Brandverlaufs zugemessen, weshalb an die Sprinklerung die bereits beschriebenen Anforderungen an die Ausfallsicherheit gestellt wurden.

Zusätzlich musste für die Fassadensprinklerung im weiteren Planungsverlauf ausgearbeitet werden, wie diese ausgelöst wird, um eine ausreichende Wirksamkeit zu generieren. Eine Auslösung durch die Brandmeldeanlage im Innern des Gebäudes ist nicht ausreichend, da die Brandentstehung im

Außenraum angesetzt werden muss. Durch die öffnenbaren Glaselemente an den Balkonen in Verbindung mit der exponierten Lage am Hamburger Hafen auf hoher Höhe sind außerdem Windeinflüsse zu erwarten, die die Rauchentwicklung beeinflussen. Klassische Rauchmelder der Brandmeldeanlage konnten daher nicht ausgeführt werden, da ein schneller Abzug der Partikel mindestens nicht ausgeschlossen werden kann. Als Lösung wurden Differenzmelder mit Temperaturkriterium ausgeführt, die, außerhalb der bauphysikalischen Schwankungen durch Sonneneinstrahlung etc., bei einer kurzzeitigen Temperaturentwicklung anschlagen.

3.4.2 Detailentwicklung im Holzbau

Baulicher Brandschutz

Die Anforderung an das Tragwerk in Hochhäusern < 60 m (vorh. 59,90 m im bauordnungsrechtlichen Sinne) lautet feuerbeständig. Das heißt, dass es nichtbrennbar sein und einen Feuerwiderstand von mindestens 90 Minuten aufweisen muss. In Zusammenarbeit mit der Tragwerksplanung wurden Ansätze entwickelt, den Feuerwiderstand nachzuweisen. Dass das Tragwerk brennbar ist, lässt sich in der Prämisse des Holzhochhauses nicht vermeiden. Um die Brennbarkeit im Rahmen des Brandschutzkonzeptes aufzuwiegen, wurden stattdessen erhöhte Maßnahmen zur sog. Robustheit des Tragwerks getroffen. Diese wurden in einem „Robustheitskonzept“ (siehe auch Kapitel 3.3.5 (Robustheitskonzept (Tragwerksplanung))). ausgearbeitet, dass Grundlage der Tragwerksplanung und weiteren Beurteilung im Brandschutz war. Wesentliche Inhalte waren dabei die Erhöhung des Feuerwiderstandes des Tragwerks auf insgesamt 120 Minuten (statt 90) und Ausarbeitung von Redundanzen in den tragenden Bauteilen für den außergewöhnlichen Lastfall Brand. Diese Anforderung gilt für alle Holzbauteile im Hochhausbereich und die Stahlbetonbauteile, die tragend oder aussteifend das Holztragwerk unterstützen.

Der Feuerwiderstand eines Holzbauteils lässt sich grundsätzlich durch zwei Wege erreichen: Zum einen über die Heißbemessung als Überdimensionierung des Holzquerschnittes im Kaltzustand, sodass die sich bildende Kohleschicht über den erforderlichen Zeitraum als Opferschicht den tragenden Querschnitt schützt. Zum anderen kann durch eine brandschutztechnische Bekleidung mit bspw. Gipsfaserplatten das Holz vor einer Temperatureinwirkung oder Flammenkontakt und damit einem Entzünden geschützt werden. Für das roots war zu Beginn der Planung gewünscht, Decken und Wände holzsichtig zu erhalten, sodass die Bauweise sichtbar ist und die Vorteile im Raumklima erhalten bleiben. Daher konnte anfänglich eine brandschutztechnische Bekleidung nicht als Möglichkeit in Erwägung gezogen werden, sondern vollständig über den Abbrand des Bauteils der Nachweis geführt werden musste. Aus schallschutztechnischen Gründen und zur Reduktion der Lasten im Tragwerk wurden Umplanungen vorgenommen, die eine Bekleidung der Bauteile

ermöglichten, sodass das wirtschaftliche Optimum zwischen Bekleidung und Abbrand aus Reserven der Gebrauchstauglichkeit angewandt werden konnte.

Weiterer Bestandteil des Robustheitskonzeptes war die Betrachtung des Bauteilausfalls. Grundsätzlich und vordergründig während des Brandfalls. Hierzu wurde ein Konzept aufgestellt, in dem als Grundsatz vorgesehen wurde, dass das (frühzeitige) Versagen einer einzelnen Stütze des Holztragwerks nichts zum Totalversagen des Tragwerks führt. Außerdem wurde für die Deckenelemente festgelegt, dass für die ideell darunterliegende Decke die Trümmerlast eines Deckenfeldes darüberliegend angesetzt wird.

3.5 Schallschutz - IFAS Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse

PartGes Prof. Pohlenz + Partner Ingenieure und Bauphysiker

Beratende Ingenieure für Bauphysik

3.5.1 Entwicklung von Detaillösungen im Holzbau

Die bauakustische Planung begann im Juli 2018 und wurde abgeschlossen im Januar 2024. Eine wesentliche Zielsetzung der gesamten Gebäudeplanung war die Auszeichnung der roots-Gebäudegruppe mit dem Umweltzeichen gemäß HCH 3.0¹³ in „Platin“. In Bezug auf den Schallschutz bedeutete dies, dass die Vorgaben der Schallschutzklasse C der DEGA-Richtlinie 103¹⁴ mit mindestens 180 Punkten zu erfüllen und damit die bauordnungsrechtlichen Anforderungen an den Schallschutz gemäß DIN 4109-1¹⁵ und auch der in Deutschland übliche Schallschutz im Wohnungsbau zu übertreffen waren.

	DIN 4109-1	DEGA 103 C
Luftschallschutz Wohnungstrennwände	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$	$R'_w \geq 56 \text{ dB}$
Wohnungseingangstüren	$R_w \geq 37 \text{ dB}$	$R_w \geq 42 \text{ dB}$
Wohnungstrenndecken	$R'_w \geq 54 \text{ dB}$	$R'_w \geq 57 \text{ dB}$
Trittschallschutz Wohnungstrenndecken	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 45 \text{ dB}$
Treppenläufe / -podeste	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 48 \text{ dB}$
Loggien, Galeriegänge	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 48 \text{ dB}$
Gebäudetechnische Anlagen	$L_{AF,max,n} \leq 30 \text{ dB}$	$L_{AF,max,n} \leq 27 \text{ dB}$

Tab. 1: Gegenüberstellung der Anforderungen (DIN 4109-1 und DEGA 103 SSK C), IFAS

Eine weitere schalltechnische Zielsetzung war es, Störungen durch tieffrequente Trittschallübertragung, wie sie von Deckenkonstruktionen in Holzbauweise bekannt waren, weitgehend zu vermeiden. In Anlehnung an einen Vorschlag von Kühn und Blickle¹⁶ wurde zur Beurteilung von zu erwartenden Gehgeräuschen in Abhängigkeit von zuvor messtechnisch ermittelten bewerteten Norm-Trittschallpegeln $L'_{n,w}$ und Spektrum-Anpassungswerten $C_{1,50-2500}$ die Kriterien aus Tabelle 2 zugrunde gelegt:

Messwert-Summenpegel	Gehgeräusch	Störwirkung
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} > 52 \text{ dB}$	$\rightarrow L_{AF,max,n} > 35 \text{ dB}$	= gut hörbar, störend
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 52 \text{ dB}$	$\rightarrow L_{AF,max,n} \leq 35 \text{ dB}$	= hörbar, wenig störend
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 46 \text{ dB}$	$\rightarrow L_{AF,max,n} \leq 30 \text{ dB}$	= kaum hörbar, nicht störend

Tab 2: Kenngrößen zur Beurteilung von tieffrequentem Gehschall (Kühn, B., Blickle R.)

¹³ HafenCity Hamburg GmbH: Umweltzeichen HafenCity – Nachhaltiges Bauen in der HafenCity, Version 3.0, überarbeitete Ausgabe 2017

¹⁴ DEGA Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. – Fachausschuss Bau- und Raumakustik: Empfehlung 103 „Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“: 2018-01-10

¹⁵ DIN 4109-1: Schallschutz im Hochbau – Mindestanforderungen, 2018-01

¹⁶ KÜHN, B., BLICKLE, R.: Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immissionen von Geschossdecken aus Holz. WKS B – Wärme, Kälte, Schall, Brand 50, Heft 54, S. 1, Ludwigshafen: Saint-Gobain Isover G+H AG, 2005

Planungsziel war, dass die fertiggestellten Deckenkonstruktionen einen Summenpegel von möglichst unter 46 dB, höchstens 50 dB aufweisen sollten.

Eine planerische Erschwernis bestand darin, dass zum Zeitpunkt des Planungsbeginns die in DIN 4109-2 enthaltene Nachweismethode ¹⁷ und der dazu vorhandene Datensatz ¹⁸ den rechnerischen Nachweis eines solch hohen Schallschutzes nicht mit ausreichender Sicherheit zuließen. Dies betraf vor allem den Trittschallschutz von Deckenkonstruktionen und die Beeinflussung der Flankenschallübertragung durch Fugen und Entkopplungsschichten im Brettsperrholzbau. Auch aus der schalltechnischen Fachliteratur waren entsprechende Beispiele für Bauteilaufbauten seinerzeit nicht zu entnehmen.

¹⁷ DIN 4109-2: Schallschutz im Hochbau – Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen; 2018-01

¹⁸ DIN 4109-33: Schallschutz im Hochbau – Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Holz-, Leicht- und Trockenbau; 2016-07

In der frühen Planungsphase wurden deshalb von den Fachplanern „Tragwerksplanung“ und „Bauakustik“ sechs unterschiedliche Aufbauten für die Geschossdecken und drei für die Loggia- und Galeriegangdecken sowie eine kraftschlüssige und dennoch ausreichend entkoppelte Verbindung von Deckenelementen entwickelt.

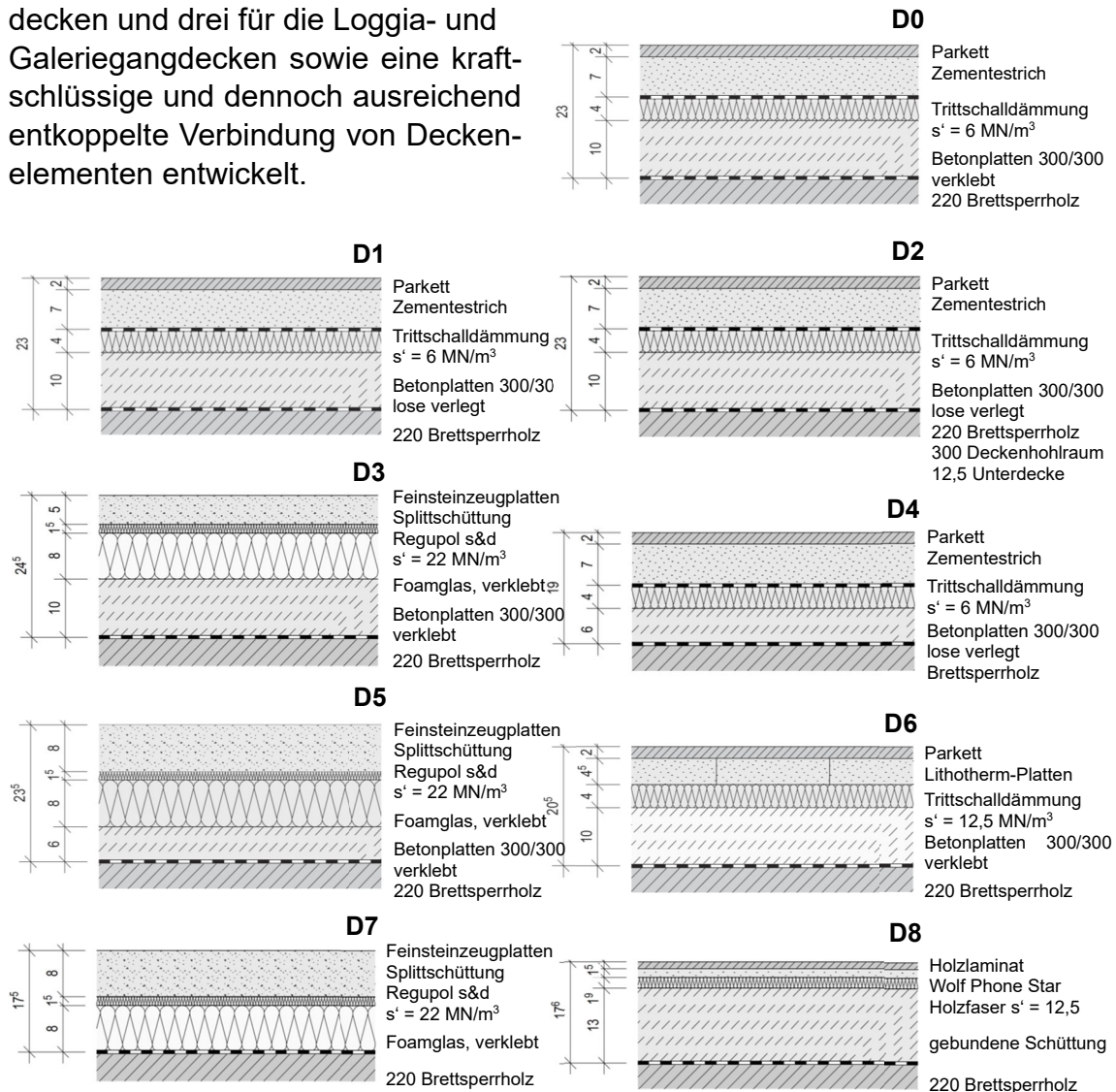


Abb. 17: Geprüfte Deckenvarianten (BRÜNINGHOFF-HOLZ GmbH)

Gegenüber dem Original veränderte Bezeichnungen: D4 → D6, D6 → D4, D7 → D8, D8 → D7

Wesentliche Merkmale der meisten Varianten der Wohnungstrenndecken waren Deckenbeschwerungen aus 300x300 mm Betonplatten unterschiedlicher Dicke, die auf 220 mm dicken Brettsper Holzdecken teils lose aufgelegt, teils verklebt wurden und die bei geringer Dicke die höchstmöglichen flächenbezogenen Massen ergaben. In Kombination mit schwimmenden Estrichen auf Trittschalldämmplatten geringer dynamischer Steifigkeit ließen diese Aufbauten die besten Trittschallschutzergebnisse erwarten. Ziel: Die schalltechnischen Kennwerte der Aufbauten sollten die DEGA-Anforderungen um mindestens 3 dB übertreffen. Alternativ hierzu wurden auch Deckenaufbauten mit Schüttung und Trockenestrichen geplant. Auch die Aufbauten der Loggia- bzw. Galeriegangvarianten unterschieden sich durch unterschiedlich dicke, verklebte Plattenbeschwerungen. Um einen belastbaren, schalltechnischen Datenfundus zu bekommen, auf dessen Basis eine schalltechnische Prognose sicher erfolgen kann, wurde in 2018 der Bau

eines zweigeschossigen Gebäudeausschnitts (Mock-Up) geplant, in dem diese Deckenkonstruktionen verbaut werden sollten. Zusätzlich sollten in diesem Mock-Up die Auswirkung elastischer Entkopplungsschichten unterhalb der Brettsper Holzstützen und von entkoppelten Deckenverbindern geprüft werden. Des Weiteren sollten die Luftschalldämmung der Fassade und die Auswirkung der Glasfassade auf die, auf den Loggien zu erwartenden Luftschallpegel, untersucht werden. Das Mock-Up wurde Anfang 2019 fertiggestellt.

Die Ergebnisse der im März 2019 durchgeführten Luft- und Trittschallmessungen der Wohnungstrenndecken und Loggien sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Variante	L'n,w	L'n,w+C _l	L'n,w+C _{l,50-2500}	R' _w	R' _w +C	R' _w +C _{tr,50-3150}
<u>Decken</u>						
D0 100 Bn	41 dB	40 dB	44 dB	70 dB	69 dB	55 dB
D1 100 Bn	37 dB	37 dB	45 dB	69 dB	66 dB	56 dB
Lager starr	38 dB	39 dB	44 dB	69 dB	67 dB	54 dB
D2 U-Decke	31 dB	33 dB	46 dB	73 dB	70 dB	53 dB
D4 60 Bn	44 dB	44 dB	48 dB	Aus baulichen Gründen war keine Luftschallmessung möglich.		
D6 Litho	41 dB	41 dB	49 dB			
D8 Schütt	43 dB	44 dB	49 dB			
<u>Loggien</u>						
D3 100 Bn	28 dB	29 dB	37 dB			
D5 60 Bn	34 dB	31 dB	40 dB			
D7 0 Bn	40 dB	40 dB	43 dB			

Tab. 3: Luft- und Trittschalldämmung der Decken im Mock-Up (IFAS)

Deckenkonstruktionen die Zielsetzung „3 dB besser als DEGA 103-C“ erfüllt. Erwartungsgemäß wiesen die mit der 100 mm dicken Betonplatten-Beschwerung versehenen Decken die besten Ergebnisse auf. Deren Summen-Trittschallpegel waren mit ≤ 45 dB ausreichend gering, um die für die „HCH-Platin-Auszeichnung“ erforderlichen Bonus-Punkte (siehe im Folgenden) zu generieren. Überraschend war das gute Abschneiden des Loggia-Deckenaufbaus D7 ohne Beschwerung.

Um die horizontale Flankenschallübertragung durch die unterseitig holzsichtigen Deckenelemente zu reduzieren, waren in den Decken des Mock-Ups oberhalb der Wohnungstrennwände 20 mm breite Fugen angeordnet. Die Deckenelemente mussten jedoch aus Gründen der Aussteifung dennoch kraftschlüssig miteinander verbunden werden. Dieser mechanische Spagat sollte durch spezielle Deckenverbinder vollzogen werden (Abb. 18). Es handelte sich dabei um von Elastomerlagern umhüllte 100 x 400 x 60 mm große Stahlwannen, die mit 6 senkrechten Schrauben und mit vier über unter 45° angeschweißten Laschen eingebrachten Schrauben mit den Deckenplatten verbunden waren. Die Entkopplung der Schrauben erfolgte über Silenzio-Unterlegscheiben und Elastomerlager.



Abb. 18: Elastisch entkoppelter Deckenverbinder (Foto: ABP)

Als Variante wurde eine Deckenverbindung geprüft, bei denen das zuvor beschriebene Stahl-Element durch ein Hartholzbrett ersetzt wurde (Abb. 19).

In einer weiteren Variante wurden die Deckenelemente „klassisch“ durch 45°-Diagonalverschraubungen miteinander verbunden.

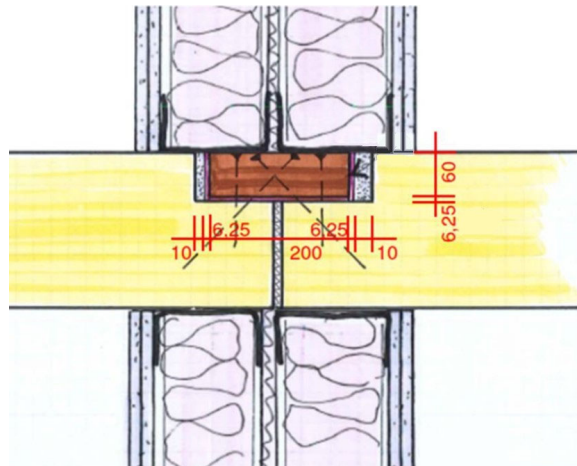


Abb. 19: Hartholz-Deckenverbinder (ABP)

Durch die verschraubte Verbindung konnte eine ausreichend hohe Flankenschalldämmung erzielt werden. Durch die entkoppelte Verbindung wurde nur eine geringfügige Verbesserung erreicht (Tab. 4):

Ausführung des Deckenstoßes	Decke 1	Decke 2
Entkoppelter Decken-Verbinder	$R_{Ff,w} = 76 \text{ dB}$	$R_{Ff,w} = 74 \text{ dB}$
Hartholz-Decken-Verbinder	$R_{Ff,w} = 74 \text{ dB}$	$R_{Ff,w} = 74 \text{ dB}$
Verschraubung	$R_{Ff,w} = 72 \text{ dB}$	$R_{Ff,w} = 72 \text{ dB}$

Tab. 4: Flankenschalldämmung von Deckenverbindungen (IFAS)

Der zusätzliche Einbau von elastischen Lagern unter den mit Gipsfaserplatten-Vorsatzschalen bekleideten Brettsperrholzstützen in Kombination mit elastisch entkoppelten Winkelverbindern hat sich aufgrund der biegeweichen Vorsatzschalen als nicht notwendig herausgestellt. Vergleiche hierzu in Tabelle 3 die Messergebnisse D1 mit entkoppelten und mit starren Lagern.



Abb. 20: Entkoppeltes Stützauflager (IFAS)

Die Luftschalldämmung der nach wärmetechnischen Erfordernissen geplanten Fassade war mit $R'w = 57$ dB erwartungsgemäß hoch.

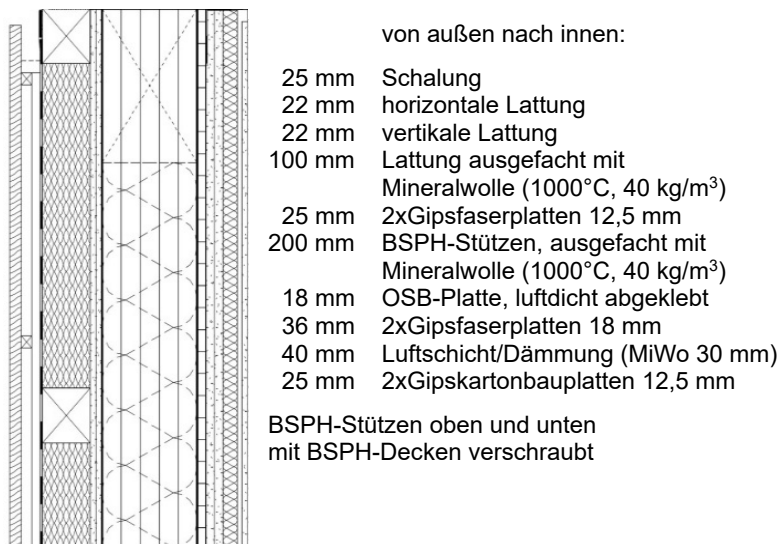


Abb. 21: Außenwandaufbau (SMP)

Die gläserne Haut des Turms begründet sich durch unterschiedliche bauphysikalische und brandschutztechnische Aspekte. Unter anderem sollte dadurch der Schallpegel in den Loggien bei teilgeöffneter Glashaut deutlich reduziert werden, um die Belüftung der dahinter liegenden Räume bei teilgeöffneten Fenstern zu ermöglichen. Deshalb wurden die 1,32 m hohen verschiebblichen Glaselemente oberhalb der 1,06 m hohen Glasbrüstung in unterschiedlicher Weise geöffnet. Im Zuge der Messungen sollte auch die Wirkung von unter der Loggia-Decke angebrachtem Absorptionsmaterial erfasst werden. Folgende Pegelminderungen wurden durch Messungen am Mock-Up ermittelt:

Anordnung der Öffnung	Pegelminderung
Öffnungsbreite 2,40 m (Öffnung gegenüber Loggia versetzt) ohne Basotec an der Loggiadeckenuntersicht mit Basotec an der Loggiadeckenuntersicht	9,4 dB 10,8 dB
Öffnungsbreite 1,50 m (Öffnung mittig vor der Loggia) ohne Basotec an der Loggiadeckenuntersicht mit Basotec an der Loggiadeckenuntersicht	6,5 dB 7,8 dB

Tab. 5: durch die geöffnete Glashaut bewirkte Pegelminderung (IFAS)

Die anhand der Mock-Up-Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse wurden für die weitere Planung und Ausführung der Gebäudegruppe wie folgt umgesetzt:

a) Auf die Verwendung von Entkopplungsstreifen unterhalb der Brettsper Holzstützen und die Befestigung der Stützen mittels entkoppelter Winkelverbinder wurde verzichtet. Der Deckenaufbau wurde durch eine biege weiche Unterdecke ergänzt (siehe Abb. 22)

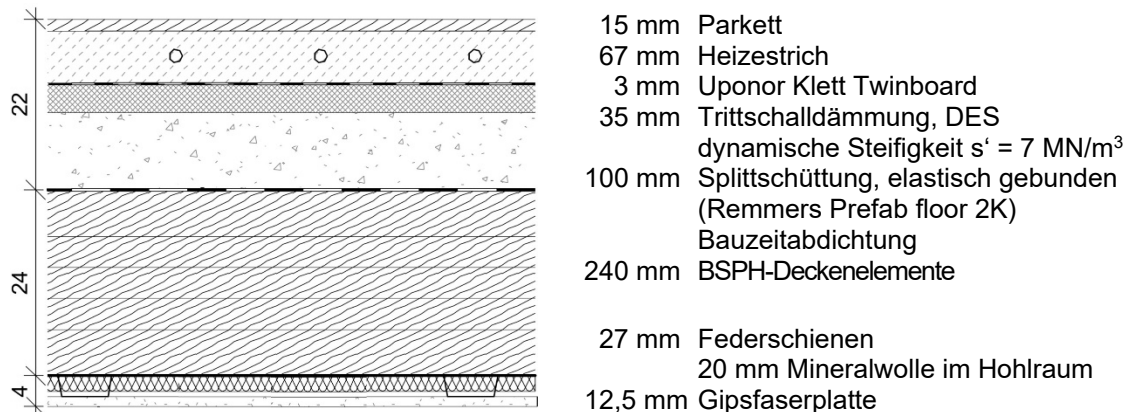


Abb. 22: Realisierter Deckenaufbau (SMP)

b) Trotz der besten Trittschallschutzergebnisse der Decken mit Betonplatten-Beschwerung wurden diese aus Gründen der Vereinfachung bei Transport und Verlegung durch elastisch gebundene Splittschüttungen ersetzt. In diesem Zusammenhang traten im weiteren Bauablauf unerwartete Probleme bei der Verarbeitung auf. Das für die Ausführung vorgesehene Produkt ¹⁹ erwies sich für die Verarbeitung in den höheren Geschossen als ungeeignet, weil sich das Splitt-Bindemittel-Gemisch beim Hochpumpen dorthin entmischte. Nach einer längeren Recherche wurde ein Produkt gefunden und verwendet ²⁰, bei dem Splitt und Bindemittel getrennt in die Geschosse gefördert und dort unmittelbar vor dem Aufbringen auf die BSPH-Deckenplatten gemischt wurden. Dieses Produkt ließ sich einwandfrei bis in die obersten Geschosse verarbeiten.

¹⁹ KÖHNKE GmbH, Uelsen: Splittschüttung System K101/102

²⁰ REMMERS GmbH, Lönigen: Technisches Merkblatt 1131 Bindemittel Prefab Floor 2K; 2023-04

Ein weiteres Praxisproblem entstand dadurch, dass in Teilbereichen aller Wohnungen eine Vielzahl an Rohrleitungen innerhalb der Splittschüttung zu verlegen war, was dazu führte, dass sich in diesen Bereichen die flächenbezogene Masse der Beschwerung deutlich verringerte. Die Befürchtung einer negativen Auswirkung auf den Trittschallschutz der Decken wurde durch Testmessungen im März 2023 entkräftet ²¹. Die durch die Deckenplatte geführten Sprinkler-Rohrleitungen wurden unterhalb der BSPH-Platte durch einen Dichtring abgedichtet.

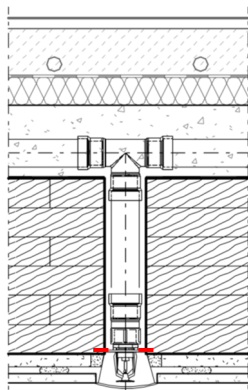


Abb. 23: Sprinklerdurchführung (SMP)

Für die Vergabe des HCH-Umweltzeichens in Platin ist ein Schallschutz gemäß DEGA-Richtlinie 103, Schallschutzklasse C mit 180 Punkten zu erbringen. Bei durch rechnerische Prognose belegter Erfüllung aller Anforderungen ergibt sich für die WSH-Gebäudegruppe gemäß DEGA 103 und Schallschutznachweis ²² eine Punktesumme von 130 Punkten. 20 Punkte werden erreicht durch die Anordnung der Räume im Gebäude. Die fehlenden 30 Punkte können beispielsweise durch messtechnischen Nachweis der Erfüllung der Anforderungen erbracht werden. Im Juli 2024 wurden deshalb letztmalig Testmessungen in drei bereits fertiggestellten Wohnungen des Turmgebäudes durchgeführt.

Bauteil	Wohnung 1.4.5	Wohnung 1.4.8	Wohnung 1.7.5
Decke	$L'_{n,w} = 41 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} = 48 \text{ dB}$ $R'_w = 61 \text{ dB}$ $R'_w+C_{tr,50-3150} = 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 41 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} = 49 \text{ dB}$ $R'_w = 68 \text{ dB}$ $R'_w+C_{tr,50-3150} = 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 43 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} = 50 \text{ dB}$ $R'_w = 71 \text{ dB}$ $R'_w+C_{tr,50-3150} = 50 \text{ dB}$
Loggia	$L'_{n,w} = 32 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} = 38 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 37 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} = 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 34 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} = 42 \text{ dB}$
Treppe	$L'_{n,w} \leq 24 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} \leq 25 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 25 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} \leq 27 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 26 \text{ dB}$ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} \leq 26 \text{ dB}$
Trennwand 1	$R'_w = 68 \text{ dB}$ $R'_w+C_{tr,50-3150} = 37 \text{ dB}$	$R'_w = 62 \text{ dB}$ $R'_w+C_{tr,50-3150} = 40 \text{ dB}$	$R'_w = 62 \text{ dB}$ $R'_w+C_{tr,50-3150} = 34 \text{ dB}$
Trennwand 2	$R'_w = 60 \text{ dB}$	$R'_w = 63 \text{ dB}$	$R'_w = 67 \text{ dB}$

Tab. 6: Messergebnisse des Schallschutzes in drei Wohnungen (IFAS)

Alle überprüften Bauteile übertreffen die Anforderungswerte der DEGA-Empfehlungen.

²¹ Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse: WSH roots Hamburg – Schallmessungen WSH-Testwohnung 2.2.3, Messbericht, Aachen: 2023-03-13

²² Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse: WSH roots Hamburg – Schallschutznachweise, Aachen: 2024-01-17

lung 103, SSK C mehr oder weniger deutlich. Auffällig ist die große Schwankungsbreite der Messwerte, insbesondere bei den bewerteten Schalldämm-Maßen, deren Ursachen noch zu untersuchen wären. Sie sind bei den rechnerischen Nachweisen des Schallschutzes zukünftiger Gebäude in Holzbauweise zu berücksichtigen. Die interne Zielsetzung „ $L'_{n,w}+C_{l,50-2500} \leq 50 \text{ dB}$ “ wurde umgesetzt. Es wird aber deutlich, dass die DEGA-103-C-Anforderungen für $R'_w+C_{tr,50-3150}$ und $L'_{n,w}+C_{l,50-2500}$ im Holz(leicht)bau kaum zu erfüllen sind.

3.6 Bauphysik - KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

3.6.1 Detaillierter Wärmebrückennachweis für Holzknotenpunkte /

Hygrothermische Bauteilsimulation

Besonderheiten der Planung mit Holz in der thermischen Bauphysik

Die Planung in Holzbauweise bietet insbesondere im Hinblick auf die Zielsetzung, nachhaltige, energieeffiziente und behagliche Gebäude zu errichten, eine Vielzahl von Vorteilen. Gleichzeitig werden dadurch besondere Anforderungen an die thermische Bauphysik gestellt. Als organischer Baustoff unterscheidet sich Holz in seinen thermischen Eigenschaften wesentlich von denen mineralischer Baustoffe. Dies erfordert bereits in der frühen Planungsphase eine detaillierte Berücksichtigung von Aspekten wie der Feuchteregulierung, dem Temperaturverhalten, der Luftdichtheit sowie der Ausbildung von Wärmedämmung und damit einhergehenden Wärmebrücken.

Der Baustoff Holz weist im Vergleich zu mineralischen Baustoffen eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf, wodurch die Realisierung von Wandkonstruktionen mit vergleichsweise geringeren Wandstärken ermöglicht wird und insgesamt Wärmeverluste reduziert werden können.

Wand- und Deckenbauteile aus Holz sind in der Regel inhomogene Bauteile, die aus unterschiedlichen Schichten (Holz als Tragebene und Raumabschluss, Dämmung, Luftdichtheitsebene usw.) bestehen. Daher ist es von hoher Relevanz, diese unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften und der konstruktiven Randbedingungen, die sich aus den statischen sowie brand- und schallschutztechnischen Randbedingungen ergeben, aufeinander abzustimmen.

Bei der Planung von Holzbaukonstruktionen sind insbesondere die frühen Planungsphasen von großer Bedeutung. So wurde beim vorliegenden Bauvorhaben bereits in den ersten Leistungsphasen die optimale Kombination aus notwendigen Holzquerschnitten und zusätzlich erforderlicher Dämmung ermittelt. Aus der interdisziplinären Zusammenarbeit mit den verschiedenen Fachdisziplinen wurde exemplarisch für die Außenwandkonstruktion Untersuchungen durchgeführt, aus denen der KfW55 Gebäudestandard als geeignetste Variante hervorging.

Zusammenfassend ist daher aufgrund der besonderen Materialeigenschaften von Holz und der Abhängigkeiten in der Abstimmung zwischen den beteiligten Fachplanern die Planung und Ausführung von Holzbauten mit Herausforderungen für die Disziplin der thermischen Bauphysik verbunden. Im Folgenden wird auf zwei dieser Herausforderungen im Detail eingegangen.

Zum einen ist auf die Vermeidung bzw. Reduzierung von Wärmebrücken zu achten. Anschlüsse und Durchdringungen in Holzkonstruktionen müssen sorgfältig geplant, abgestimmt und ausgeführt werden. Dies bedarf nicht selten eines iterativen Abstimmungsprozesses mit den involvierten Fachplanungen. Im Rahmen der Planung des Gebäudes wurde ein detaillierter

Wärmebrückennachweis ²³ geführt, um den hohen Anforderungen des angestrebten energetischen Standards gerecht zu werden.

Zum anderen ist zwingend auf einen ausreichenden Feuchteschutz zu achten, um eine schädliche Tauwasserbildung im Inneren des Bauteils zu vermeiden. Im Rahmen des vorliegenden Bauvorhabens wurde die Holzfachplanung unterstützt, indem ein exemplarischer Wandaufbau unter Verwendung hygrothermischer Simulationen geprüft wurde.

Wärmebrückenberechnung Wohngebäudeteil

Die Berechnung von Wärmebrücken im Holzbau erfordert besondere Aufmerksamkeit, da Holz als inhomogenes Material unterschiedlich auf Temperaturunterschiede reagiert. Holzrahmenkonstruktionen und deren Anschlüsse bieten potenzielle Wärmebrücken, die sorgfältig untersucht und durch eine detaillierte Planung auf ein Minimum zu reduzieren sind. Die geringe Wärmeleitfähigkeit von Holz trägt dazu bei, die Wärmebrückenwirkung zu begrenzen. Jedoch erfordert die Einbindung von Dämmmaterialien und die sorgfältige Ausführung der Anschlüsse ein besonderes Maß an die Detailplanung. Für hochgedämmte Gebäude ist eine detaillierte Wärmebrückenberechnung entscheidend, um Energieverluste zu minimieren und die thermische Effizienz der gesamten Holzbaukonstruktion sicherzustellen.

Der detaillierte Wärmebrückennachweis erfolgt mittels numerischer Berechnung der einzelnen Wärmebrücken. Dazu werden die entsprechenden Anschlussdetails modelliert und der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt. Die Randbedingungen für die Berechnung sind gemäß des Beiblatts 2 der DIN 4108 ²⁴ anzuwenden.

Für den detaillierten Nachweis wurden alle linienförmigen Wärmebrücken berücksichtigt u. a. Fensteranschlüsse und auskragende Decken. Einzelne punktförmige Wärmebrücken (wie Durchdringungen von Lüftungsrohren) wurden vernachlässigt. In der Berechnung wurden dabei alle für den Wärmetransport relevanten Bauteilschichten erfasst. Schichten, die keine Auswirkung auf den Wärmeverlust haben, wie zum Beispiel Abdichtungen, wurden nicht berücksichtigt.

²³ KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH: Thermische Bauphysik, Wärmebrückennachweis, Hamburg: 2022

²⁴ DIN 4108 Beiblatt 2: „Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele“. Beuth, Berlin: 2019



Abb. 24: Übersicht horizontaler Wärmebrücken im Gebäudeteil Turm (KuK)

In diesem Bauvorhaben stellt der Aufbau der Außenwandkonstruktion in Holzbauart eine Besonderheit dar. Diese besteht aus unregelmäßig breiten Gefach- und massiven Holzrahmenanteilen. Der Rahmenanteil beträgt im Schnitt ca. 50 % (siehe auch Abb. 26). Im Zuge der Wärmebrückenberechnungen wurde daher für sämtliche vertikale Wärmebrücken sowohl ein Nachweis im Gefach- als auch im Rahmenbereich geführt. Für horizontale Anschlusssituationen wurde der berechnete Wärmeverlust auf der sicheren Seite dem Wärmeverlust gegenübergestellt, der sich über den Gefachbereich ergibt.

Für den detaillierten Wärmebrückennachweises wurden insgesamt mehr als 50 Wärmebrücken untersucht und anschließend der sich daraus ermittelte Wärmeverlust auf die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogen. Abbildung 24 zeigt exemplarisch die Verortung horizontaler Wärmebrücken im Gebäudeteil Turm. In Abbildung 25 wird der Wärmebrückenverlustkoeffizient für einen Bauteilanschluss aufgeführt.

Der detaillierte Wärmebrückennachweis ergab einen zusätzlichen Wärmeverlust im Bereich von Wärmebrücken, der unter dem geforderten Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ liegt. Der in der Energiebilanzierung angesetzte Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wurde damit nachgewiesen. Die Detailplanung entspricht somit dem für das Gebäude angestrebten energetischen Standard.

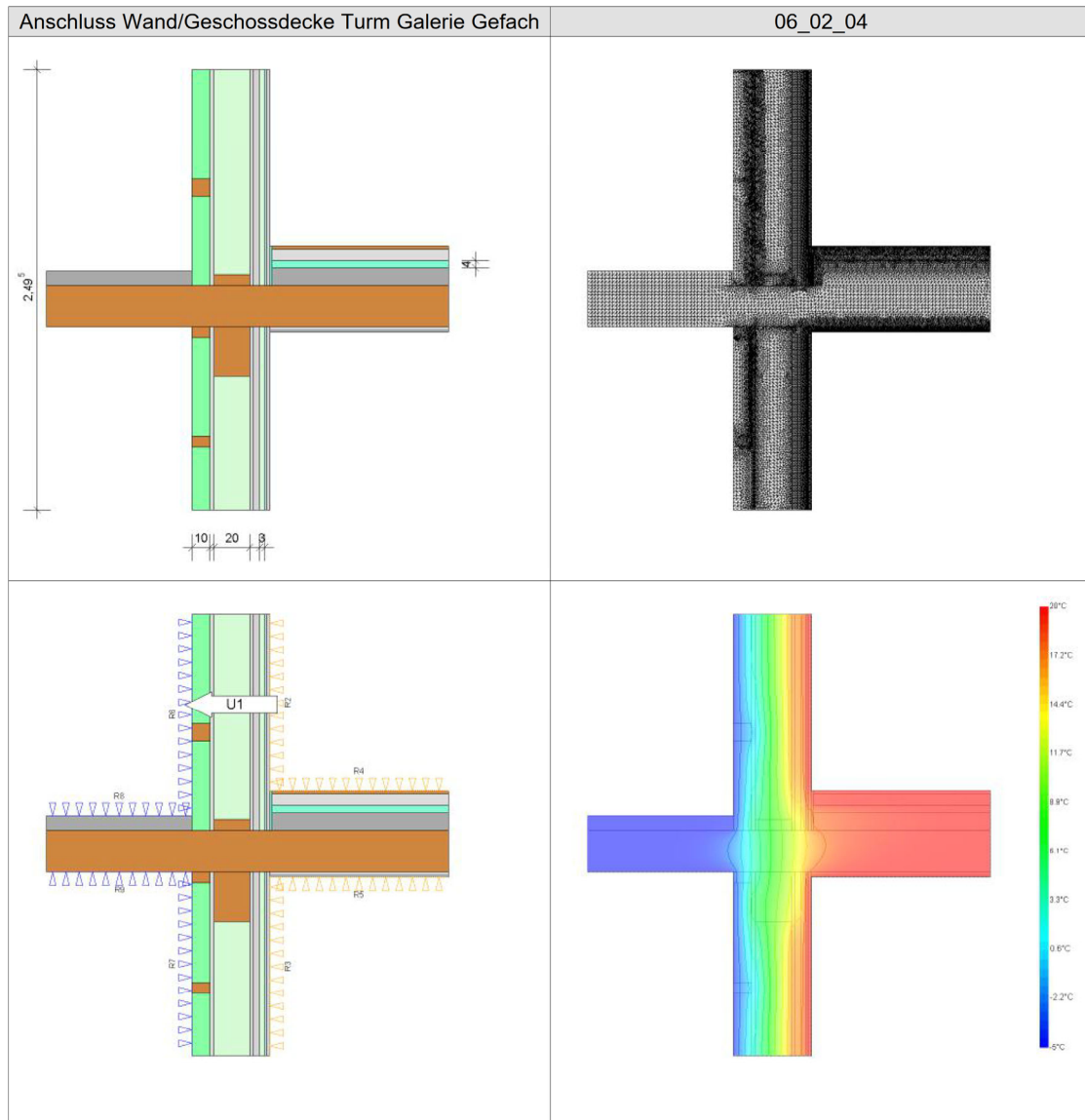


Abb. 25: Ergebnisübersicht Wärmebrücke Anschluss Wand/Geschossdecke Turm (KuK)

Hygrothermische Simulation

Hygrothermische Simulationen nach DIN EN 15026 ²⁵ erlauben eine realitätsnahe Ermittlung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports sowie der Wärme- und Feuchtespeicherung in Bauteilen unter dem Einfluss realer klimatischer Randbedingungen. Dabei werden Einflüsse für den Feuchteschutz von Baukonstruktionen, wie zum Beispiel Einbaufeuchte, Schlagregenbelastung, Wasserleitfähigkeit, farbabhängige Strahlungsabsorption und kapillarer Rücktransport berücksichtigt.

Insbesondere im Holzbau spielen erhöhte Feuchtegehalte eine entscheidende Rolle. Bereits kurzfristiger erhöhter Feuchtegehalt im Bauteil kann zu Holzschäden führen und die Gebrauchstauglichkeit einschränken.

²⁵ DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth, Berlin: 2007-07

Dabei werden in ²⁶ folgende Feuchtwirkungen im Holzbau als maßgebende aufgeführt:

- Feuchtebedingte Erhöhung des Heizenergieverbrauchs
- Schäden durch chemische Reaktionen (z. B. Korrosion)
- Alterung oder Entfestigung durch Quell- und Schwindvorgänge sowie hygrothermische Verformungsprozesse
- Schäden durch mikrobielles Wachstum, z. B. Schimmelpilze, Holzfäule²⁷

Für die o. g. Schadenspotenziale ist u. a. die Anfangsfeuchte von Holzbauteilen zum Zeitpunkt des Einbaus von großer Bedeutung. Selbst bei Verwendung von getrocknetem Holz können während der Bauphase verschiedene Faktoren wie z. B. Niederschlag oder die Baufeuchte anstehender mineralischer Baustoffe die Holzfeuchte erhöhen und somit zu relevanten Schäden führen. In diesem Zusammenhang sind Effekte wie Umkehrdiffusion im Holzbau ebenfalls relevant, da im Vergleich zum Massivbau bereits bei kurzer Belastungsdauer eine zu hohe Feuchtebelastung der Holzbauteile auftreten kann.

Der Feuchteschutz im Holzbau ist daher angemessen zu berücksichtigen, um eine Beeinträchtigung der Lebensdauer der Bauteile zu verhindern und hohe Sanierungskosten zu vermeiden. Ziel der Planung muss ein ausgewogenes Feuchtemanagement mit feuchtetoleranten Konstruktionen sein, die bei begrenztem Feuchteeintrag ein ausreichendes Trocknungspotenzial aufweisen.

Der Wohngebäudeteil des Bauvorhabens roots wurde in Holzbauweise mit Außenwänden als aufgelöste Konstruktion geplant. Mittels hygrothermischer Simulation wurden exemplarische Aufbauten bewertet, um die Gebrauchstauglichkeit der Außenwand hinsichtlich des Feuchteschutzes nachzuweisen. Die Aufgabenstellung umfasste zusätzlich eine Bewertung über die Notwendigkeit einer Hinterlüftung der Außenfassade.

Nachfolgend sind die Grundlagen, Randbedingungen und Simulationsergebnisse für einen beispielhaft untersuchten Bauteilaufbau zusammengefasst.

²⁶ KÜNZEL, H., ZIRKELBACH, D., & KEHL, D.: Feuchteschutz im Holzbau -Hintergründe und aktuelle Regeln der Technik, Bauphysik Kalender, 1-42: 2022

²⁷ KÜNZEL, H., ZIRKELBACH, D., & KEHL, D.: Feuchteschutz im Holzbau -Hintergründe und aktuelle Regeln der Technik, Bauphysik Kalender, 1-42: 2022, S. 9

Die zu bewertende Bauteilkonstruktion wies einen dreiteiligen Wandaufbau gemäß Abb. 26 auf, bestehend aus einer Haupttragebene mit Massivholzanteil, einer äußeren Dämmebene mit Wetterschicht und einer innenseitigen Installationsebene.

Die hygrothermische Simulation wurde nach den Angaben der DIN 4108-3:2018-10 Anhang D ²⁸, sowie der DIN EN 15026 und dem WTA Merkblatt 6-2 ²⁹ mit der Software WUFI Pro durchgeführt.

Dabei wurden definierte Randbedingungen wie u.a. das Außenklima für den spezifischen Gebäudestandort (Feuchtereferenzjahr HRY), das Innenklima, Anfangsbedingungen für Temperatur und Feuchtegehalte im Raum und Bauteil sowie die Schlagregenbeanspruchung berücksichtigt. Es erfolgte sowohl eine Bewertung des Massiv- als auch des Gefachquerschnitts der aufgelösten Außenwand.

Zur Beurteilung der Konstruktion wurden die Jahresverläufe des Wassergehaltes in den einzelnen Schichten sowie die Holzfeuchte herangezogen und nach folgenden Fragestellungen ausgewertet:

- Weist die Konstruktion über den Zeitraum von mehreren Jahren einen eingeschwungenen Zustand hinsichtlich des Feuchtegehalts auf?
- Führt der Feuchtezustand in der Konstruktion zu einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit des Holzbauteils?

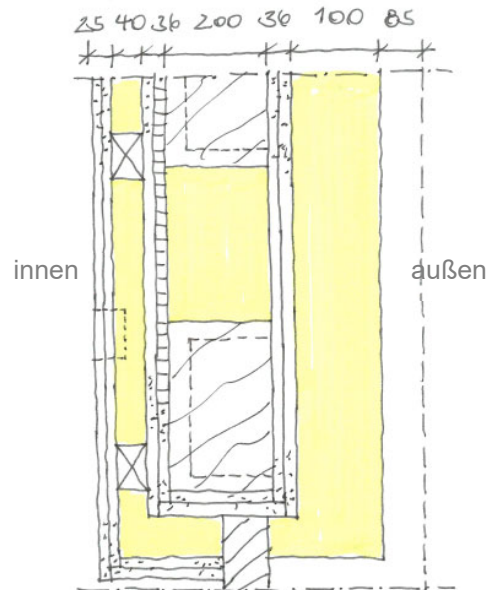
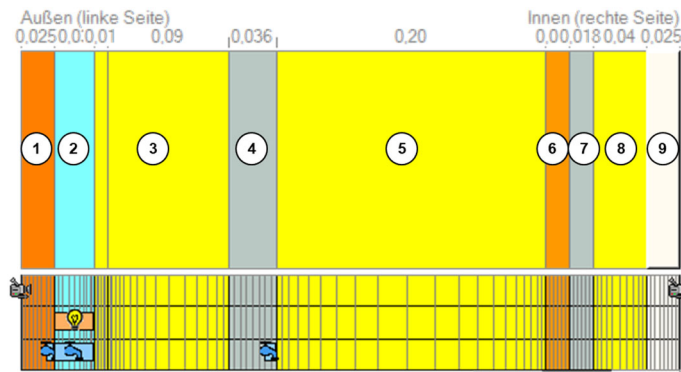


Abb. 26: Skizze Detailschnitt Außenwandaufbau (SMP, 2018)

²⁸ DIN 4108-3:2018-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Beuth, Berlin: 2018

²⁹ WTA-Merkblatt 6-2: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse, Wissenschaftlich Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege [Hrsg.] IRB Verlag: 2014



Wandaufbau von außen nach innen:

- + 25 mm Holzfassade Weichholz mit 1% Schlagregenpenetration
- + 30 mm Luftraum mit $n = 5 \text{ h}^{-1}$
- + 100 mm Mineralwolle WLS 032
- + 2 x 18 mm Gipsfaserplatte
- + 200 mm Mineralwolle WLS 035
- + 18 mm OSB/3-Platte
- + 18 mm Gipsfaserplatte
- + 40 mm Mineralwolle WLS 035
- + 2 x 12,5 mm Gipskartonplatte

Abb. 27: Simulationsmodell für den Regelquerschnitt des Gefachquerschnitts (KuK)

Die Auswertung wurde für folgende drei maßgebende Kriterien durchgeführt (Abb. 27):

- Gesamtwassergehalt [kg/m^3]
- Holzfeuchte in der Holzfassade [M-%]
- Feuchtegehalt in der äußeren Dämmung [kg/m^3]

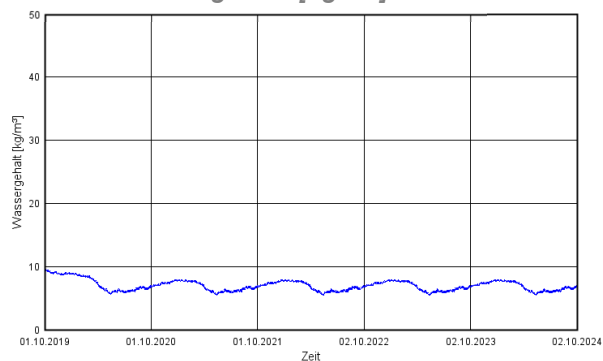
Die Simulation ergab hinsichtlich des Gesamtwassergehaltes keine Feuchteakkumulation.

Die Holzfeuchte in der Holzfassade erreicht einen Wert von maximal 20,4 % im eingeschwungenen Zustand, welcher sich für die Konstruktion nach ca. 3 Jahren einstellt. Die kritische Holzfeuchte von 20 M-% wird dabei nur kurzfristig in einem unkritischen Maß überschritten.

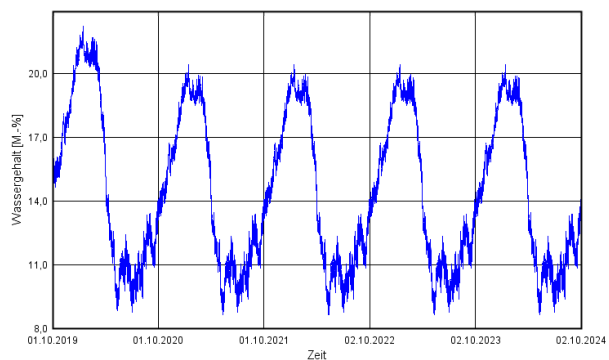
Der Feuchtegehalt Dämmung überschreitet den Wert der freien Sättigung von 20 kg/m^3 zu keinem Zeitpunkt.

Die Konstruktion konnte in den drei maßgebenden Kriterien als bauphysikalisch unkritisch bewertet werden.

Gesamtwassergehalt [kg/m^3]



Holzfeuchte [M-%] in der Holzfassade



Feuchtegehalt in der äußeren Dämmung

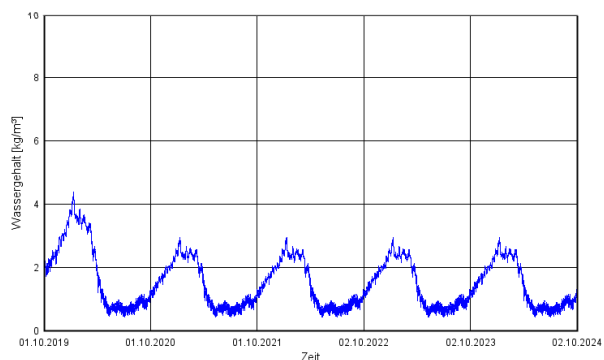


Abb. 28: Simulationsergebnisse Gefachquerschnitt (KuK)

Die Hygrothermische Simulation des Außenwandaufbaus zeigt, dass eine Hinterlüftung der Außenwandbekleidung über zusätzliche Belüftungsöffnungen nicht erforderlich ist. Die Befestigung der Holzfassade konnte daher mit einer 3 cm Horizontallattung ohne Belüftungsöffnung ausgeführt werden.

Voraussetzung hierfür war die Definition/Festlegung eines dauerhaft wirksamen Wetterschutzes durch eine kleinformartige Außenwandbekleidung (z. B. Bretter, Schindel, Schiefer) auf einer Unterkonstruktion mit dahinter liegender, Wasser ableitender Schicht gemäß den Vorgaben der DIN 68800-2 ³⁰.

³⁰ DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth, Berlin: 2012

3.7 Beratung Umwelt- u. Nachhaltigkeitsaspekte

3.7.1 Erstellen einer Ökobilanz

Ziel

- Angabe zur Einsparung der CO₂-Emissionen in Prozent und Tonnen

Methode

- Ökobilanzierung mit der Software CAALA
- Annahme Nutzungsdauer: 50 Jahre
- Vergleich zweier Bauweisen:
 - Holzhybrid (Ist)
 - Stahlbeton

Aufbau

- sämtliche Holzbauteile werden in der gerechneten Vergleichsvariante im Bereich des EG-OG2 (Turm) und im Riegel durch Stahlbetonkonstruktionen ersetzt

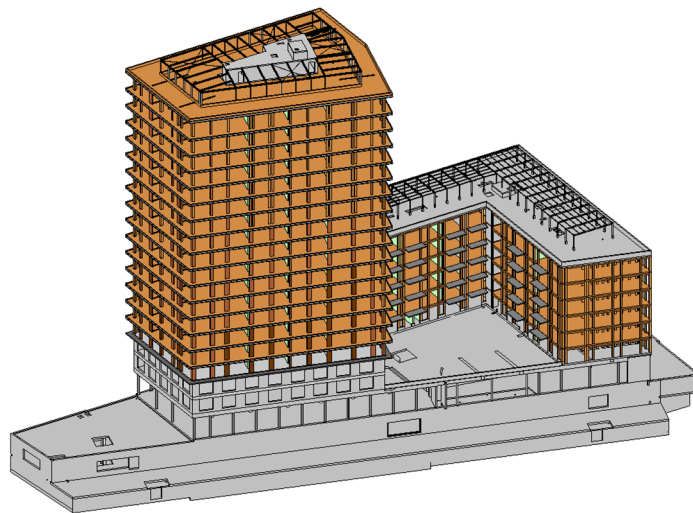


Abb. 29: Tragwerksmodell (ABP)

Ergebnisse der Lebenszyklusmodule A1-A3, B4, C3+C4

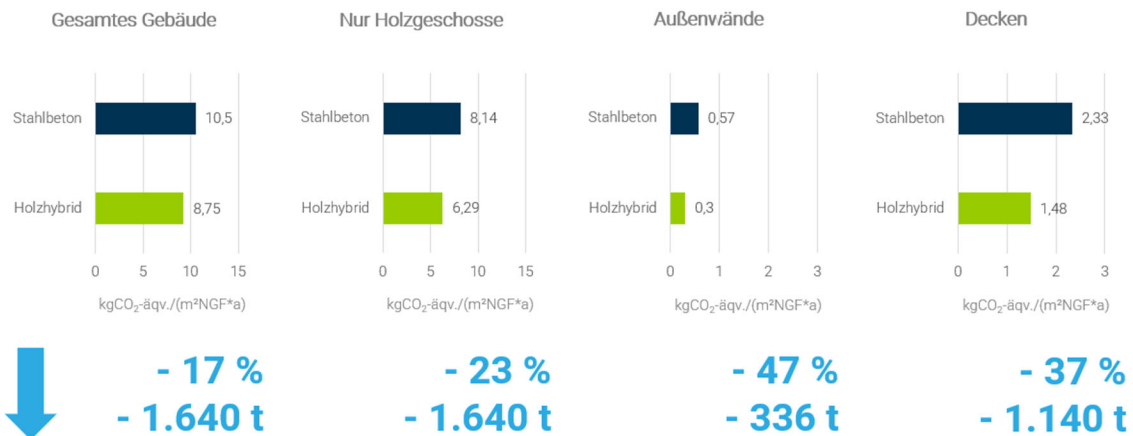


Abb. 30: Ergebnisse der Lebenszyklusmodelle (GIP)

Ergebnisse der Lebenszyklusmodule A1-A3, B4, C3+C4, einschl. D

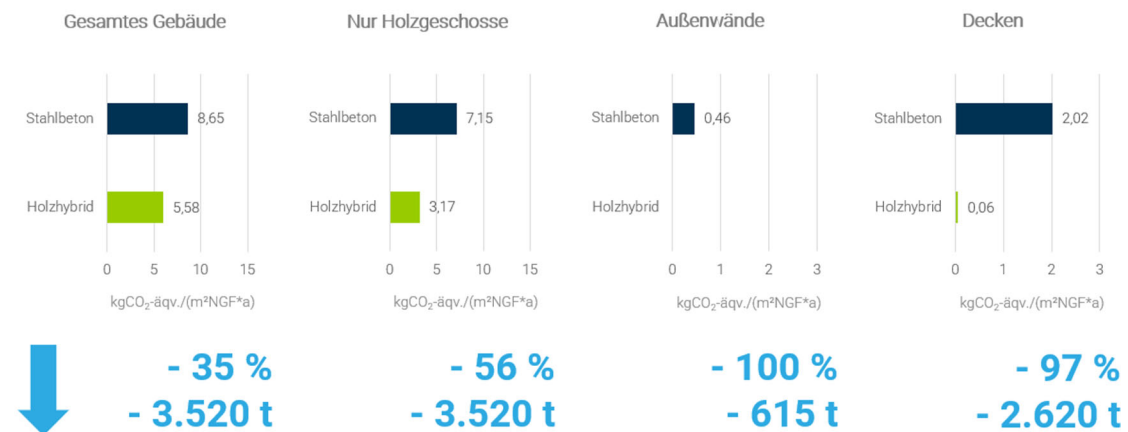


Abb. 31: Ergebnisse der Lebenszyklusmodelle 2 (GIP)

Bewertung

- Kritik an der aktuellen Berechnungsmethode
 - o Projektübergreifend keine einheitliche Anwendung des Moduls D in der Berechnung
 - o die Annahme der thermischen Verwertung des Holzes im Modul D führt zu positiveren Werten im Bereich der Treibhausemissionen
- Berechnung ohne D
 - o Differenz zwischen den Baukonstruktionen nicht so hoch wie erwartet

- auch mit der Holzhybridbauweise bedarf einen Großteil Stahlbeton, da lokale Gegebenheiten u.a. eine aufwendige Gründung und ein Warftgeschoss erfordern.
- nach einer neuen Schweizer Berechnung ist die CO₂-Einsparung bei der Verwendung von Holz gegenüber Stahlbeton in der Ökobilanz besser ³¹
- Berechnung mit D
 - rechnerisch starke Einsparung vor allem im Bereich der Decken und Außenwände

Das roots soll in 50 Jahren nicht verbrannt, sondern deutlich länger genutzt werden. Sollte am Ende der Nutzungsdauer der Rückbau erfolgen, werden die verbauten Materialien, vor allem das Holz, wieder- und weiterverwendet. Auf Grund der Größe der verbauten Holzelemente können sie in neuen Projekten wieder eingesetzt werden. Nachnutzung ist nachhaltiger als Verwertung.

³¹ Schweizerische Eidgenossenschaft: KBOB Ökobilanzdaten, Schweiz: 2024, (www.kbob.admin.ch)

3.8 Beratendes / ausführendes Unternehmen

3.8.1 Prozessuale u. holzbau-technische Beratung

Siehe auch Kapitel 3.1.1 & 3.3.1 (Anpassung des Planungsprozesses bei Holzbauweise von Architektur & Tragwerksplanung).

Die holzbautechnische Beratung bereits in frühen Planungsphasen (ab LP1 Grundlagenermittlung (HOAI)) stellt eine wichtige Grundlage für eine effektive & effiziente Werkstatt- & Montageplanung der Holzbaufirma sowie die darauffolgende Bauphase dar und verhindert für das Planungsteam und den/die BauherrIn Mehrkosten durch eine späte Anpassung der Planung an die Anforderungen aus dem Holzbau.

Durch die frühzeitige Implementierung von holzbauspezifischem Fachwissen, insbesondere in Hinblick auf Vorelementierung und Montage, lassen sich die Vorteile des Bauens mit Holz, wie eine kurze Bauzeit und ein hoher Vorfertigungsgrad bestmöglich nutzen.

Die in Leanwood (siehe Abb. 3: Projektverlauf mit Holzbaukompetenz im Planungsteam) beschriebene Einbeziehung eines Holzbauingenieurs anstelle der ausführenden Holzbaufirma, erscheint aus wirtschaftlichen Gründen zwar sinnvoll, die holzbauspezifische Planung soll dadurch so generalistisch wie möglich gehalten werden, um Angebote verschiedener Holzbauer einholen zu können, scheitert aber in der Praxis oft an den je Firma sehr individuellen Produktionsbedingungen und deren darauf stark abgestimmter Planung. Eine im Vergleich zum „konventionellen“ Bauen mit Stahl und Beton niedrige Normierungsrate im Bereich des Holzbaus verstärkt diesen Effekt zusätzlich.

Nach einem langwierigen Vergabeprozess (siehe auch Kapitel 3.9.2 (besondere Aufwendungen zur Findung eines Vergabemodells)) konnte die ausführende Firma erst zu Ende der LPH 5 (Ausführungsplanung (HOAI)) vertraglich gebunden werden. Dies hatte zur Folge, dass die Vorteile einer frühzeitigen Planungsintegration nicht vollumfänglich genutzt werden konnten.

Die bereits zu früheren Zeitpunkten am Projekt beteiligten Holzbaufirmen, mit denen kein Vertragsabschluss zustande kam, lieferten zwar alle einen inhaltlichen Beitrag zur Lösung planerischer Themen, die gewünschten Synergieeffekte konnten allerdings aufgrund der oftmals sehr spezifischen Planungsanforderungen (s.o.) nur bedingt genutzt werden.

Zukünftig wird angestrebt entweder mit dem Ansatz einer generalistischen Planung unter Einbeziehung eines Holzbauingenieurs oder wahlweise mittels Bindung einer Holzbaufirma via Partneringsystem (verschiedene Möglichkeiten der Vertragsgestaltung, alle mit dem Ziel einer fairen Risikoaufteilung bei Baukostensteigerungen) die notwendige Kompetenz bereits zu frühen Projektstadien zu integrieren.

3.8.2 BIM-Koordination für 5-D Planung

Aufgrund der Vielzahl an planerischen und bautechnischen Herausforderungen bei der Erstellung eines Holzhochausprojektes wurde die Anwendung einer klassischen 5-D-Planung (siehe Abb. 32) mit Integration von Zeit- & Kostenparametern in ein 3-D-Model nur in reduzierter Form, umgangssprachlich nach eigener Definition „BIM-light“ genannt, umgesetzt.

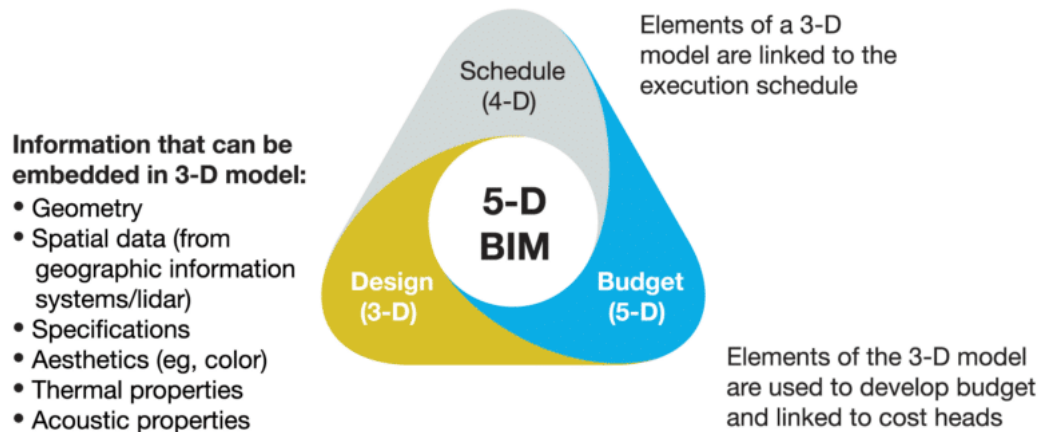


Abb. 32: 5-D-Planung (McKinsey & Company: <https://www.letsbuild.com/blog/5d-bim-in-construction>)

Hierbei wurde durch die Fachplaner nicht an einem Model, sondern an insgesamt 3 (Architektur, Tragwerksplanung, TGA-Planung), zählt man die ausführende Holzbaufirma dazu an 4 Modellen parallel gearbeitet. Bis auf die ausführende Firma wurde vertraglich die Nutzung der gleichen Software mit den Fachplanern vereinbart.

Durch die Architektur erfolgte, in der Rolle einer „BIM-light“-Koordination, eine in regelmäßigen Abständen durchgeführte Kollisionsprüfung. Die Ausführende Holzbaufirma erstellte aus dem Architektur- sowie dem Tragwerksmodell Ihr eigenes auf die Produktionsanforderungen abgestimmtes Model.

Der/die BauherrIn übernahm quo Ihrer Rolle die Zeit und Kostenplanung als 4 und 5 Säule der 5-D-Planung. Eine Verknüpfung zum 3-D-Model erfolgte aus den zu Anfang beschriebenen Gründen nicht, bzw. nur bauteilbezogen, exemplarisch.

Für Projekte dieser Komplexität wäre zukünftig als erster Schritt die redundante Arbeit aller Fachplaner an einem cloudbasierten Model als Ziel zu nennen. Die weitere Integration von Zeit- & Kostenparametern scheint auf den ersten Blick zwar sinnvoll, sollte aber mit weniger komplexen Projekten oder mit einem eingespielten Planerteam in eine Umsetzungsphase gehen, andernfalls besteht das Risiko einen nennenswerten Anteil an Zeit in die Erstellung, Koordination und Umsetzung von zugehörigen Prozessen und weniger in die tatsächliche Planung zu investieren.

3.9 BauherrIn

3.9.1 Erhöhter Aufwand / Präsenz Bauleitung u. Qualitätsüberwachung Holzbau

Für die gesamte Bauzeit von ca. 4 Jahren wurde im Durchschnitt eine halbe Stelle für Bauleitung / Qualitätsüberwachung ausschließlich für den Bereich Holzbau samt aller zugehörigen Schnittstellen besetzt, was einem, verglichen mit „konventionellen“ bauen, hohen Zeiteinsatz für ein Rohbaugewerk darstellt. Ursächlich hierfür ist wiederum die Besonderheit des Projektes als einzigartiger Sonderbau, mit geringer Normungsgrundlage, zu nennen.

Neben der standardmäßigen Überprüfung der vertraglichen Hauptleistungen, standen insbesondere folgende Bereiche im Fokus:

- Abstimmung Bauablauf Massivbau/Holzbau, aber auch die Schnittstellen zu anderen Schlüsselgewerken wie Dachdecker, Fassadenbau, TGA-Gewerken etc.
 - Die Abstimmung erfolgte vor Baubeginn, über regelmäßig stattfindende Besprechungstermine mit allen Beteiligten
- Abstimmung und Überwachung des Brandschutzkonzeptes für die Bauphase

Da das Gebäude als Hochhaus und zu einem wesentlichen Teil in Holzbauweise errichtet wurde, mussten die Schutzziele der Begrenzung der Brandausbreitung, wirksamer Löscharbeiten und der Personenrettung auch in der Bauphase und damit vor Fertigstellung und Inbetriebnahme der sicherheitstechnisch relevanten Anlagen nachgewiesen werden.

- Die Abstimmung des Brandschutzkonzeptes erfolgte vor Baubeginn zusammen mit dem Brandschutz (unter Einbeziehung der Feuerwehr und der Stadt Hamburg)
 - Während der Bauphase erfolgte eine engmaschige Überwachung sowohl seitens Bauleitung als auch seitens Brandschutzes sowie durch die Feuerwehr Hamburg
- Abstimmung und Überwachung Witterungsschutzkonzept

Um einer langfristig unzulässig hohen Auffeuchtung von Holzbauteilen und somit schlechtesten Falls einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit während der Bauphase entgegenzuwirken wurde ein Witterungsschutzkonzept erarbeitet und umgesetzt. Unter Witterungsschutz wird der Schutz eines Bauteils oder Bauwerks vor Niederschlägen während der Bauphase verstanden. Er soll für den Zeitraum, in dem das Bauteil/Bauwerk der Witterung während der Bauphase ausgesetzt ist, ausreichend Schutz bieten.

- Die Abstimmung des Witterungsschutzkonzeptes erfolgte vor Baubeginn zusammen mit den betroffenen Gewerken

- Während der Bauphase erfolgte eine engmaschige Überwachung seitens Bauleitung

3.9.2 Besondere Aufwendungen zur Findung eines Vergabemodells

Bereits zu Projektbeginn war erklärtes Ziel von BauherrIn und Planungsteam, mit Bezug auf leanwood (siehe Abb. 3: Projektverlauf mit Holzbaukompetenz im Planungsteam), eine Holzbaukompetenz bereits in frühen Planungsphasen, bestenfalls von Beginn an, in den Prozess zu integrieren. Seitens BauherrIn wurde hierfür eine in Holzbauplanung & -ausführung ausgebildete Person als Projekt- & Bauleitung ins Projektteam aufgenommen. Eine ausführende Holzbaufirma wurde ebenfalls von Beginn, exklusiv, beratend und als möglicher Ausführungspartner hinzugezogen.

Da über das vorgelegte Angebot der auszuführenden Firma, nach Abschluss der Leistungsphase 3 (HOAI), keine Einigung erzielt werden konnte, entschied sich der/die BauherrIn mit dem vorliegenden Planungsstand eine Abfrage des Marktes durchzuführen.

Es wurden eine Vorauswahl von 5 Firmen getroffen und mit allen Workshops, unter Beteiligung der Fachplaner, über mögliche Optimierungsmöglichkeiten, durchgeführt. Nach Abgabe der Angebote und anschließenden Verhandlungen wurde die Optimierungsphase exklusiv mit einer Firma fortgeführt.

Da über das vorgelegte Angebot der auszuführenden Firma, nach Abschluss der Optimierungsphase, wiederholt, keine Einigung erzielt werden konnte, entschied sich der/die BauherrIn mit zwei weiteren an der vorherigen Angebotsphase beteiligten Firmen in Verhandlung zu treten und schlussendlich auch einen Auftrag an den finalen Partner auszusprechen.

Dieser sicherlich auch für ein Sonderprojekt wie dem roots außergewöhnliche lange Vergabeprozess, war zum einen, dem sehr kleinen Kreis an Firmen geschuldet, welche über die technische Expertise sowie die notwendigen Produktionskapazitäten für ein Projekt dieser Größe verfügen, als auch den äußeren Umständen im Projektzeitraum wie der Coronapandemie und den stark gestiegenen Baukosten während der Vergabephase.

Trotz der äußeren Umstände und der zum Vertragsschluss bereits in der Fertigstellung befindlichen Ausführungsplanung (LPH 5 HOAI), welche nun nochmals auf die ausführende Holzbaufirma optimiert werden musste, konnte das Projekt insbesondere aus technischer Sicht erfolgreich abgeschlossen werden.

Die angestrebte und auch gemäß leanwood empfohlene, frühe Bindung einer ausführenden Firma, stellt zwar in der Theorie den richtigen Ansatz dar, scheitert in der Praxis jedoch häufig an der mangelnden Bereitschaft der Beteiligten sich zu einem sehr frühen Zeitpunkt über Kosten zu einigen.

Eine Möglichkeit wäre es mittels vertraglicher Gestaltung, ggf. entstehende Mehrkosten unter den Parteien aufzuteilen, um die Kostenunsicherheiten auf mehrere Akteure zu verteilen (siehe auch Kap. 3.8.1).

3.9.3 Komplexität Prüfstatik / Mehrkosten Tandemlösung (zwei Prüfer)

Aufgrund dessen, dass es sich bei dem Projekt roots um einen nicht geregelten Sonderbau handelt, bei dem das Hochhaus < 60 m (Höhe oberste Geschossdecke) abweichend zur Hamburger Bauordnung mit brennbarem Tragwerk (aufgelöste Massivholzbauweise) ausgeführt wird, musste zur Einhaltung der baurechtlichen Anforderungen die Umsetzung der erforderlichen Tragfähigkeit sowie der Raumabschluss und die Behinderung der Rauchweiterleitung gesondert nachgewiesen und abgenommen werden.

Eine Teilvorfertigung von Bauteilen im Werk und der anschließenden Fertigstellung auf der Baustelle, wie sie beim Projekt roots zum Einsatz kam, konnte im Projektzeitraum nicht mittels Verwendbarkeitsnachweisen abgebildet werden. Für Bauarten wird vorausgesetzt, dass die Baukonstruktionen komplett im Werk gefertigt werden.

Aus diesem Grund wurde seitens des Brandschutzes ein Überwachungskonzept erarbeitet, welches mit der Prüfstatik und der Bauherr/In abgestimmt und in der Planungs-, Produktions- und Bauphase umgesetzt wurde.

Nachweisverfahren

Tragkonstruktion aus Holz:

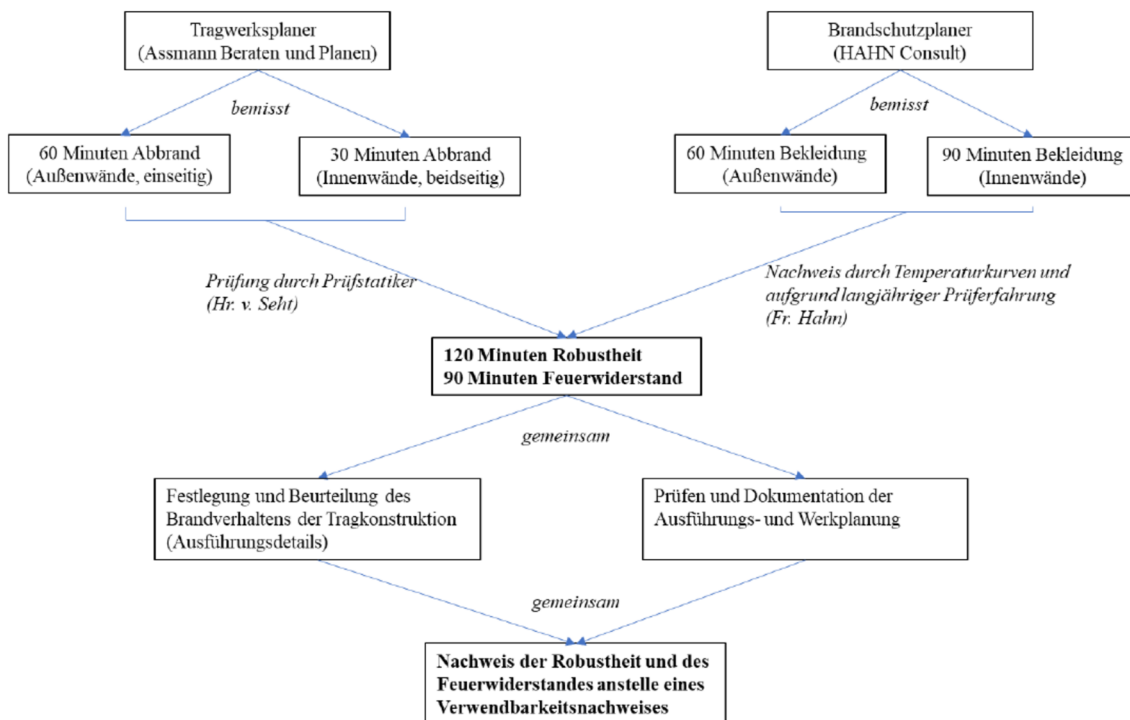


Abb. 33: Diagramm zum Ablauf des Nachweises der Robustheit und des Feuerwiderstandes (HAC: Überwachungskonzept, 2020)

Raumabschließende Bauteile:

Die Prüfung & Dokumentation bzgl. Raumabschluss der Regeldetails erfolgte durch den Brandschutz.

Abnahme

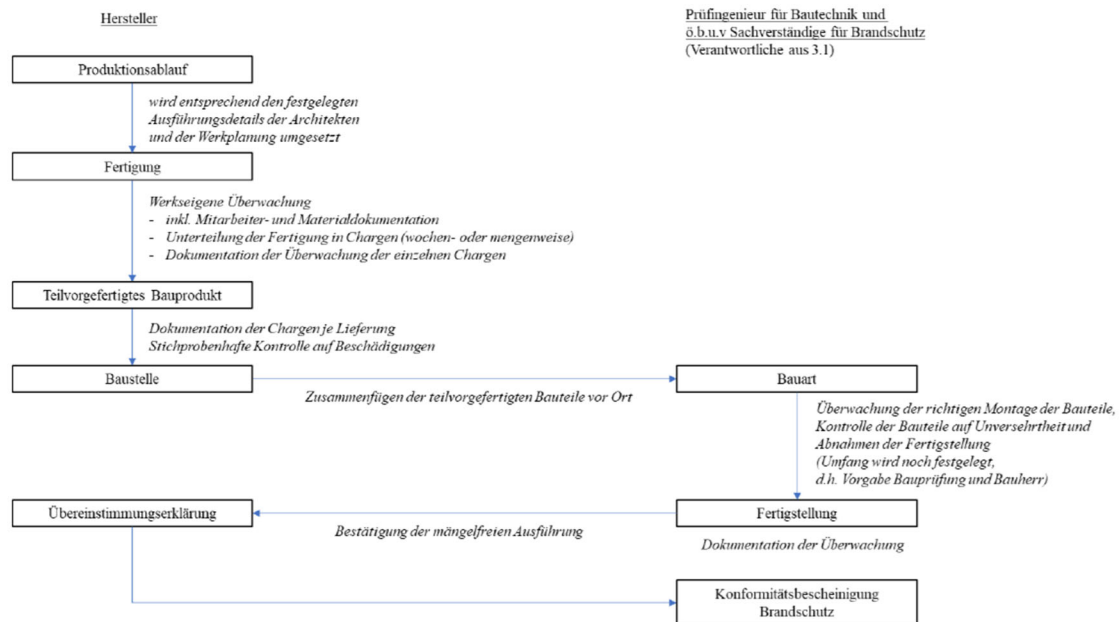


Abb. 34: Diagramm zur Überwachung der Herstellung und Bauausführung (HAC: Überwachungskonzept, 2020)

Die Überwachung setzt sich aus zwei Teilen zusammen, zum einen die Überwachung der Vorfertigung im Werk, zum anderen die Überwachung auf der Baustelle.

Auf Grundlage der festgelegten Konstruktionen, der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Überwachung im Werk und auf der Baustelle durch Prüfstatik und Brandschutz erstellt die herstellende Firma die baurechtlich geforderten Übereinstimmungserklärungen.

Anschließend wurde basierend auf den festgelegten Konstruktionen, der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Überwachung im Werk und auf der Baustelle sowie der Dokumentation und der Übereinstimmungserklärungen der Hersteller, unter Voraussetzung der Mängelfreiheit, seitens Prüfingenieur ein Prüfbericht und seitens Brandschutzplanung eine Konformitätsbescheinigung zum Brandschutz ausgestellt.

4. Fazit

4.1 Architektur - Störmer Murphy and Partners GbR

Die frühe Einbindung einer Holzbaukompetenz in den Planungsprozess scheint unabdingbar für den Erfolg eines großvolumigen Holzbauprojektes wie dem roots. Aufgrund der dargestellten Erfahrung der Abhängigkeit von Planung und der vertraglichen Bindung einer Holzbaufirma scheint die Holzbauplanung durch einen Holzbauingenieur zielführender zu sein. Sollte jedoch kein Holzbauingenieur diese Kompetenz übernehmen, sondern diese durch ausführende Firmen erbracht werden, ist es für die Wirtschaftlichkeit der Planung wesentlich, die Details nicht bereits zu tief mit prozesseigenen Inhalten der ausführenden Firma anzureichern, sondern marktoffen zu planen, um hier Wiederholungen der Planungsleistungen zu vermeiden. Das Ausbalancieren der richtigen Detailtiefe der Holzbaudetails stellt eine der wesentlichen Herausforderung im Planungsprozess dar.

Weiterhin führte die Abwägung verschiedenster Belange im Planungsprozess zu einer erheblichen Modifikation von Bauteilaufbauten. Die Prämisse, nur so viel Holz einzusetzen, wie statisch erforderlich, sowie Anforderungen aus dem Schallschutz, der TGA und seitens des Vertriebes führte z.B. zur Umplanung der ursprünglich geplanten Wandaufbauten und weg von deren monolithischem, schichtarmen Aufbau. Grundsätzlich sollten Entscheidungen über Themen, wie die Holzständigkeit im Wohnraum, so früh wie möglich gefällt werden, da diese erheblichen Auswirkungen auf die Bauteilaufbauten und unterschiedlichen fachspezifischen Belange haben können. Der lange Planungsprozess bedingte, auch aufgrund fortschreitender Erfahrungen im Holzbau sowie Novellierungen in der Gesetzgebung, eine zwischenzeitlich Abweichende Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit, insbesondere brandschutztechnischer Art, seitens Behörden und Feuerwehr. So wäre es aus heutiger Sicht der Feuerwehr bei dem gebauten Stand, unter Umständen denkbar, in künftigen vergleichbaren Bauvorhaben auf die Sprinkleranlage in den Wohnungen zu verzichten.

4.2 TGA-Planung

Sowohl die Anpassung des Planungsprozesses als auch die Detailentwicklung im Holzbau erfolgten seitens des TGA-Planers zu großen Teilen nach ähnlichen Grundprinzipien wie bei Architektur & Tragwerksplanung und lassen ein ähnliches Fazit zu (siehe auch Kapitel 4.1 & 4.3).

Neben der Abstimmung der Befestigungskonstruktionen im Holzbau stand insbesondere die Schlitz- und Durchbruchplanung sowie die Planung der Anlagentechnik (Feuerlöschsysteme (auch für die Bauphase), Notstromtechnik, etc.) im Fokus. Besonders hervorzuheben ist die Planung der Sprinklertechnik, welche aufgrund fehlender normativer Grundlagen, in einem

zusätzlichen Iterationsprozess mit Feuerwehr, Behörden, Fachplanern und Bauherr/In abgestimmt werden musste.

Die Wahl eines holzbauerfahrenen TGA-Planungsbüros ist neben der von Architektur, Tragwerks und Brandschutzplanung als fundamentaler Pfeiler einer funktionierenden Holzbauplanung zu sehen.

4.3 Tragwerksplanung - Assmann Beraten + Planen GmbH

Die Planung des Holzhochhauses roots erforderte eine spezifische Herangehensweise, um die besonderen Herausforderungen von Holzbau, Vorfertigung und Hochhausbau zu bewältigen. Aufgrund fehlender Standards und begrenzter Erfahrung der Beteiligten war ein integraler Planungsprozess essenziell. Wichtige Aspekte waren Schall- und Brandschutz, Witterungsschutz, Nachhaltigkeitsanforderungen sowie wirtschaftliche Faktoren.

Ein strukturierter Ansatz half, frühzeitig Entscheidungen zu Bauteilen und Details zu treffen, um Nachjustierungen zu minimieren. Eine Bauteilmatrix wurde erstellt, um alle Anforderungen zu dokumentieren und eine robuste Vorzugsvariante zu identifizieren. Der enge Austausch mit einem Holzbauunternehmen verhinderte spätere Systemänderungen und sicherte eine durchgängige Planung.

Detaillösungen umfassten eine radiale Deckenspannrichtung, den Ausschluss der Ballonbauweise, die Kombination aus Brettsperrholz und Brettschichtholz sowie optimierte Verbindungsmittel. Schallschutztests bestätigten, dass auf Elastomerlager verzichtet werden konnte. Der konstruktive Brandschutz erforderte individuelle Genehmigungen, während Robustheitsmaßnahmen durch Erhöhung des Feuerwiderstands umgesetzt wurden.

Workshops mit dem Holzbauunternehmen begleiteten die Ausführung, berücksichtigten logistische Anforderungen und überprüften statische Aspekte. Der Mock-Up-Test sicherte die Schallschutzanforderungen ab. Letztendlich zeigte das Projekt roots, dass eine frühzeitige, enge Zusammenarbeit aller Planungsbeteiligten entscheidend für den Erfolg eines Holzhochhauses ist.

4.4 Brandschutz - HAHN Consult Ingenieurgesellschaft für Tragwerksplanung und Baulichen Brandschutz mbH

Rückblickend kann festgestellt werden, dass mit den beschriebenen Maßnahmen wie,

- Erhöhung des Feuerwiderstandes des Tragwerks auf insgesamt 120 Minuten (statt 90)
- Redundanzen in den tragenden Bauteilen für den außergewöhnlichen Lastfall Brand

- Redundanzen in der Sprinkleranlagentechnik (Löschwasserbehälter, Pumpen, Steigleitungen)
- Erhöhung der Kapazitäten der Wandhydranten
- Fassadensprinklerung
- Brandschutzkonzept für die Bauphase

unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, das Optimum im Zusammenspiel des anlagentechnischen, baulichen und organisatorischen Brandschutzes gefunden wurde.

Die einzelnen Maßnahmen stellen jeweils in der Einzelbetrachtung bereits geeignete Kompensationen dar. Grundlegend werden sie in einem Parallelansatz betrieben, sodass sie, in der ganzheitlichen Betrachtung, eine deutliche Verbesserung des Sicherheitsniveaus darstellen. So ist beispielsweise das Tragwerk für eine Belastung im Vollbrand ausgelegt, während gleichzeitig die Sprinklerung mit erhöhter Ausfallsicherheit ausgeführt ist, sodass ein Vollbrand eine reduzierte Wahrscheinlichkeit aufweist.

4.5 Schallschutz - IFAS Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse

PartGes Prof. Pohlenz + Partner Ingenieure und Bauphysiker

Beratende Ingenieure für Bauphysik

Eine der Zielsetzungen der Gebäudeplanung war die Schaffung der Voraussetzungen für die Auszeichnung des Projektes mit dem Umweltzeichen gemäß HCH 3.0 in „Platin“. In Bezug auf den Schallschutz bedeutete dies, dass die Vorgaben der Schallschutzklasse C der DEGA-Richtlinie 103 mit mindestens 180 Punkten zu erfüllen und damit die bauordnungsrechtlichen Anforderungen an den Schallschutz gemäß DIN 4109-1 und auch den in Deutschland üblichen Schallschutz im Wohnungsbau deutlich zu übertreffen. Eine weitere schalltechnische Zielsetzung war es, Störungen durch tieffrequente Trittschallübertragung, wie sie von Deckenkonstruktionen in Holzbauweise bekannt waren, weitgehend zu verringern.

Um den zum Zeitpunkt der Grundlagenermittlung geringen Datenfundus zu erweitern, wurde ein 1:1-Gebäudeausschnitt (Mock-Up) errichtet, in dem durch Schallmessungen schalltechnische Erkenntnisse über die Auswirkung von Beschwerden und elastisch entkoppelten Bauteilverbindungen gewonnen wurden, die in die Ausführungsplanung einfließen.

Während der Ausführung des Gebäudes musste die ursprünglich vorgesehene, aus anderen Bauvorhaben bekannte elastisch gebundene Splittbeschwerung durch ein anderes Produkt ersetzt werden, weil sie für die Verarbeitung in großen Gebäudehöhen nicht geeignet war. Befürchtungen, dass durch Verlegen von vielzähligen Leitungen in der Splittebene der Schallschutz verschlechtert werden würde, konnten durch Schallmessungen ausgeräumt werden.

Die realisierten Wand- und Deckenkonstruktionen wurden im Juli 2024 in mehreren Wohnungen stichprobenhaft geprüft. Alle überprüften Bauteile übertrafen die Anforderungswerte der DEGA-Empfehlung 103, Schallschutzklasse C mehr oder weniger deutlich. Auffällig war die große Schwankungsbreite der Messwerte, insbesondere bei den bewerteten Schalldämmmaßen, deren Ursachen noch zu untersuchen wären. Die Umsetzung des Projektes hat aber auch deutlich gemacht, dass die strengen DEGA-103-C-Empfehlungen für $R'_{w}+C_{tr,50-3150}$ und $L'_{n,w}+C_{l,50-2500}$ mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand im Holz(leicht)bau kaum zu erfüllen sind.

4.6 Bauphysik - KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Die frühzeitige Erörterung des Einflusses der Wärmebrücken und die hygrothermische Untersuchung eines exemplarischen Außenwandaufbaus hat sich hinsichtlich folgender Aspekte als vorteilhaft erwiesen.

Es konnten Kollisionspunkte rechtzeitig erkannt und gelöst werden, ein hohes Maß an Planungssicherheit erreicht und Holzbaukonstruktionen realisiert werden, die hinsichtlich des Feuchteschutzes über die derzeit üblichen nachweisfreien Konstruktionen hinausgehen.

4.7 Beratung Umwelt- u. Nachhaltigkeitsaspekte

Die seitens BauherrIn durchgeführte, softwarebasierte, Ökobilanzierung ergab eine gesamtheitliche CO₂-Einsparung von ca. 1/3 gegenüber dem „konventionellen“ Bauen mit Stahlbeton/Stahl. Vergleicht man innerhalb des Projektes die Bauweisen auf z.B. Wand oder Geschossebene im Bereich des Holzbaus, liegen die Einsparungen bei 2/3 und mehr. Diese Differenz ist dem Umstand geschuldet, dass aufgrund der Standortgegebenheiten (sturmflutgefährdeter Bereich, wenig tragfähiger Baugrund und weiterer planerischer Anforderungen) ein maßgeblicher Teil der Tragstruktur, insbesondere die der Untergeschosse und des Erdgeschosses, aus Stahlbeton/Stahl hergestellt wurde, und somit einen mindernden Effekt auf die CO₂-Bilanzierung hinsichtlich einer Einsparung hat.

Als Kritik bei der Bilanzierungsmethodik ist anzumerken, dass unter Anwendung von Modul D eine thermische Verwertung der Bauteile am Ende der Lebensdauer, mit positivem Effekt auf die CO₂-Einsparung, vorgesehen ist. Da dies projektbezogen oftmals weder sinnvoll noch notwendig ist und die Anwendung von Modul D projektübergreifend nach aktuellem Stand nicht einheitlich erfolgt, ist eine kritische Hinterfragung bzgl. der Anwendung von Modul D notwendig.

4.8 Beratendes / ausführendes Unternehmen

Bei einem Projekt wie dem roots ist die frühzeitige holzbautechnische Beratung des Planungsprozesses sowohl für eine effiziente Werkstatt- und Montageplanung der ausführenden Holzbaufirma als auch für die Vermeidung von Mehrkosten bei Planung und BauherrIn, durch eine in späten Phasen notwendige Überarbeitung des Planstandes hinsichtlich der Anforderungen des Holzbaus, entscheidend. Die frühzeitige Integration von Fachwissen ermöglicht es, die Vorteile des Holzbaus, wie kurze Bauzeiten und hohe Vorfertigung, optimal zu nutzen. Allerdings zeigt sich in der Praxis, dass eine zu generalistische Planung aufgrund individueller Produktionsanforderungen der Holzbaufirmen schwierig ist. Zukünftig wird angestrebt, entweder eine generalistische Planung mit Holzbauingenieuren oder eine Partnerschaft mit einer Holzbaufirma zu integrieren, um die notwendige Kompetenz frühzeitig zu gewinnen.

Das Projekt setzte neben der frühen Integration einer holzbautechnischen Beratung auch eine reduzierte Form der 5-D-Planung um, genannt „BIM-light“, bei der nicht alle Fachplaner an einem gemeinsamen Modell arbeiteten. Stattdessen wurden vier separate Modelle erstellt (Architektur, Tragwerksplanung, TGA-Planung und das Modell der ausführenden Holzbaufirma). Die Architektur übernahm die „BIM-light“-Koordination und führte Kollisionsprüfungen durch. Der/die BauherrIn verantwortete die Zeit- und Kostenplanung. Zukünftig wird angestrebt, alle Fachplaner an einem gemeinsamen cloudbasierten Modell arbeiten zu lassen, ggf. auch unter Integration von Zeit- und Kostenparametern, um Effizienz von Planung und Ausführung zu verbessern, jedoch zunächst in weniger komplexen Projekten, mit einem erfahrenen Team.

4.9 BauherrIn

Für die gesamte Bauzeit wurde ca. eine halbe Stelle für Bauleitung / Qualitätsüberwachung, ausschließlich für den Holzbau und dessen Schnittstellen mit anderen Gewerken, eingeplant. Dies stellt im Vergleich zum konventionellen Bauen einen hohen Zeiteinsatz für ein Rohbaugewerk dar, bedingt durch die Besonderheit des Projekts als einzigartiger Sonderbau mit geringer Normierungsgrundlage.

Besondere Schwerpunkte der Bauleitung und Qualitätsüberwachung, neben der Überprüfung der vertraglichen Hauptleistungen, waren:

- Abstimmung Bauablauf (Massivbau/Holzbau) und Schnittstellen
- Abstimmung und Überwachung des Brandschutzkonzepts
- Abstimmung und Überwachung des Witterungsschutzkonzepts

Diese Maßnahmen waren notwendig, um die Sicherheit, Qualität und Langlebigkeit des Gebäudes zu gewährleisten und die besonderen

Anforderungen der Holzbauweise in diesem Sonderbauprojekt zu berücksichtigen.

Trotz des ursprünglich angestrebten Ziels, eine ausführende Holzbaufirma frühzeitig in den Planungsprozess zu integrieren, um die technische Expertise von Anfang an zu nutzen, zeigte sich, dass dieser Ansatz (z.B. gemäß leanwood) in der Praxis aufgrund der oftmals schwierigen Verhandlungen über Kosten und der Unsicherheit in der Preisfindung nicht immer optimal funktioniert. Besonders die langen Verhandlungsphasen und die Auswirkungen externer Faktoren wie der Coronapandemie und steigender Baukosten führten zu Verzögerungen und Unsicherheiten im Vergabeprozess.

Die Theorie, dass eine frühe Einbindung der ausführenden Firma zu besseren Ergebnissen führt, ist grundsätzlich richtig, wird jedoch oft durch die Schwierigkeiten, sich frühzeitig auf Preise zu einigen, gebremst. Eine mögliche Lösung könnte in einer vertraglichen Gestaltung liegen, die eine faire Aufteilung ggf. auftretender Mehrkosten zwischen den Beteiligten vorsieht, um die Unsicherheit zu verringern und die Zusammenarbeit zu fördern. Ebenso fordert die Umsetzung von Konzepten wie leanwood in der Praxis Flexibilität, um auf unvorhergesehene Schwierigkeiten und Veränderungen reagieren zu können.

Das Projekt *roots* ist ein Sonderbau, bei dem das Hochhaus mit brennbarem Tragwerk (aufgelöste Massivholzbauweise) abweichend zur Hamburger Bauordnung umgesetzt wurde. Um baurechtliche Anforderungen zu erfüllen, mussten die Tragfähigkeit, der Raumabschluss und die Rauchverhinderung gesondert nachgewiesen und abgenommen werden.

Da im Projekt vorgefertigte Bauteile verwendet wurden, die nicht durch Verwendbarkeitsnachweise abgebildet werden konnten, wurde ein Überwachungskonzept durch den Brandschutz entwickelt und während der Planungs-, Produktions- und Bauphase umgesetzt. Die Prüfung der Tragkonstruktion und der Raumabschlüsse sowie die Abnahme der Bauteile erfolgten durch Brandschutz und Prüfstatik.

Die Überwachung bestand aus der Kontrolle der Vorfertigung im Werk und der Baustellenüberwachung. Auf Grundlage der festgelegten Konstruktionen und der Überwachungsmaßnahmen wurden Übereinstimmungserklärungen erstellt. Nach Mängelfreiheit erfolgte die Ausstellung eines Prüfberichts und einer Konformitätsbescheinigung zum Brandschutz.

Mit zukünftiger fortschreitender Normierung und Standardisierung des Holzbaus könnte in absehbarer Zeit auf aufwendige Überwachungsprozesse verzichtet werden und somit ein Beitrag zu schlankeren, wirtschaftlicheren Bauprozessen geleistet werden.

5. Literaturverzeichnis

- BLÖDT, A., RABOLD, A. und HALSTENBERG, M.: Schallschutz im Holzbau Grundlagen und Vorbemessung; Holzbauhandbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 1; Holzbau Deutschland-Institute e.V., Berlin: 2019-03
- BRÜNINGHOFF-HOLZ GmbH, Heiden: Mock-Up Wildspitze Hamburg, Schnitte A-A, B-B, C-C: 2019-01-22
- DEGA Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. – Fachausschuss Bau- und Raumakustik: Empfehlung 103 „Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“: 2018-01-10 (www.dega-akustik.de)
- Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (Hrsg.): Holz Brandschutz Handbuch, 3. Aufl., München: 2009
- DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth, Berlin: 2007-07
- DIN EN 1995-1-1:2004+AC2006+A1:2008, Abschn.7.3.3 und DIN EN 1995-1-1/NA:2013-12, NCI Zu 7.3.3
- DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Beuth, Berlin: 2018
- DIN 4108 Beiblatt 2: „Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele“. Beuth, Berlin: 2019
- DIN 4109-1: Schallschutz im Hochbau – Mindestanforderungen, 2018-01
- DIN 4109-2: Schallschutz im Hochbau – Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen, 2018-01
- DIN 4109-33: Schallschutz im Hochbau – Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Holz-, Leicht- und Trockenbau, 2016-07

DIN 4150-01: Erschütterungen im Bauwesen

DIN 4150-02: Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden

DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth, Berlin: 2012

HafenCity Hamburg GmbH: Umweltzeichen HafenCity – Nachhaltiges Bauen in der HafenCity, Version 3.0, überarbeitete Ausgabe 2017

Holzforschung Austria (Hrsg.): Deckenkonstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau, 5. Aufl., Wien: 2016

Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse: WSH roots Hamburg – Schallschutznachweise, Aachen: 2024-01-17

Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse: WSH roots Hamburg – Mock-Up-Messbericht, Aachen: 2019-04-04

Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse: WSH roots Hamburg – Schallmessungen WSH-Testwohnung 2.2.3, Messbericht, Aachen: 2023-03-13

Ingenieurbüro für akustische Signalanalyse: WSH roots Hamburg – Schallmessungen den WSH-Testwohnungen 1.4.5, 1.4.8 und 1.7.5 Messberichte, Aachen: 2024-07-31

KÖHNKE GmbH, Uelsen: Splittschüttung System K101/102

KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH: Thermische Bauphysik, Wärmebrückennachweis, Hamburg: 2022

KÜHN, B., BLICKLE R.: Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immissionen von Geschossdecken aus Holz. WKS B – Wärme, Kälte, Schall, Brand 50, Heft 54, S. 1, Ludwigshafen: Saint-Gobain Isover G+H AG, 2005

KÜNZEL, H., ZIRKELBACH, D., & KEHL, D.: Feuchteschutz im Holzbau - Hintergründe und aktuelle Regeln der Technik, Bauphysik Kalender, 1-42: 2022

REMMERS GmbH, Lönningen: Technisches Merkblatt 1131 Bindemittel Prefab Floor 2K, 2023-04

Schweizerische Eidgenossenschaft: KBOB Ökobilanzdaten, Schweiz: 2024 (www.kbob.admin.ch)

Technische Universität München (TUM), Professur für Entwerfen und Holzbau: leanWOOD - Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise, München: 2017 (www.leanwood.eu)

WINTER, S.; HAMM, P; RICHTER, A.: Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15283. Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München: 2010

WTA-Merkblatt 6-2: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse, Wissenschaftlich Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege [Hrsg.] IRB Verlag: 2014