

Hybride Deckenentwicklungen für emissionsoptimierte Tragwerke

W. Kübler, WaltGalmarini AG, Zürich, CH

Abstract

Nach der Mobilität und dem Betrieb von Gebäuden gerät nun die Erstellung von Gebäuden in den Fokus der Emissionsminimierung.

Wir wissen, dass die Zementherstellung bereits in ca. 10 Jahren nur noch in Kombination mit Carbon Capture-Technologien und die Stahlherstellung mit alternativen Energieträgern wie Wasserstoff möglich sein wird. Je langsamer wir reduzieren, desto grösser werden der Regenerationsaufwand für die Ökosysteme und damit die Kosten, um verheerende Konsequenzen für die aktuelle und zukünftige Generationen aus Klimaveränderungen zu vermeiden. Wir können gar nicht mehr nachhaltig sein. Irreparable Veränderungen sind bereits vorhanden.

Die Hälfte der Emissionen bei der Erstellung von Gebäuden verursacht der Rohbau, also die Konstruktion. Daran wiederum der grösste Teil die Decken, weil sie meist absolut das grösste Materialvolumen kumulieren. Die Decken haben bezüglich Reduktion und Minimierung von Emissionen deshalb das grösste Potential.

Wir brauchen also neuartige leistungsfähige Deckenkonstruktionen für grossvolumige urbane Gebäude mit möglichst geringer Konstruktionsstärke:

- Kombination leistungsfähiger Materialien mit geringen Emissionen
- zementfreie Masse für ausreichendes Schwingungsverhalten und Schallschutz innerhalb des Konstruktionsaufbaus
- idealerweise unterzugsfreie Ausbildung
- statische Durchlaufwirkung über Wohnungstrennwände hinweg
- der Feuerwiderstand bzw. die Resttragfähigkeit müssen gewährleistet werden

Die grosse Herausforderung bei leichten schlanken Decken ist die Vorhersage eines genügenden Schwingungsverhaltens. Der zukünftige Eurocode für Holztragwerke empfiehlt, mit dem Bauherrn über Komfortklassen Grenzwerte für die zulässigen Beschleunigungen zu vereinbaren.

Da diese Bemessungsmethode üblicherweise aber am Anregungsort nachgewiesen wird, empfahl der Baudynamikexperte des Bauherrn des Holzhochhauses Pi in Zug eine eigentlich zutreffendere Methode: Der Beschleunigungsgrenzwert wird für die Nachbarwohnung als Empfänger definiert. Rein rechnerische dynamische Auslegungen von Deckenkonstruktionen erfolgen i.d.R. für die statische Konstruktion selber, sowie allenfalls über Erfahrungswerte unter Berücksichtigung von positiven Einflüssen nichttragender Schichten wie querverteilenden Unterlagsböden.

Ein Mock-up bietet sich an, diese Einflüsse inkl. von nichttragenden Wänden an der konkret geplanten Konstruktion eines Gebäudes zu messen und zu berücksichtigen.

Für eine über 9m gespannte Wohnungsdecke mit 34cm Konstruktionsstärke und 35% weniger Eigenmasse als eine Stahlbetonflachdecke liegen die gemessenen tiefsten Eigenfrequenzen in den Zuständen 03 und 04 liegen bei ca. 8.0 Hz und 9.7 Hz. Das Dämpfungsmass beträgt je nach Anregungssituation zwischen 2.6 und bis zu 3.5%.

Im Zustand mit nichttragenden Wänden im unteren Geschoss, werden die Eigenfrequenzen nochmals stark erhöht und die Schwingungsformen verändert. Die Berücksichtigung der günstigen Mitwirkung nichttragender Bauteile und Schichten hilft Eigengewicht der Konstruktion zu reduzieren und trotzdem hohen Komfort bezüglich Deckenbeschleunigungen zu erreichen.

Hybride Deckenentwicklungen für emissionsoptimierte Tragwerke

Wolfram Kübler. WaltGalmarini AG Zürich

Nach der Mobilität und dem Betrieb von Gebäuden gerät nun die Erstellung von Gebäuden in den Fokus der Emissionsminimierung.

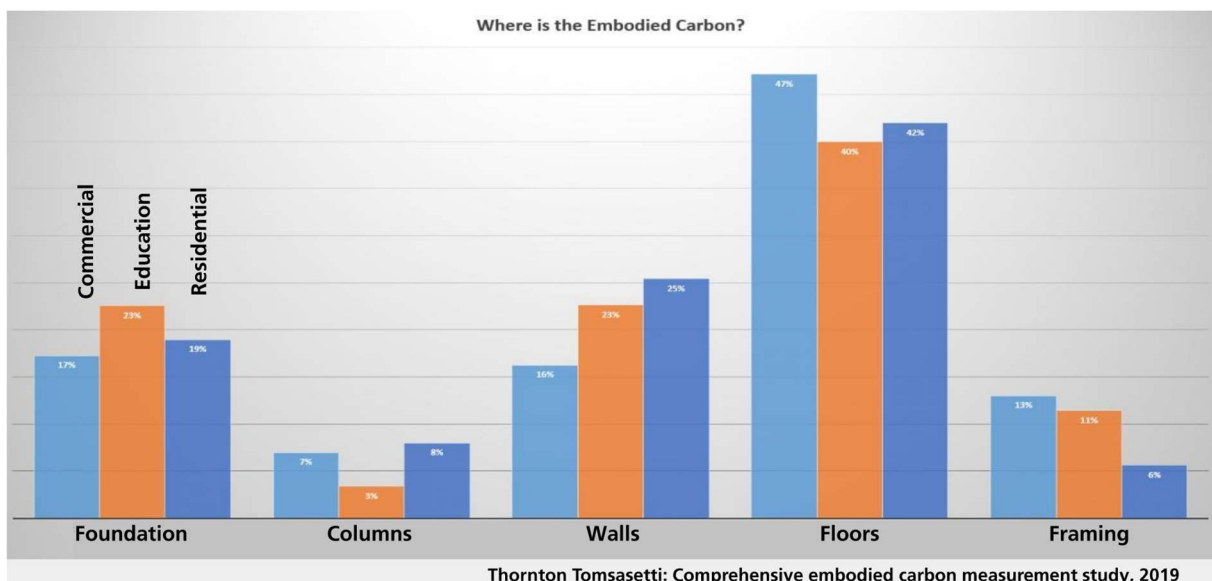
Wir wissen, dass die Zementherstellung bereits in 10 Jahren nur noch in Kombination mit Carbon Capture-Technologien und die Stahlherstellung mit alternativen Energieträgern wie Wasserstoff möglich sein wird. Je langsamer wir reduzieren, desto grösser werden der Regenerationsaufwand für die Ökosysteme und damit die Kosten, um verheerende Konsequenzen für die aktuelle und zukünftige Generationen aus Klimaveränderungen zu vermeiden. Wir können gar nicht mehr nachhaltig sein. Irreparable Veränderungen sind bereits vorhanden.

Da grosse langfristige Investitionen in den genannten Industrien anstehen, wird bisheriges konventionelles Bauen teurer. In der Holzbauzulieferindustrie wurden in den letzten Jahren bereits grosse Investitionen in einen Kapazitätsausbau getätigt, die jährlich nachwachsende Menge an Holz in den Wäldern lässt sich aber nicht steigern.

Gleichzeitig besteht - vor allem urbaner – Wohnungsmangel.

Was ist die Ursache? Seit der Industrialisierung hat sich die Lebenserwartung verdoppelt. Die Geburtenraten nehmen global zwar ab, entwickelte Länder überaltern und die Anzahl an Haushalten mit weniger Personen aber mehr Flächenkonsum nimmt zu. Die Gesamtbevölkerung global wird sich deshalb innerhalb der nächsten Generation stabilisieren. Attraktive und klimaresilientere Länder erfahren starken Zuwanderungsdruck. Von der Klimaveränderung stark betroffene Länder werden starke Abwanderung erfahren. Zur Verfügung stehende Wohnungen sind also oft am falschen Ort.

Ungefähr die Hälfte der Emissionen bei der Erstellung von Gebäuden verursacht der Rohbau, also die Konstruktion. Daran wiederum der grösste Teil die Decken, weil sie meist absolut das grösste Materialvolumen kumulieren. Die Decken haben bezüglich Reduktion und Minimierung von Emissionen deshalb das grösste Potential.



Warum sich die Stahlbetonflachdecke durchgesetzt hat, ist offensichtlich:

- geringe Verformungen durch Plattenwirkung bei dünner Konstruktionsstärke
- sehr grosse Flexibilität bzgl. Spannweiten, Grundrissgestaltung und Lagerungsbedingungen
- kompatibel mit Horizontalverteilung der Gebäudetechnikleitungen
- Geschoss- bzw. Raumhöhenmaximierung bei gegebenen Gebäudevolumen
- globale und gleichzeitig dezentrale Verfügbarkeit der benötigten Materialien
- Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit bei relativ einfacher Bauumsetzung
- meist sehr gute Schwingungseigenschaften, sowie Schall- und Brandschutz ohne Zusatzaufwand
- die Planung und Bemessung erfolgt deshalb meist mit verbreitetem Wissen und Hilfsmitteln

Analysiert man die Randbedingungen vieler Baugesetze und die Voraussetzungen für eine Mindestrentabilität, stellt man fest, dass deutlich höhere Konstruktionsaufbauten mindestens zu Flächen- oft auch zu Stockwerksverlust führen.

Wir brauchen also neuartige leistungsfähige Deckenkonstruktionen für grossvolumige urbane Gebäude mit möglichst geringer Konstruktionsstärke:

- Kombination leistungsfähiger Materialien mit geringen Emissionen
- zementfreie Masse für ausreichendes Schwingungsverhalten und Schallschutz innerhalb der Konstruktionsstärke
- idealerweise unterzugsfreie Ausführung
- statische Durchlaufwirkung über Wohnungstrennwände hinweg ohne konstruktive Trennung
- der Feuerwiderstand bzw. die Resttragfähigkeit müssen gewährleistet werden

Michael Braungart, der Co-Entwickler des Cradle-to-Cradle-Prinzips plädiert für folgenden Grundsatz:

«Wenn man das design nicht anders macht, hat man die bestehenden Dinge die vielleicht etwas weniger schädlich sind...

Wir müssen fragen: was ist das Richtige? Sonst macht man die falschen Dinge richtig und damit richtig falsch!

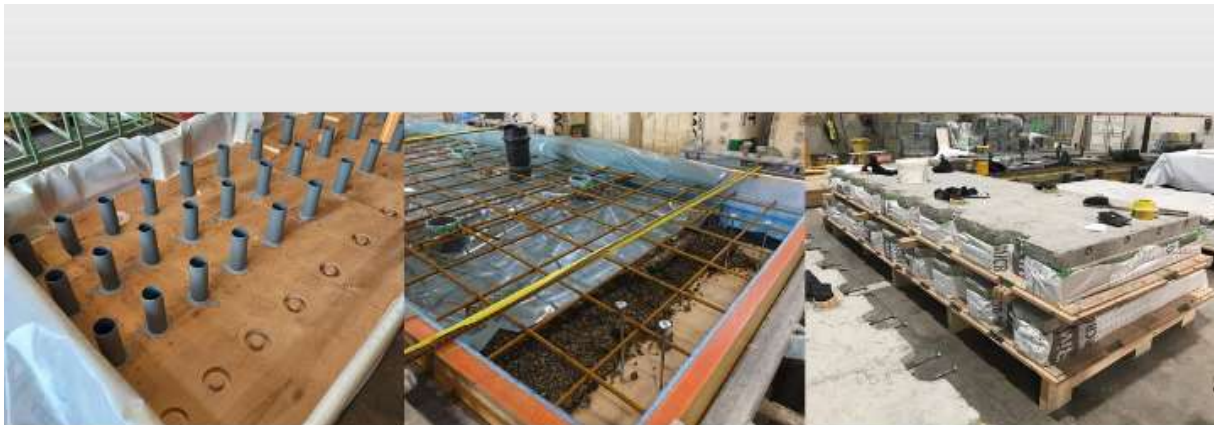
Die Gestaltung des Produktes bestimmt über 90% der Umweltauswirkung!»

Anders ausgedrückt - Effektivität: Die richtigen Dinge tun. Effizienz: Die Dinge richtig tun.

Lars Meyer, der Geschäftsführer des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins schreibt in seinem Essay «Green means lean – der Weg zur klimaneutralen Betonbaustelle» in der Bautechnik 99 (2022), Heft 5:

«Sehr kurzfristig sind enorme Verbesserungen notwendig, die mit enormen technischen und wirtschaftlichen Veränderungen einhergehen ... Unternehmen handeln vorausschauend, wenn sie ihr Geschäftsmodell klimagerecht anpassen. Sie beugen der Gefahr vor, zukünftig kein Geschäftsmodell mehr zu haben.»

Die von WaltGalmarini AG zusammen mit dem Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich sowie auf Initiative von Implenia Holzbau entwickelte Deckenkonstruktion erfüllt die geschilderten Anforderungen.



Buche-Furnierschichtholzplatte
Stahlrohre als Schubverbinder

Schüttung als Zwischenschicht
wählbar 150 bis 1500kg/m³, z.T. RF1

Betonschicht im Werk
Lagerung für Schwindverformungen

Herstellung der Deckenelemente für das Mock-up des Holzhochhauses PI

Die statisch wirksame Sandwichkonstruktion besteht aus einer Holzwerkstoffplatte, darin eingeklebten vertikalen Stahlrohren als Schubverbinder, sowie einer Betonschicht in der Druckzone.

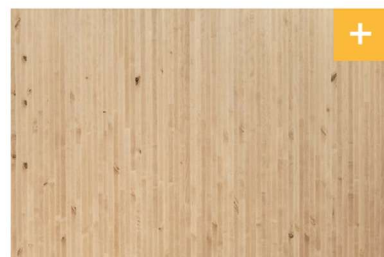
Die Holzschicht kann als CLT- oder LVL-Platte je nach Leistungs- und Oberflächenanforderungen von unterschiedlichen Herstellern gewählt werden. Spannweiten- und lastabhängig sind Schichtdicken zwischen 60 - 120mm dafür typisch. Die notwendige Betonschicht beträgt 80 – 120mm. Es sind Systeme denkbar, bei denen die Holzschicht im Brandfall ausfallen kann und die Betonschicht als Platte plastisch mittels Fließgelenkmethode nachgewiesen werden kann. Beispielsweise in Hochhäusern als Betrachtung einer Wohnung als Brandabschnitt.



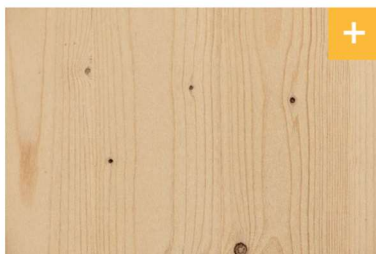
Buchen-Furnierschichtholz



Fichten-Furnierschichtholz



Birken-Stäbchensperrholz



Fichten-Brettsperrholz mit Fichten-Sichtoberfläche



Fichten-Brettsperrholz mit Birken-Sichtoberfläche



Fichten-Brettsperrholz mit Buchen-Sichtoberfläche»

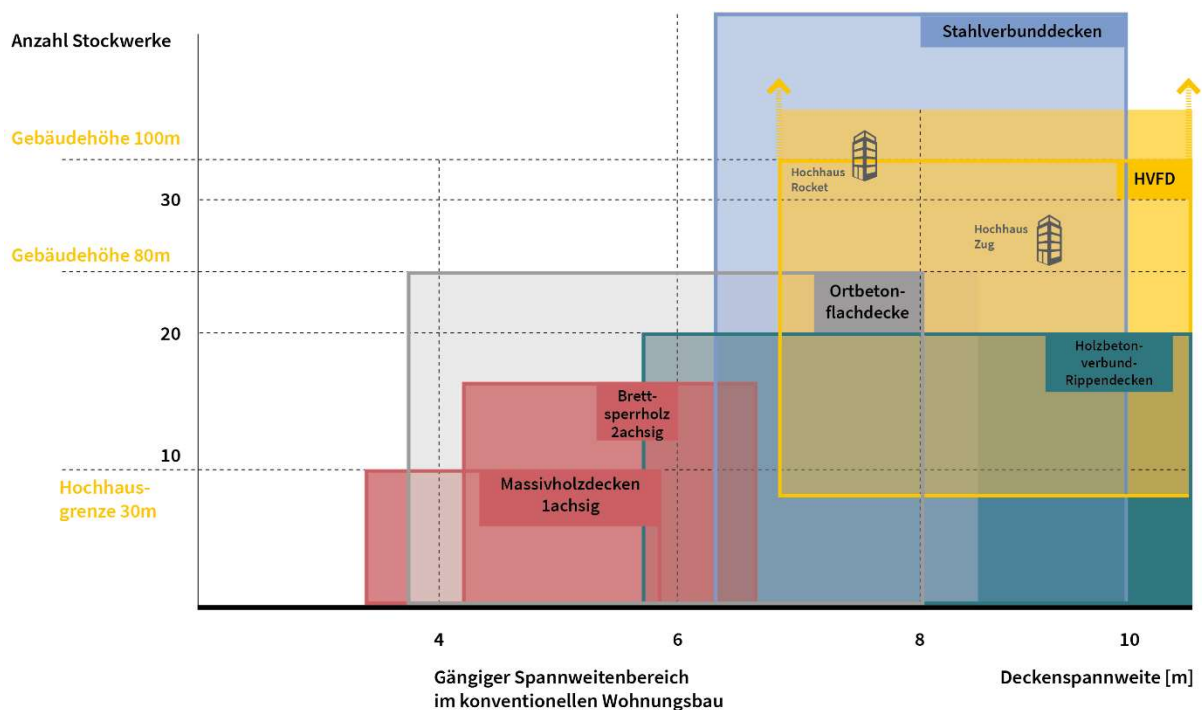
Mögliche Oberflächen/Holzarten in der Deckenuntersicht beim System HVFD

Als Zwischenschicht kommen Schüttungen und leichte Dämmstoffe in Frage, welche auf die akustischen und brandschutztechnischen sowie auf die erforderliche Masse für dynamische Anregungen abgestimmt werden können.

Die HVFD stellt somit keine Alternative für herkömmliche Holzdeckensysteme dar, sondern kommt bei grösseren Spannweiten und Anzahl an Stockwerken zur Anwendung. Die Aktivierung als biaxiale Plattenkonstruktion erhöht die Steifigkeit um bis zu 30%.

Insbesondere für LVL-Platten sind seitens Klebstoffchemie Phenolharze auf Ligninbasis in Vorbereitung. Erste Holzwerkstoffplatten mit sehr tiefen Emissionen – auch für statische Zwecke – können bereits eingesetzt werden.

Die Betonschicht der HVFD kann entweder im Werk frühzeitig betoniert oder vor Ort im Fall von Hochhäusern über 3-4 Geschosse gespriesst werden. Es können also zementreduzierte Rezepturen (ZN/D-Zemente oder Beton nach Zusammensetzung) mit sowohl günstigen Langzeiteigenschaften wie auch tiefen Emissionen verwendet werden.

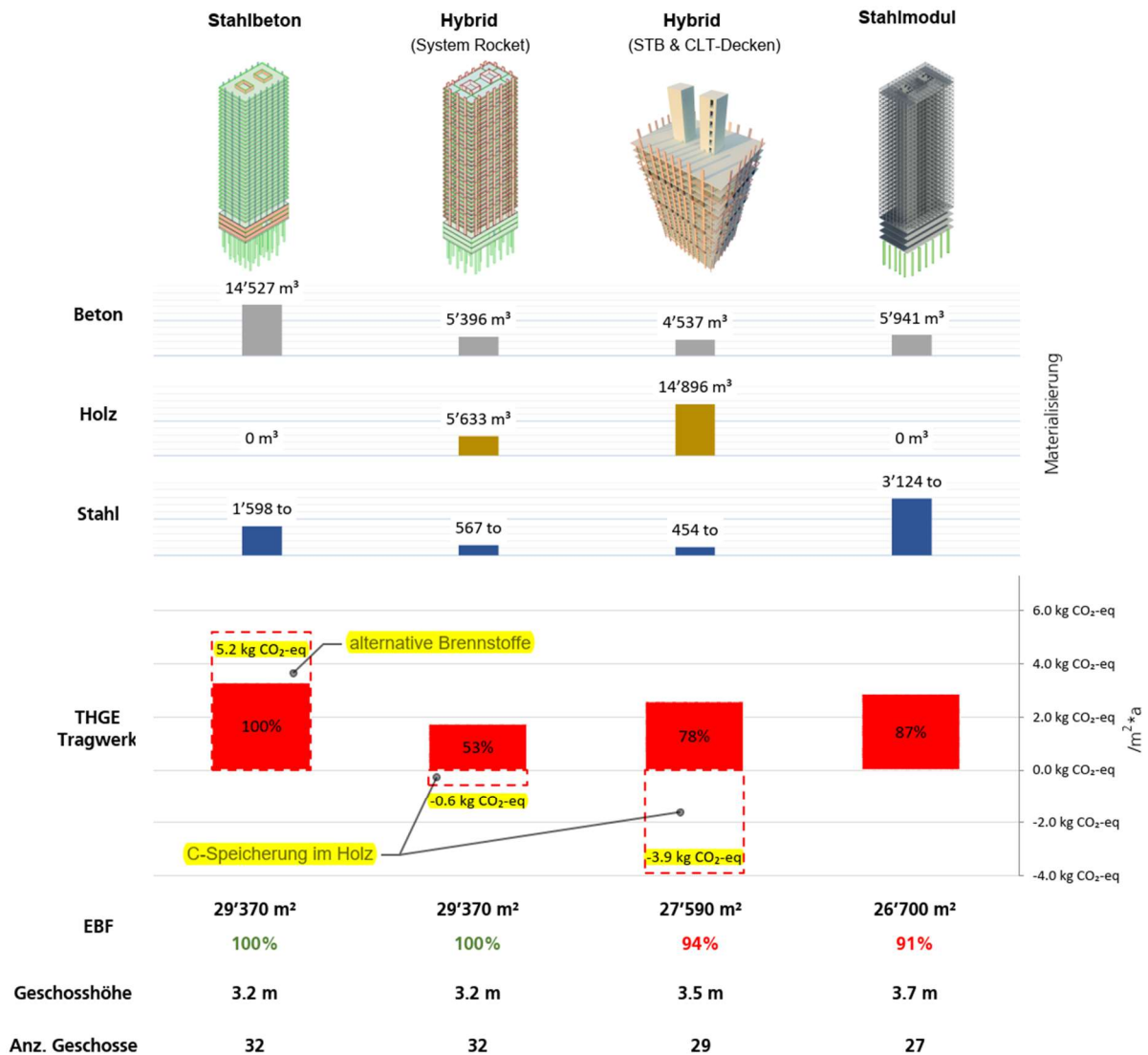


ERGÄNZENDE ANMERKUNGEN

- Übliche Bauweise für Hochhäuser
- für Gebäude über 100m sind brandschutztechnische Sonderkonzepte erforderlich
- Bis 30m Gebäudehöhe sind flächige Sichttragwerke in Holz betreffend Brandschutz nur mit Sonderkonzepten möglich (oder Kapselung)
- Durch Vorspannung kann der sinnvolle Anwendungsbereich der Spannweite und der Anzahl der Stockwerke vergrößert werden
- Ab ca. 50m gewinnt man aufgrund der schlanken Bauweise der HVFD ganze geschosse gegenüber alternative Lösungen mit Unterzügen oder Rippen

Einsatzbereiche unterschiedlicher Deckensysteme und Materialien

Die Erfindung der HVFD wurde vom Europäischen Patentamt als würdig beurteilt. Das Ziel der Entwickler ist eine möglichst breite Anwendung am Markt über Projekt- und/oder Herstellerlizenzen. Die Bemessungsgrundlagen sind frei verfügbar.

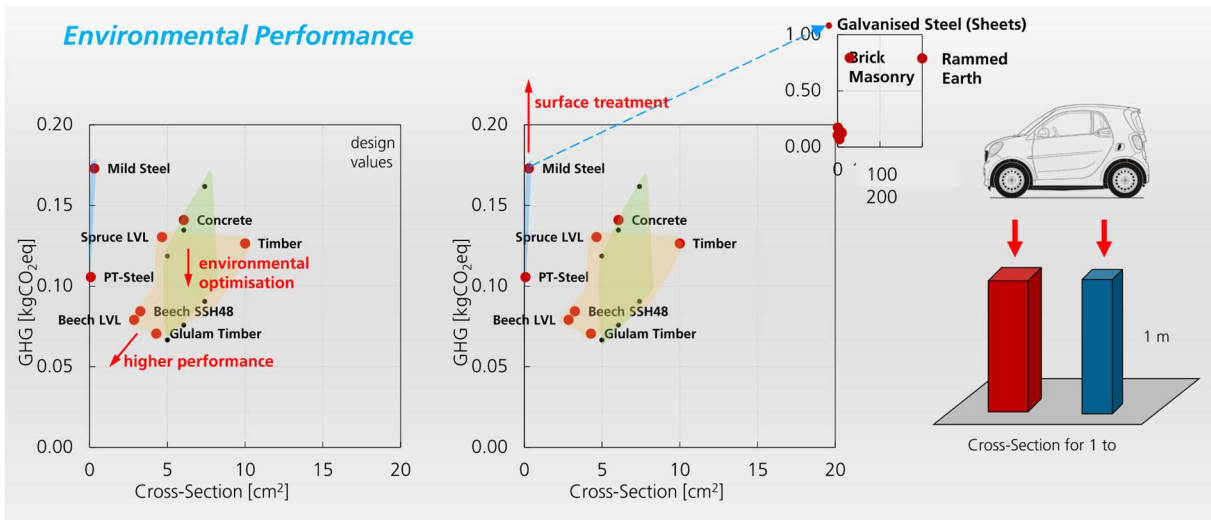


Auswirkungen auf die Emissionen durch Materialminimierung und -optimierung

Das Beispiel «Hybrid System Rocket» stellt ein Hochhaus dar, bei dem die HVFD als Deckensystem sowie Holzrahmentragwerke in Kombination mit zwei CLT-Kerne für die Stabilisierung im Variantenvergleich angenommen wurden.

Es ist nicht sinnvoll, so viel Holz als möglich in einem Gebäude zu verbauen. Es ist ökologisch und wirtschaftlich sogar wesentlich effizienter, möglichst wenig Holz je Gebäude und gleichzeitig aber möglichst wenig Zement zu verbauen.

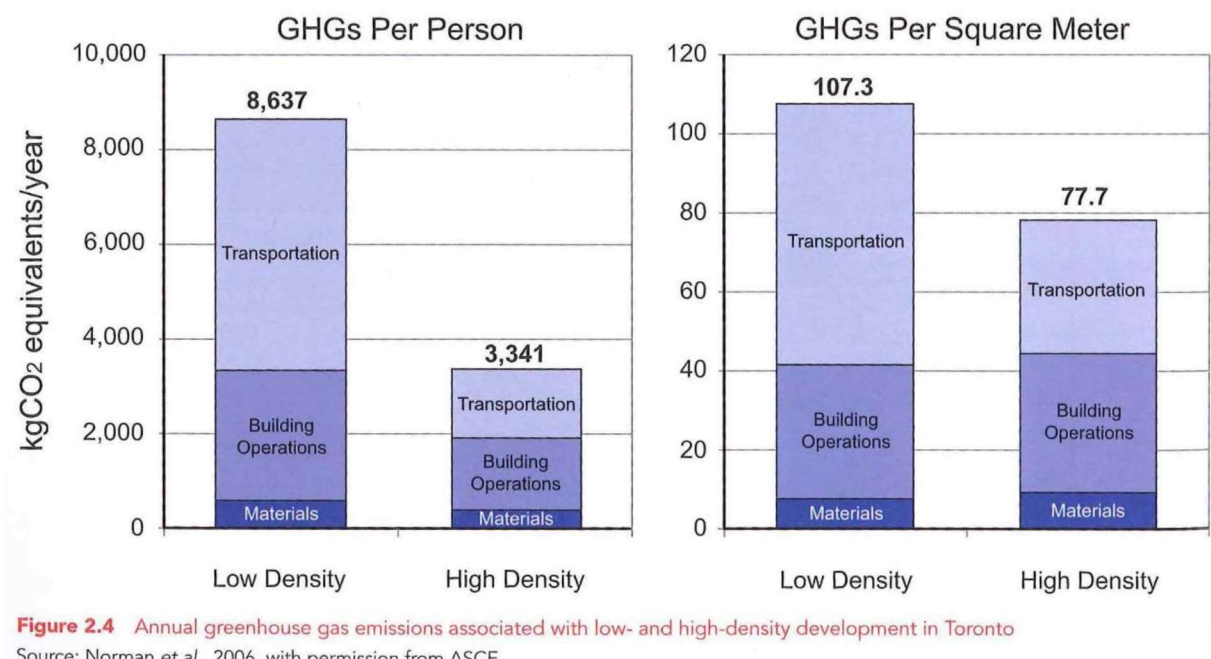
Vergleicht man die Umweltauswirkung von Konstruktionen Leistungsbezogen, stellt man fest, dass Hochleistungsmaterialien nicht grundsätzlich schlechter abschneiden:



Einfluss der Leistungsfähigkeit auf die «environmental performance»

Bisherige Bauweisen mit Stahl- und Stahlbeton weisen für die Konstruktion Emissionen von 11-16 kgCO₂/m²a auf. Die nächste Generation an Normen und gesetzlichen Vorgaben an Zielwerte wird in Richtung 7 kgCO₂/m²a gehen müssen um dem notwendigen Absenkpfad zu Netto-Null folgen zu können. Ca. 50-60% der Energie der Zementindustrie muss derzeit bei der Ökobilanzierung als «alternative Brennstoffe» (Müll) nicht bilanziert werden.

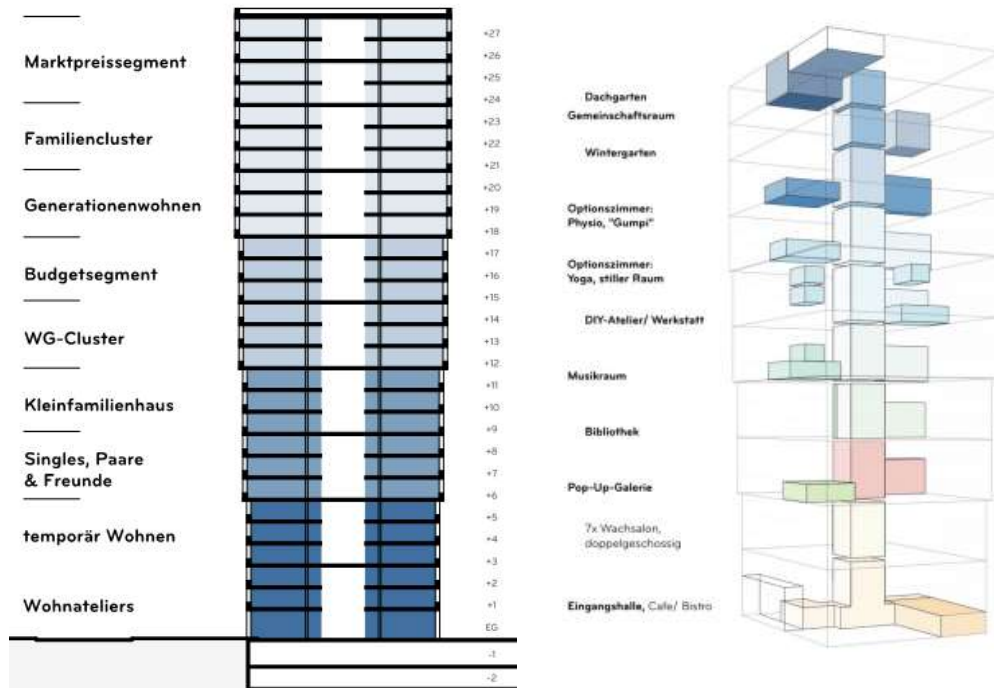
Neben den Emissionen der Erstellung sollten für die Gebäude ausserdem die Betriebsemissionen sowie die induzierte Mobilität bewertet und bilanziert werden. Hybride Hochhäuser mit tiefen Erstellungsemissionen können – wenn sie (individuelle Auto-) Mobilität der Bewohner gleichzeitig minimieren – einen erheblichen Beitrag zum Absenkpfad leisten.



Einfluss von Verdichtung auf Transport/Mobilität, Betriebsenergie und Erstellungsemissionen

Die grosse Herausforderung bei leichten schlanken Decken ist die Vorhersage eines genügenden Schwingungsverhaltens. Die Normen geben Empfehlungen ab. Der zukünftige Eurocode für Holztragwerke empfiehlt, mit dem Bauherrn über Komfortklassen Grenzwerte für die zulässigen Beschleunigungen zu vereinbaren:

Da diese Bemessungsmethode üblicherweise aber am Anregungsort nachgewiesen wird, empfahl der Baudynamikexperte des Bauherrn des Holzhochhauses Pi in Zug eine eigentlich zutreffendere Methode: Der Beschleunigungsgrenzwert wird für die Nachbarwohnung definiert.



Holzhochhaus Pi: Besonderheiten im architektonischen Entwurf

Das Hochhaus wird in der Fläche über vier Segmente von unten nach oben grösser. Die lichten Geschosshöhen der Mietwohnungen sind mit ca. 2.43m knapp bemessen. An den Gebäudeecken sind deshalb alternierend zweigeschossige Räume mit Verglasungen und Balkonen angeordnet.

Um das Schwingungsverhalten zu verifizieren wurde ein 1:1 Mock-up in der grössere eines Einfamilienhauses zweigeschossig mit einer Deckenspannweite von knapp über 9m erstellt:



Übersicht Mock-up und Deckenaufbau

Rein rechnerische dynamische Auslegungen von Deckenkonstruktionen erfolgen i.d.R. für die statische Konstruktion selber sowie über Erfahrungswerte allenfalls auch unter Berücksichtigung von positiven Einflüssen nichttragender Schichten.

Ein Mock-up bietet sich an, die diese Einflüsse an der konkret geplanten Konstruktion eines Gebäudes zu messen und zu berücksichtigen:

Zustand 01 – nur Tragwerk

Zustand 02 – Tragwerk inkl. Loggiawände konstruktiv verbunden

Zustand 03 – Tragwerk, Loggiawände sowie Wohnungstrennwände auf der Decke, das obere Geschoss hat zudem eine konstruktive Decke in Form einer CLT Platte erhalten (für Schallmessungen)

Zustand 04 – im Obergeschoss sind nun auch Trittschalldämmung und Unterlagsboden eingebaut worden

Zustand 05 – im unteren Geschoss wurden Leichtbauwände eingebaut

Bei den durchgeführten Versuchen wurden die Schwinggeschwindigkeiten an fünf Messpunkten aufgezeichnet:

- Entlang typischer Stecken im Raum geht eine Person (90 kg und Turnschuhe) mit unterschiedlichen Schrittfrequenzen (1.6 Hz, 1.8 Hz, 2.0 Hz und 2.3 Hz) entlang.
- Impulsanregung mit 20 kg Sandsack: An unterschiedlichen Punkten (bezeichnet mit St in Bild3.1a) auf der Decke werden mit einem 20 kg schweren Sandsack impulsartige Kräfte auf die Decke aufgebracht. Die Impulskräfte werden mit Hilfe einer Kraftmessplatte gemessen. Die Impulskräfte und die Schwinggeschwindigkeiten werden zeitsynchron aufgezeichnet.
- Harmonische Anregung mit einem elektrodynamischen Shaker. Die Resonanzkurve einzelner Schwingungsmoden wurde im Bereich der Resonanzfrequenz abgefahren. Dazu wird die Decke mit 40 Zyklen einer konstanten Frequenz und Kraftamplitude angeregt. Die Frequenz wird in diskreten Schritten gesteigert

Als Kriterien, die im Endzustand einzuhalten sind wurden vereinbart:

RMS-Beschleunigung	Eigentumswohnung	Mietwohnung
Selbe Wohnung	0.014 m/s ²	0.04 m/s ²
Nachbarwohnung	0.007 m/s ²	0.02 m/s ²

Der Entwurf des EC5 enthielt 2019 noch eine Tabelle mit Anhaltswerten für die Komfortklassen für verschiedene Nutzungen:

Table 9.3. Recommended selection of floor performance levels for use categories A (residential and B (office).

Use category	Quality choice	Base choice	Economy choice
A (residential)			
multi-storey	level I, II, III	level IV	level V
Single house	level I, II, III, IV	level V	level VI
B (office)	level I, II	level III	level IV

Table 9.2 Floor vibration criteria according to floor performance level.

Criteria	Floor performance levels						
	level I	level II	level III	level IV	level V	level VI	Level VII
<u>Stiffness criteria</u> for all floors w_{1kN} [mm] ≤	0,25		0,5	0,8	1,2	1,6	No criteria
Response factor R ≤	4	8	12	16	24	32	
<u>Frequency criteria</u> for all floors f_i [Hz] ≥	4,5						
<u>Acceleration criteria</u> for resonant vibration design_situations a_{rms} [m/s ²] ≤	$R \times 0,005$						
<u>Velocity criteria</u> for transient vibration design situations v_{rms} [m/s] ≤	$R \times 0,0001$						

NOTE: For the different building use categories, the assignment of floor performance levels to be applied, can be stated in the National annex for use in a country.

aus [5]

D.h. Eigentumswohnungen (oberste vier Geschosse) entsprechen «level I» und die Mietwohnungen sogar «level II»

Beispielhaft einige Resultate für

Gehen

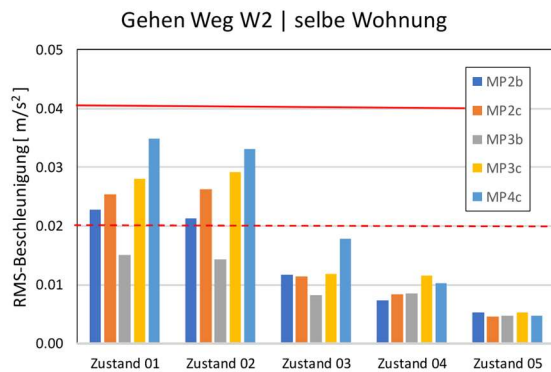


Bild 5.1c RMS-Beschleunigung, Gehen Weg W2, selbe Wohnung.
Rot ausgezogene Linie: Grenzwert für Mietwohnung.
Rot gestrichelte Linie; Grenzwert für Eigentumswohnungen.

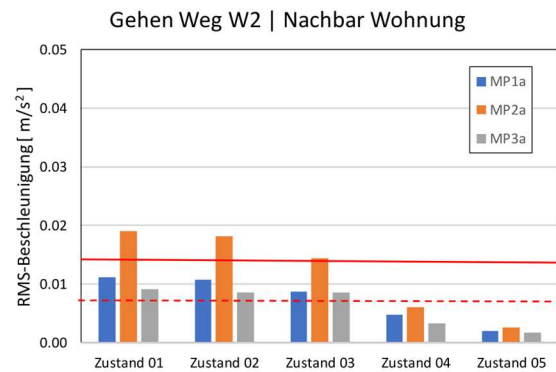


Bild 5.1d RMS-Beschleunigung, Gehen Weg W2, Nachbar Wohnung.
Rot ausgezogene Linie: Grenzwert für Mietwohnung.
Rot gestrichelte Linie; Grenzwert für Eigentumswohnungen.

Absitzen

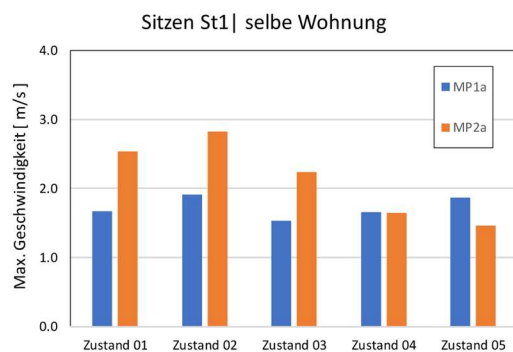


Bild 5.2a Max. Schwinggeschwindigkeit Sitzen St1, selbe Wohnung.
Rot ausgezogene Linie: Grenzwert für Mietwohnung.
Rot gestrichelte Linie; Grenzwert für Eigentumswohnungen.

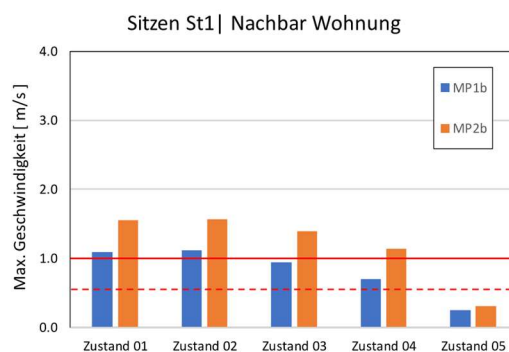


Bild 5.2b Max. Schwinggeschwindigkeit Sitzen St1, Nachbar Wohnung.
Rot ausgezogene Linie: Grenzwert für Mietwohnung.
Rot gestrichelte Linie; Grenzwert für Eigentumswohnungen.

aus [3]

Erkenntnisse

Die Versuche im Mockup liefern etwas zu konservative Resultate. Im Endzustand sind dynamische Beanspruchungen durch Personen an weitgespannten Deckenrändern - wie dies im Mockup der Fall ist - nicht möglich, da die Anregung nicht an einem weitgespannten Deckenrand erfolgt, sondern eher in Deckenfeldmitte, womit dynamisch deutlich mehr Masse angeregt werden muss und auch die Steifigkeit höher ist.

- Durch die relativ hohen Eigenfrequenzen bedingt, werden diese Decken beim Gehen nicht in ihrer Eigenfrequenz aufgeschaukelt. Die gemessenen maximalen Amplituden sind durch die Impulse bedingt, die beim Auftreffen der Ferse auf die Decke entstehen. Bevor der nächste Schritt die Decke anregt, sind diese Schwingungen schon wieder abgeklungen.
- Mit den hier gewonnen Erkenntnissen aus den Versuchen soll das Simulations- oder FEM-Modell der Decken des Hochhauses Pi aktualisiert werden. Mit dem Simulationsmodell sind die nötigen dynamischen Nachweise für die relevanten Situationen der Hochhausdecken zu erbringen.

Die gemessenen tiefsten Eigenfrequenzen in den Zuständen 03 und 04 liegen bei ca. 8.0 Hz und 9.7 Hz und die Dämpfung liegt zwischen 2 und 3 % der kritischen Dämpfung. Die Schwingungsformen entsprechend den theoretisch erwarteten Formen.

Im Zustand 05, mit den nichttragenden Wänden im unteren Geschoss, werden die Eigenfrequenzen nochmals stark erhöht und die Schwingungsformen verändert. Für die kleinen Deformationen, die hier untersucht werden, heisst das, dass diese Wände als eine Art Auflager wirken.

Eigenfrequenzen:

Tabelle 5.3a

	Zustand 01		Zustand 02		Zustand 03		Zustand 04		Zustand 05	
	Eigenfreq [Hz]	Dämpf. [%]	Eigenfreq [Hz]	Dämpf. [%]	Eigenfreq [Hz]	Dämpf. [%]	Eigenfreq [Hz]	Dämpf. [%]	Eigenfreq [Hz]	Dämpf. [%]
Mode 01	6.59	1.4	6.57	2.0	6.86	3.0				
Mode 02	-	-	-	-	7.85	2.0	8.06	2.2	13.38	2.7
Mode 03	9.50	3.1	9.48	2.3	9.71	2.7	9.75	3.2	13.44	2.5

aus [3]

Weitere Untersuchungen für Sondernutzungen

Das Hochhaus Pi soll bewusst auf Bestellung der Bauherrschaft einen grossen Anteil an kostengünstigen und familientauglichen Wohnungen aufweisen.

Weitere Untersuchungen wurden deshalb für die Nutzungen der Optionsräume der vertikalen Nachbarschaften durchgeführt. Diese Räume liegen direkt neben Wohnungen. Die Fragestellung war, ob diese als Kinderspielräume mit sehr aktivem körperlichem Einsatz ohne weitere Massnahmen geeignet sind:

Anregungen wie „Heeldrop“, „Sprünge ohne oder auf dünner Matte“ oder „Springen und Toben von Kindern – auch auf Matten“ und alle Arten von Ballspielen (Fallenlassen eines Medizinballs oder Dribbeln mit Basketball) führen zu Schwingungsamplituden, die oberhalb der Grenzwerte für Mietwohnung (und damit auch Eigentumswohnung) liegen.

Das subjektive Empfinden bei diesen Anregungen ist deutlich spürbar und störend, auch in der Nachbarwohnung.

Anregung	Anlage	Schwingbeschleunigung in der gleichen Wohnung					Schwingbeschleunigung in der Nachbarwohnung				
		a _{max} [mm/s ²]	a _{rms} [mm/s ²]	Grenzwerte			a _{max} [mm/s ²]	a _{rms} [mm/s ²]	Grenzwerte		
				Daniel Gsell		EC 5			Daniel Gsell		EC 5
				a _{rms} ≤ 14 mm/s ²	a _{rms} ≤ 40 mm/s ²	a _{rms} ≤ 20 mm/s ²			a _{rms} ≤ 7 mm/s ²	a _{rms} ≤ 20 mm/s ²	a _{rms} ≤ 20 mm/s ²
Gehen Straßenschuhe	6, 6, 7		22,3 24,4 36,2		✓			-- -- 4,29	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	
Gehen JR Turnschuhe	8, 9		13,7 33,3		✓	✓		-- 6,72	✓ ✓	✓ ✓	
Gehen PH Turnschuhe	12, 12		17,5 20,4		✓	✓		-- --			
Gehen Harte Sohle	10, 11		33,2 38,9		✓			-- 6,42	✓ ✓	✓ ✓	
Joggen PH	17		20,6		✓			7,3		✓ ✓	
Joggen JR	18		60,0					11,0		✓ ✓	
Joggen im Takt	29	767	74,5				150	31,6			

aus [4]

Anregungen wie „Heeldrop“, „Sprünge ohne oder auf dünner Matte“ oder „Springen und Toben von Kindern – auch auf Matten - und alle Arten von Ballspielen (Fallenlassen eines Medizinballs oder Dribbeln mit Basketball) führen zu Schwingungsamplituden, die oberhalb der Grenzwerte für Mietwohnung (und damit auch Eigentumswohnung) liegen.

Das subjektive Empfinden bei diesen Anregungen ist deutlich spürbar und störend, auch in der Nachbarwohnung.

Es wurde empfohlen solche Nutzungen auf einzelne Räume zu beschränken und dort Zusatzmassnahmen vorzusehen.

Ausblick

Ende Mai 2024 hat der Investor Ina Invest des Hochhauses Rocket im Areal Lokstadt in Winterthur entschieden die 25 Wohngeschosse des 100m Hochhauses mit dem HVFD-System zu realisieren. Die unteren 8 Hotelgeschosse werden in reiner Massivbauweise erstellt. Bei Rocket kommt zudem ein hybrides Stabilisierungstragwerk bestehend aus einem minimalen Treppen- und Liftkern sowie einer Rahmenstruktur an den Fassaden der Schmalseiten zur Ausführung.

Zusammen mit dem Holzhochhaus Pi in Zug sind somit bereits ca. 45'000m² des beschriebenen Deckensystems bei lediglich zwei Projekten vorgesehen.

Quellen

- [1] Kreis Benjamin, Dissertation ETHZ 2021, Two-Way Spanning Timber-Concrete Composite Slabs made of Beech Laminated Veneer Lumber with Steel Tube Connection; https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/475052/Kreis_Dissertation_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [2] Ziegler Consultants, Herleitung der Schwingungsanforderungen an die Deckenfelder, Holzhochhaus PI, V-Zug Immobilien, Bericht 2889-04a, 1.4.2020
- [3] Ziegler Consultants, Schwindungsmessung Mock-up, Bericht 2889-06a, 16.12.2020
- [4] Ingenieurbüro Patricia Hamm, Messbericht und Auswertung zur Schwingungsmessung, im Auftrag der Implenia Schweiz AG, 16.9.2021
- [5] «Eurocode 5: Design for timber structures », prEN 1995-1-1 v2023-04-13, Entwurf/Vornorm