

# **Holz-Beton-Verbund als praxistauglicher Weg zum Bauen 4.0**

Timber-Concrete-Composite as practicable way  
to build 4.0

Les systèmes bois-béton comme option pratique pour  
aller vers la construction 4.0

Rainer Strauch  
Cree GmbH  
AT-Bregenz





# Holz-Beton-Verbund als praxistauglicher Weg zum Bauen 4.0

## 1. Die Überarbeitung des Tragsystems LCT

### 1.1. Ausgangssituation und Ziel

Mit den Bauvorhaben LCT ONE in Dornbirn, Österreich, und IZM (Illwerke Zentrum Montafon) in Vandans, Österreich, wurde die Praxistauglichkeit des Tragsystems LCT nachgewiesen. Die Erfahrungen der beiden Bauvorhaben haben jedoch auch Nachteile des Holz-Beton-Verbundsystems verdeutlicht:

- Die langen konventionellen Bauzeiten der Aussteifungskerne (Stiegenhäuser, Aufzugskerne, Erschließungsschächte, Sanitärbereiche, Technikräume) beeinflussten die angestrebte Verkürzung der Ausführungszeit negativ. In der Folge konnten Vorteile aus geringeren Baustellengemein- und Finanzierungskosten nur eingeschränkt realisiert werden.
- Der Fertigungsvorlauf für die Hybrid-Deckenelemente (Holz-Beton-Verbundelemente) war verhältnismäßig lang und betrug beim IZM bis zu 4 Monate. Dazu kamen erhöhte Aufwendungen für Transporte und die notwendige Zwischenlagerung.
- Die Herstellung und Montage der Hybrid-Deckenelemente erwies sich als deutlich teurer als die Vor-Ort-Herstellung einer konventionellen Stahlbeton-Decke in Ort betonbauweise, wengleich hier eingeräumt werden muss, dass eine direkte Vergleichbarkeit der beiden Systeme nicht gegeben ist.

Im Zusammenwirken dieser Nachteile bestehen für das Holz-Beton-Verbundtragsystem LCT perspektivisch Vermarktungsschwierigkeiten aufgrund zu hoher Systemkosten.



Abbildung 1: LCT ONE (2012)



Abbildung 2: IZM (2013)

## 1.2. Begriffsbestimmung «Tragsystem LCT»

LCT steht für «LifeCycle Tower», die Bezeichnung eines Forschungsprojekts zum urbanen Holzbau, welches unter anderem die Entwicklung eines Holz-Verbund-Tragsystems für großvolumige Gebäude und Hochhäuser zum Ziel hatte. Die daraus abgeleitete Begrifflichkeit «Tragsystem LCT» umfasst alle Konstruktionsbestandteile in Holz sowie in Holz-Beton-Verbundbauweise entsprechend der nachstehenden Abbildung. Hauptmerkmale des Tragsystems LCT sind

- Modularisierung und Systematisierung
- Hoher Wiederholungs- und damit Vorfertigungsgrad
- Optimiertes Materialvolumen (Holz, Beton, Stahl).

Damit bietet das Tragsystem LCT Kosten- und Qualitätssicherheit sowie einen um bis zu 70% verringerten Ressourcenverbrauch gegenüber konventionellen Tragsystemen aus Beton, Stahl oder Mauerwerk.

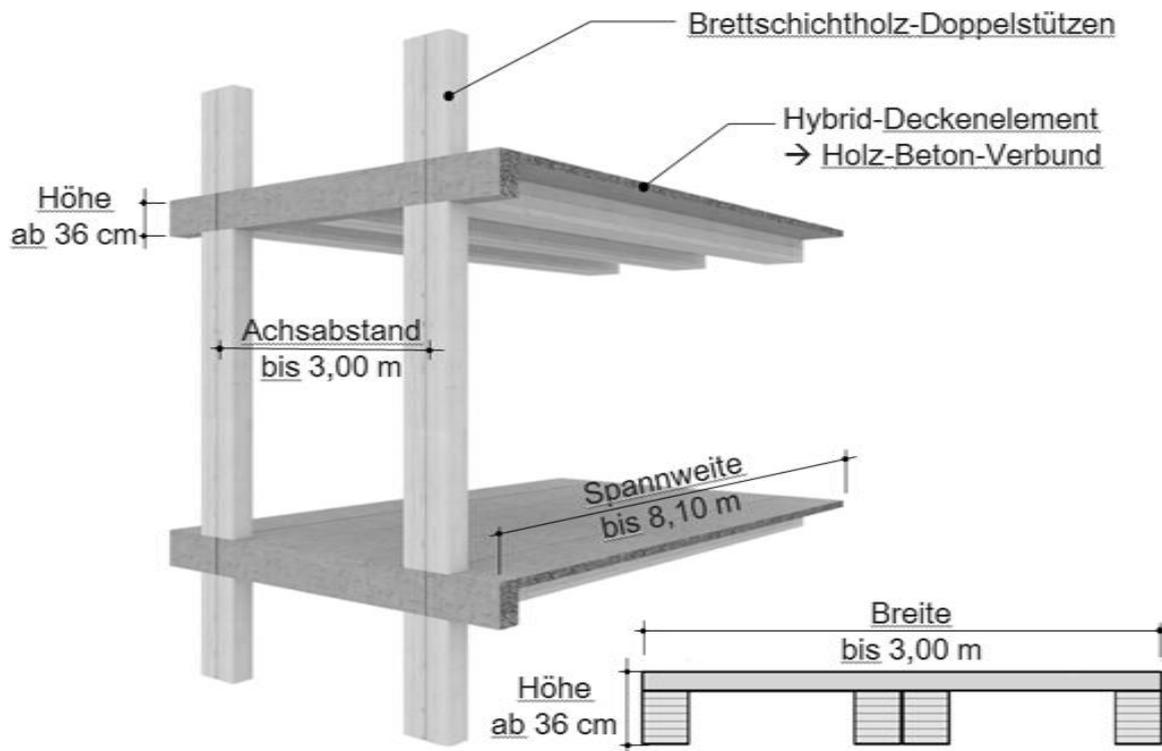


Abbildung 3: Das Tragsystem LCT

## 1.3. Anforderungen an das Tragsystem LCT

### Nachhaltiger Systembaugedanke

Die Vorfertigungs- und Systembauansprüche an das Tragsystem sollen im bestmöglichen und sinnvollen Umfang aufrechterhalten werden.

### Deutliche Kostenreduzierung

Die derzeitigen Herstellkosten belaufen sich auf 200,- bis 250,- Euro pro m<sup>2</sup> systemüberdeckte Fläche. Die Überarbeitung des Tragsystems LCT hat zum Ziel, die Herstellkosten auf 100,- bis 150,- Euro pro m<sup>2</sup> systemüberdeckte Fläche zu senken. Damit wäre die Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich mit konventionellen Stahlbeton-Tragsystemen in Ortbeton-Bauweise erreicht.

### Hohe Montagegeschwindigkeit

Die im Rahmen der Bauvorhaben LCT ONE und IZM erreichte Montagegeschwindigkeit beim Tragsystem (Stützen- und Deckenmontage) ist ausreichend. Aufgrund der gewählten Integration der Stützen in die Außenwände wurde darüber hinaus eine extrem kurze Gesamt-Errichtungszeit für das witterungsdichte Gebäudevolumen (Dach und Außenwände einschließlich Fenster komplett witterungsdicht) erreicht.

### Optimiertes Montagekonzept

Mit der Überarbeitung des Montagekonzepts sollen Fertigungsvorlaufzeiten, Transporte, Lagerflächenbedarf und Montageablauf optimiert werden (insbesondere hinsichtlich Zeit und Kosten).



Abbildung 4: Wandmontage



Abbildung 5: Deckenmontage

### Technische Qualität und universelle Einsetzbarkeit

Aufgrund des konsequenten Modularisierungs- und Systemisierungsansatzes bestehen technische und geometrische Einschränkungen hinsichtlich der flexiblen Verwendbarkeit des Tragsystems LCT. Für die Überarbeitung ergeben sich daher folgende technische und geometrische Zielformulierungen:

- Vergrößerung der Stützenabstände in der Fassadenachse; dies erfordert eine statische und geometrische Entkoppelung der Deckenelemente (Breite für Straßentransport limitiert auf 3,00 m) von der Auflagerung entlang der Fassadenachse
- Flexible Geometrie für unregelmäßige Gebäudegrundrisse
- Einhaltung gesetzlicher Schallschutzanforderungen ohne zusätzliche technische Maßnahmen
- Integrierte Heiz- und Kühlfunktion über oberflächennah in die Betonplatte eingelegte Kapillarrohrmatten
- Nutzlasten von  $500 \text{ kg/m}^2$  und darüber hinaus
- Einbau von Leerverrohrungen und Deckenauslässen für Elektroinstallationen
- Reduzierung von vorimplizierten Durchbiegungen der Verbund-Fertigteile infolge des herstellungsbedingten Betonschwindens während des Abbindens
- Eigenfrequenz des Hybriddeckenelements mindestens im Bereich von 8 bis 12 Hz
- Vermeidung exzentrischer Lasteintragungen in Holzstützen und Randbalken
- Brandlastunabhängige Zugverankerung zwischen den Brettschichtholz-Längsbalken und den Stahlbeton-Querbalken im Bereich der Plattenenden
- Einfache Schub- und Zugkraftkoppelungen zwischen den Deckenplatten, um die statische Scheibenwirkung der Deckenfläche sicherzustellen.

Die vorgenannten Anforderungen und Maßnahmen wurden in verschiedenen Weiterentwicklungen mehr oder weniger erfolgreich umgesetzt. Nachfolgend werden zwei Praxisbeispiele vorgestellt: Das Bauvorhaben «Wagner» in Nüziders, Österreich, und das Bauvorhaben «BTV» in Memmingen, Deutschland.



Abbildung 6: Erweiterung «Wagner» (2014)



Abbildung 7: Neubau «BTV» (2015)

## 2. Praxisbeispiele

### 2.1. Erweiterung «Wagner» (2014) in Nüziders, Österreich

Die Aufstockung um zwei Etagen auf einem bestehenden Untergeschoss verlangte eine leichte Konstruktion mit verhältnismäßig großer Spannweite. Im Kostenvergleich setzte sich die Holz-Beton-Verbundlösung gegenüber einer Nur-Holz-Konstruktion durch. Dabei kam erstmalig eine Weiterentwicklung des Tragsystems LCT zum Einsatz: Die Ausführung mit nachträglichem Schraubverbund. Außerdem wurden über oberflächennah eingelegte Kapillarrohrmatten erstmals die Funktionen Heizen und Kühlen in den Betonteil des Tragsystems LCT integriert. Mit der hier gewählten Ausführung wurden folgende Ziele der Weiterentwicklung erreicht:

- Vergrößerung der Stützenabstände in der Fassadenachse; der Stützenabstand wurde mit einem Achsraster von 4,63 m auf die gemauerten Bestandspfeiler im Untergeschoss ausgerichtet, die Stahlbeton-Fertigteilplatten (Länge 7,18 m x Breite 2,30 m) liegen auf einem BSH-Balkenrost aus Sekundärträgern und Längsträgern mit Durchlaufwirkung (im vorliegenden Projekt konnte auf die Ausbildung eines durchlaufenden Stahlbetonbalkens aus Brandschutzgründen verzichtet werden)
- Flexible Geometrie für unregelmäßige Gebäudegrundrisse möglich; die Stahlbeton-Fertigteilplatten können jede erdenkliche Form annehmen, womit die Gebäudegeometrie lediglich durch die Linearität der Holzkonstruktion limitiert wird
- Integrierte Heiz- und Kühlfunktion über oberflächennah in die Betonplatte eingelegte Kapillarrohrmatten
- Nutzlaste 500 kg/m<sup>2</sup>
- Einbau von Leerverrohrungen und Deckenauslässen für Elektroinstallationen
- Reduzierung von vorimplizierten Durchbiegungen der Verbund-Fertigteile infolge des herstellungsbedingten Betonschwindens während des Abbindens; der nachträgliche Schraubverbund ermöglicht eine vorimplizierte Überhöhung durch temporäre Unterstützung der Sekundärbalken bis nach der vollständigen Verschraubung
- Eigenfrequenz des Hybriddeckenelements mindestens im Bereich von 8 bis 12 Hz; es wurden zwischen 8 und 9 Hz im eingebauten Zustand sowie zwischen 9 und 10 Hz an einem Versuchsaufbau gemessen
- Brandlastunabhängige Zugverankerung zwischen den Brettschichtholz-Längsbalken und den Holz-Querbalcken im Bereich der Plattenenden (Schrägverschraubung)
- Einfache Schub- und Zugkraftkoppelungen zwischen den Deckenplatten, um die statische Scheibenwirkung der Deckenfläche sicherzustellen; die Scheibenwirkung wird einfach erreicht, indem jeweils zwei benachbarte Platten auf ein und demselben Holzbalken gestoßen und verschraubt werden.

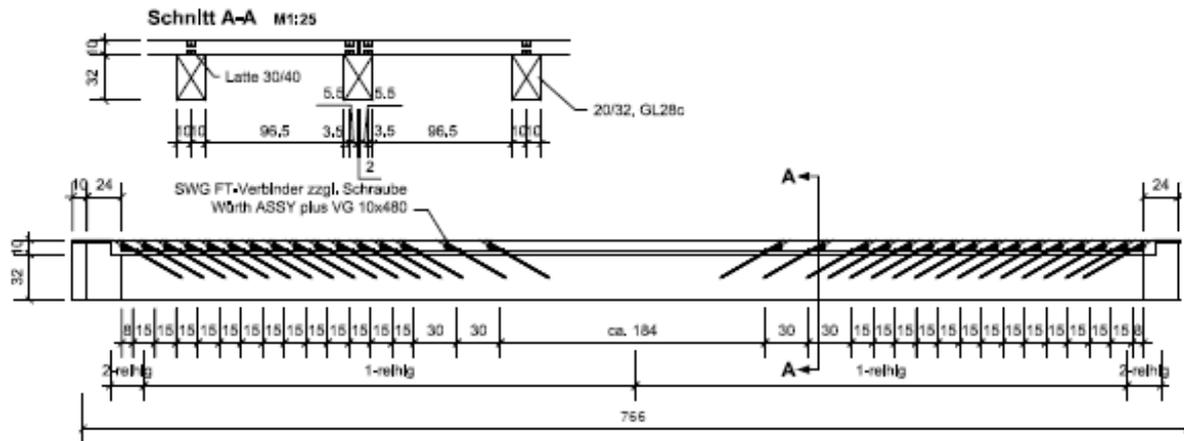


Abbildung 8: Die Decke mit nachträglichem Schraubverbund

Die Bauweise, bei der die beiden Baustoffe Holz und Beton erst vor Ort und nicht schon im Fertigteilwerk verbunden werden, bietet außerdem folgende Vorteile: Der Bauablauf rückt wieder einen Schritt näher an die Wurzeln des Holzbaus. Das Tragwerk aus Holz wird von Zimmerleuten vor Ort erstellt und die im Werk vorgefertigten Betonplatten erst danach geliefert und verschraubt. Dadurch wird die Logistik effizienter, denn es wird weniger leeres Volumen transportiert. Die Holzträger können ebenso kompakt gestapelt und angeliefert werden wie die Betonplatten.



Abbildung 9: BSH-Balkenrost



Abbildung 10: Stahlbeton-Fertigteilplatte



Abbildung 11: Nachträglicher Schraubverbund

## 2.2. Neubau «BTV» (2015) in Memmingen, Deutschland

Beim Neubau der BTV (Bank für Tirol und Vorarlberg) in Memmingen kommt eine Modifizierung des Tragsystems LCT zum Einsatz, die sich im Gegensatz zur Decke mit nachträglichem Schraubverbund wieder stärker an der beim LCT ONE und IZM verwendeten Ausführung orientiert. Der Holz-Beton-Verbund wird auch hier wieder bereits im Fertigteilwerk durch die Ausbildung von Nocken in der Balkenoberseite hergestellt. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch in der konstruktiven und fertigungstechnischen Trennung des Stahlbeton-Randträgers vom Holz-Beton-Verbundelement. Außerdem wird mit dem Einsatz von Seilschlaufen-Boxen erstmals ein hocheffizientes Verbindungsmittel zwischen benachbarten Platten eingesetzt.

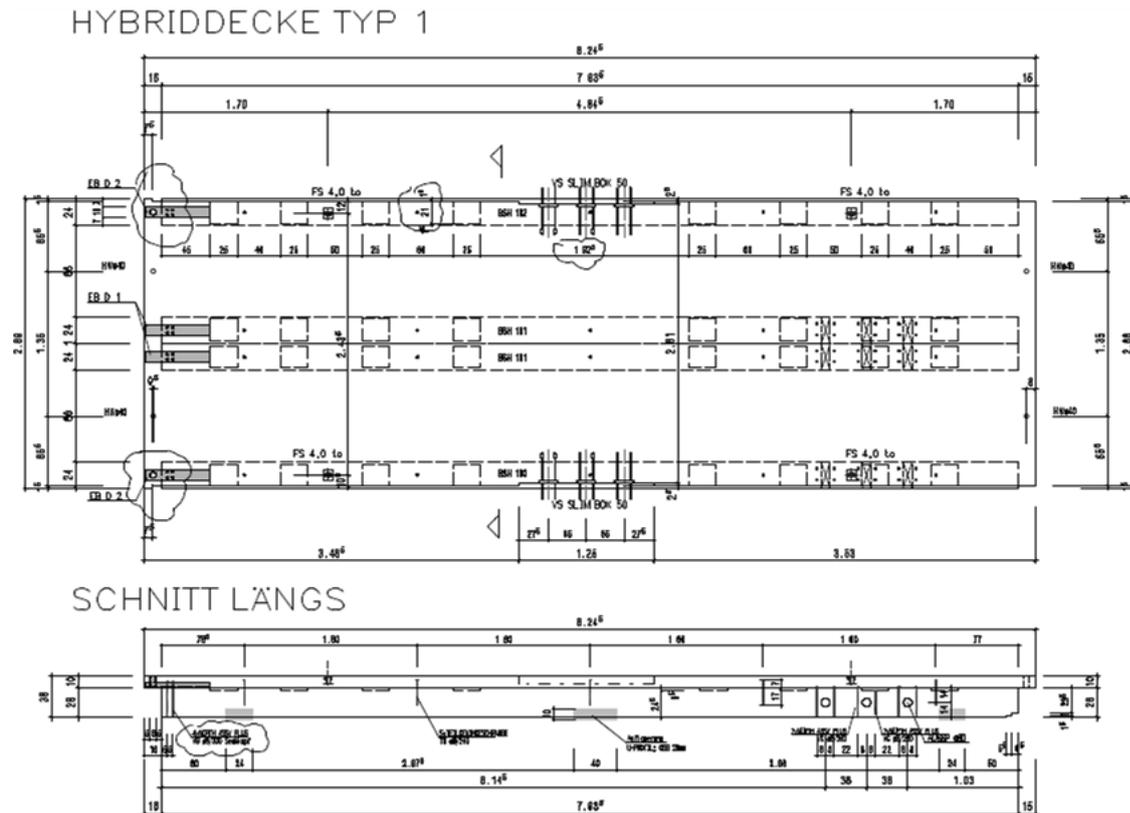


Abbildung 12: Die Decke mit abgelöstem Stahlbeton-Randbalken

Mit der modifizierten Ausführung wurden folgende Ziele der Weiterentwicklung erreicht:

- Vergrößerung der Stützenabstände in der Fassadenachse möglich; über mehrere Felder durchlaufende Stahlbeton-Randträger erlauben eine nahezu beliebige Stützenstellung entlang der Fassadenachsen, die Holz-Beton-Verbunddeckenplatten (Länge 8,25 m x Breite 2,70 m) werden über einen Stahlrohr-«Galgen» torsionsfrei auf dem Stahlbeton-Randträger aufgelegt
- Flexible Geometrie für unregelmäßige Gebäudegrundrisse eingeschränkt möglich
- Integrierte Heiz- und Kühlfunktion über oberflächennah in die Betonplatte eingelegte Kapillarrohrmatten möglich, da wegen der Seilschlaufen-Boxen auch hier eine Betondeckenstärke von 10 cm erforderlich ist
- Nutzlaste 500 kg/m<sup>2</sup>
- Einbau von Leerverrohrungen und Deckenauslässen für Elektroinstallationen möglich bei Einhaltung der brandschutztechnisch erforderlichen Betonüberdeckung
- Vermeidung exzentrischer Lasteintragungen in Holzstützen und Randbalken; die Lasten aus den Holz-Beton-Verbunddeckenplatten werden über einen Stahlrohr-«Galgen» zentrisch und torsionsfrei in den Stahlbeton-Randträger eingeleitet
- Brandlastunabhängige Zugverankerung zwischen den Brettschichtholz-Längsbalken und den Holz-Querbalken im Bereich der Plattenenden (Stahlrohr-«Galgen»)
- Einfache Schub- und Zugkraftkoppelungen zwischen den Deckenplatten, um die statische Scheibenwirkung der Deckenfläche sicherzustellen; die Scheibenwirkung wird durch das Vergießen der Seilschlaufen-Boxen erreicht, wobei die Anzahl der Boxen flexibel auf die projektabhängige Belastung ausgelegt wird.



Abbildung 13: Hybriddecke ohne Randbalken

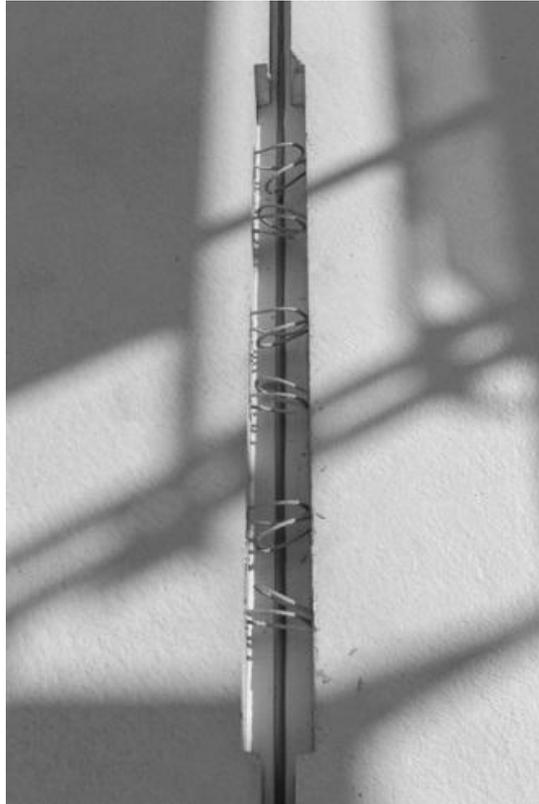


Abbildung 14: Seilschlaufen-Schubverbindung

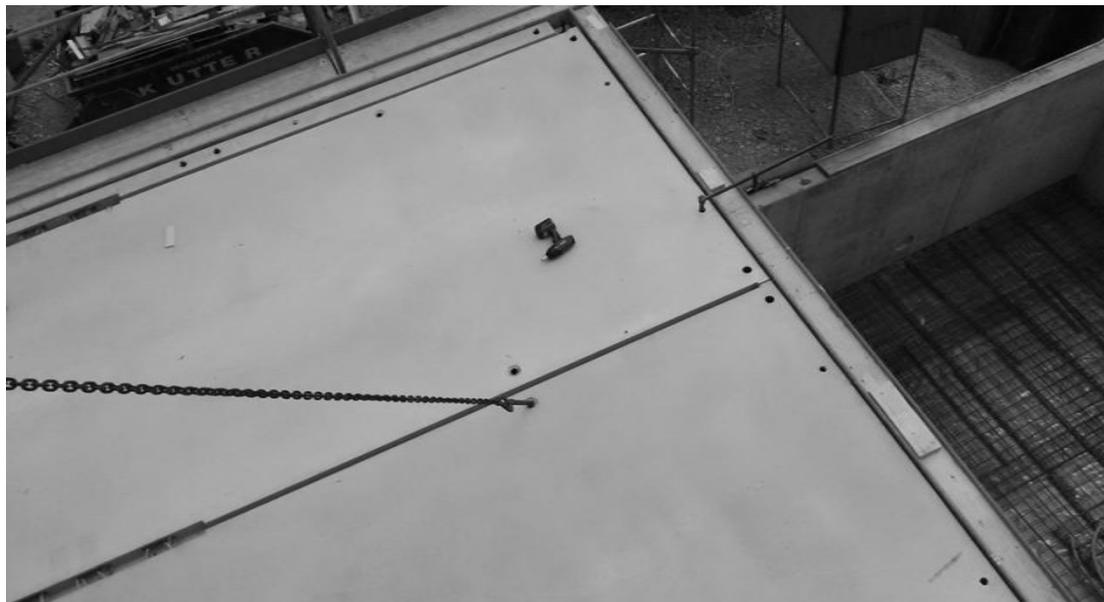


Abbildung 15: Geschlossene Deckenebene (Fugen und Hülsen werden im Anschluss vergossen)

An drei Montagetag innerhalb einer Woche wurden 800 m<sup>2</sup> witterungsdicht umbaute Nutzfläche geschaffen. Der Innenausbau startete unmittelbar im Anschluss.

### 3. Der Weg zum Bauen 4.0

#### 3.1. Die öko-industrielle Revolution für Gebäude

Bauen hat trotz neuester Baustoffe und Technologie heute noch den Charakter eines eher archaischen Unterfangens. Die aus der Industrie längst bekannten Prinzipien und Prozesse sind nicht annähernd umgesetzt, wenn überhaupt umsetzbar. Dies hat viele Gründe und wurde in den letzten Jahrzehnten immer wieder durch verschiedene Konzepte versucht zu ändern. Wesentliche Grundsätze sind:

- Hoher Wiederholungsgrad identischer Bauteile (= Systematisierung)
- BIM und modulare Planung ersetzen konventionelle Planung
- Logistikkonzept ersetzt Bauablaufplan

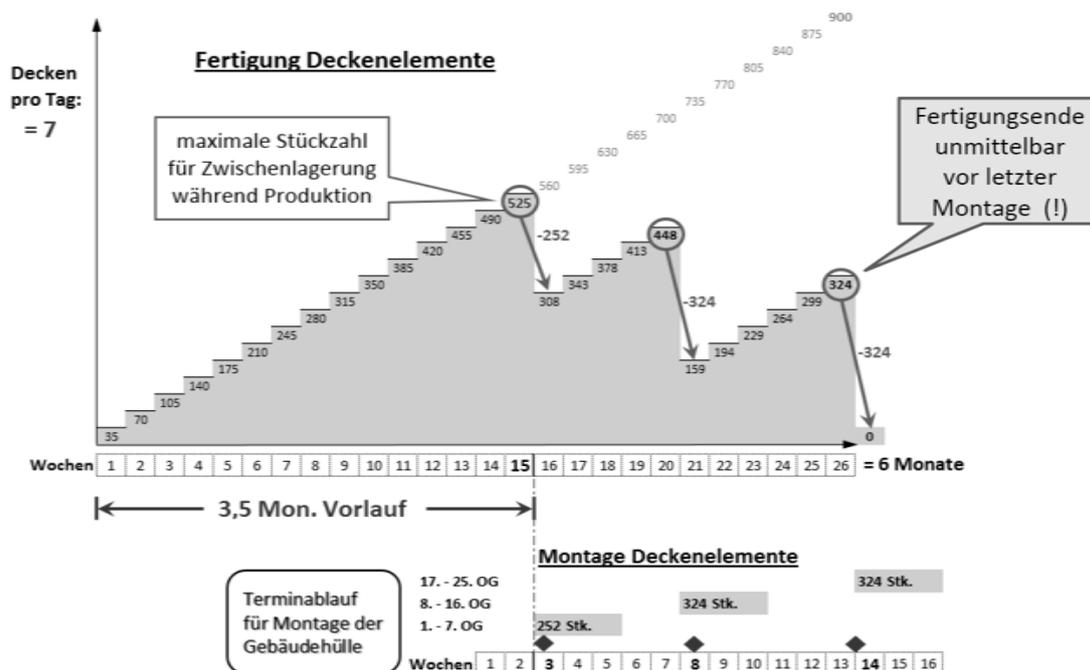


Abbildung 16: Logistikkonzept am Beispiel LCT 101

- Montage ersetzt Bauprozess
- Ausbau/Technik wird zusammen mit den Deckenelementen eingebracht
- 50% weniger Gebäudetechnik-Installationen (insbesondere Kabel und Leitungen)
- Thermische Qualität der Gebäudehülle (U-Werte und Luftdichtigkeit wie Passivhaus)
- Montage des LCT-Systems (= wetterdichtes Gebäudevolumen) in 1 Tag/Stockwerk
- gesundheitlich unbedenkliche und baubiologisch positiv wahrgenommene Baustoffe
- Baustoffe aus erneuerbaren Quellen (Naturbaustoffe, Recyclingprodukte, ...)

Im Zuge der 4. Industriellen Revolution (auch «Industrie 4.0» genannt) zeichnet sich auch im Bausektor die Notwendigkeit einer tiefgreifenden Veränderung ab. Dafür steht der Begriff «Bauen 4.0».

### 3.2. Was hat das mit Holz-Beton-Verbundbau zu tun?

Holz-Beton-Verbundbau ist eine smarte Kombination verschiedener Baumaterialien mit dem Ziel, den Volumenanteil nicht erneuerbarer Rohstoffe in zukünftigen Gebäuden drastisch zu reduzieren. Im Tragsystem LCT kommt beispielsweise bis zu 70% weniger Stahlbeton zum Einsatz. Darüber hinaus ist der Holzbau seit Jahrzehnten auf Vorfertigung ausgerichtet, produziert und montiert auf Millimeter genau und extrem schnell. Die Qualität ist wesentlich höher und kann vorab im Werk abgenommen werden.

Im Gegensatz zu Beton- und Ziegelvorfertigung kann hier bereits Ausbauleistung integriert werden. Wichtigster Vorteil dabei: Nach einer kurzen Montagezeit ist das Gebäude dicht, sauber und fertig für den ungestörten und nicht störenden Innenausbau.



Abbildung 17: Ausbaufertiger Innenraum (1 Tag nach der Montage)

Möglich ist dies durch die Verwendung einer Holz-Beton-Verbundbauweise, bei der mit höchster Genauigkeit produziert und montiert werden kann. Konventionelle Fertigteilbauweisen bilden jeweils nur den Rohbau ab und sind nicht zuverlässig abzudichten.

### 3.3. Ein Blick in die Zukunft – der LCT 101

Am Beispiel des LCT 101 wurde das Konzept «Bauen 4.0» erstmals durchgespielt. So ist zum Beispiel die Planung auf Basis vorhandener Systemteile erfolgt und unter dem Gesichtspunkt der Logistik bzw. Montage optimiert. Es handelt sich weniger um eine Baustelle als um eine Montage. Der Bau des 100 m hohen Kerns erfolgt in 3 Monaten (klettern). Die Montage des Tragsystems LCT (25 Stockwerke) ist mit vier Kränen in einem Monat abgeschlossen und das Gebäude einschließlich der Außenwandkonstruktion dicht. Wesentliche Ausbaumaterialien und Haustechnikkomponenten werden gleich zusammen mit den Deckenelementen eingebracht und damit in jedem Stock vorgehalten.

**Zusammenfassend** kann gesagt werden, dass ein derart optimiertes Gebäude mit einer konventionellen Bauweise nicht günstiger hergestellt werden kann. Der Schlüssel liegt jedoch in der Konsequenz bei der Planung, in den Vorgaben hinsichtlich der Holz-Beton-Verbundelemente sowie in der Integration der Gebäudetechnik in das Tragsystem LCT. Das bedeutet auch eine völlig neue Art der Organisation und Zusammenarbeit und ist nur möglich, wenn Systemanbieter und Gesamtdienstleister aus dem Baubereich und dem Technologiesektor eng zusammenarbeiten.

Bauen 4.0 bedeutet einen Bruch mit herkömmlichen Vorgehensweisen. Dies ist eine große Herausforderung, birgt aber noch größeres Potential. Genau wie der Schiffbau, die Maschinen- oder die Automobilindustrie wird auch die Bauindustrie ungeahntes Effizienzpotenzial entfalten und damit neues nachhaltiges Wachstum schaffen.