

CHRISTOPH M. ACHAMMER / IVA KOVACIC (HG.)

INNOVATIONSINKUBATOR INDUSTRIEBAU

INDUSTRIAL BUILDING AS
INNOVATION INCUBATOR

PRAXISREPORT 2019

Christoph M. Achammer / Iva Kovacic (Hg.)

INNOVATIONSINKUBATOR INDUSTRIEBAU
INDUSTRIAL BUILDING AS INNOVATION INCUBATOR

Praxisreport 2019

Praxisreport 2019

Herausgeber	Univ.Prof. Dipl.-Ing. Christoph M. Achammer Univ.Profin. Dipl.-Ing. Dr.techn. Iva Kovacic
Redaktion	Iva Kovacic
Gestaltung und Lektorat	Isolde Tastel Alle: Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement E234-02 Forschungsbereich Integrale Bauplanung und Industriebau Technische Universität Wien
Bildrechte	Das gesamte Bildmaterial wurde von den AutorInnen beigestellt.
Verlag	Eigenverlag TU Wien, E 234-02 ISBN 978-3-200-06660-1

INNOVATIONSINKUBATOR INDUSTRIEBAU INDUSTRIAL BUILDING AS INNOVATION INCUBATOR

Praxisreport 2019

Herausgeber:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Christoph M. Achammer
Univ.Profin. Dipl.-Ing. Dr. Iva Kovacic

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement E234-02
Forschungsbereich Integrale Bauplanung und Industriebau
Technische Universität Wien

Scientific Committee:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter **Ferschin**
TU Wien, E259 - Institut für Architekturwissenschaften

Associate Prof. Mag.rer.soc.oec. PhD Michael **Filzmoser**
TU Wien, E330 - Institut für Managementwissenschaften

Senior Scientist Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. Marijana **Sreckovic**
TU Wien, E234-02 - Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Integrale Bauplanung und Industriebau

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Arch. Dr.phil. Georg **Suter**
TU Wien, E259 - Institut für Architekturwissenschaften

Dr Vedran **Zerjav**
The Bartlett Sch of Const & Proj Mgt, Faculty of the Built Environment

Intro

PhD Day

Process Innovation

Process-Specific Perspectives

Impressum	2	<i>What will industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction look like in the future?</i> ANITA DIRMEIER , TU Wien	29	<i>Imperceptible Technologies for Enhanced Environments</i> VLADIMIR BULOVIĆ , Massachusetts Institute of Technology (MIT)	95	<i>Erste Campus - mehr als nur ein Arbeitsplatz</i> MARKUS POSCH , Erste Group Bank AG	121
Vorworte							
IVA KOVACIC TU Wien	7	<i>Conceptual Framework for a Building Design Process using Lean & Agile Principles, BIM and ERP</i> MANUEL KRAUS , TU Wien	47	<i>Mactan Cebu International Airport, Philippinen</i> ANTON WANAS , Rubner Holzbau	103	<i>Customer Value Delivery in construction through early stage data-driven planning - results of two case studies</i> SVENJA OPRACH ,	135
CHRISTOPH M. ACHAMMER TU Wien	11	<i>VR/AR in Design Management: Use-cases and Future Research</i> MING SHAN NG , ETH Zürich	55			Karlsruhe Institute of Technology (KIT) BMW AG	
Würdigung							
DEGENHARD SOMMER TU Wien	15	<i>Challenges and opportunities for future industrial transformation in the urban context: the use case of Stuttgart's industrial estates</i> KATHRIN QUANTE , Uni Stuttgart	61				
		<i>Flexible Structural Design 4.0 – Proposal for BIM-based digital planning and optimization of flexible building structures for Industry 4.0</i> JULIA REISINGER , TU Wien	67				
		<i>Timber Industry meets BIM and Lean – How to deliver multi-storey timber buildings</i> AIDA SANTANA SOSA , TU Wien	73				
Piece by Piece: Der Justizpalast von Paris							
Bernard Plattner Renzo Piano Building Workshop	21	<i>Impact of Exoskeletons on Life-Cycle Primary Energy Consumption and CO2e Emissions of Tall Buildings</i> ARYAN SHAHABIAN , TU Wien	79				
		<i>Framework for interdisciplinary data exchange between architectural design and structural analysis models</i> GORAN SIBENIK , TU Wien	85				
		<i>Data model - Determining the specific information demand in planning, building and operation of real estate</i> WIEBKE UHLENBRUCH , Uni Stuttgart	89				

Process Integration

Asset Information Management for design, construction and operation

JANOSCH **KISCH**, SIEMENS **151**

*HOERBIGER Firmengebäude
Raum für Innovation*

MARTIN **LANGER**, **159**
HOERBIGER Wien GmbH
JAKOB **DUNKL**,
querkraft architekten zt gmbh
KARL **FRIEDL**, M.O.O.CON GmbH

Automation in Construction

*Additive Fertigung im Bauwesen:
Stand der Technik und eigene Arbeiten*

KLAUDIUS **HENKE**, **179**
Technische Universität München

*Integration von Fabrikplanung und -betrieb
in Building Information Modeling (BIM)*

PEGGY **NÄSER**, **193**
Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg
(BTU)

Concrete Choreography

ANA **ANTON**, **203**
ANGELA **YOO**,
ETH Zürich

Innovation in Construction

Module im Wohnungsbau

CHRISTIAN **KERN**, TU Wien **215**

*Innovation in Industrialized Construction:
Emerging business models and technical
approaches from Silicon Valley*

DANIEL **HALL**, ETH Zürich **239**

Outro

Sponsoren

247

Vorwort



Das Bauwesen befindet sich auch als stark männerdominierte Domäne im Wandel.

Nach 100 Jahren Frauenstudium an der TU Wien kann die Fakultät für Bauingenieurwesen drei Professorinnen vorweisen – Prof. Azra Korjenic, Prof. Agathe Robisson und Prof. Iva Kovacic. Auch deutsche Universitäten haben in den letzten Jahren weibliche Kolleginnen berufen – so RWTH Aachen Prof. Sigrid Brell. Letztendlich hat in 2019 die 16jährige Schülerin Greta Thunberg die Welt im Kampf für den Klimaschutz bewegt.

Die neuen Wege und Lösungsansätze für diese urgenten Themen unserer Zeit – Digitalisierung der Planungs- und Bauprozesse, Ressourceneffizienz, erneuerbare Materialien und Bauweisen – und damit verbundene Forschungsprojekte als auch Realisierungen möchten wir in dieser Publikation zum Industriebau-seminar 2019 dokumentieren.

Iva Kovacic hat Architektur an der TU Wien studiert und war anschließend als Architektin in Architekturbüros in Wien und München tätig. Berufsbegleitend absolvierte sie einen Lehrgang über Bauprojektmanagement an der Bauhaus-Universität Weimar. Nach ihrem Studienabschluss ist sie seit 2002 dem Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement verbunden, wo sie 2005 mit dem Thema „Developing strategies for sustainable planning: building as dynamical system“ promovierte.

Im Jahr 2016 erlangte sie die Venia Docendi für Integrale Planung mit einer Habilitationsschrift zum Thema „Advances in integrated building design and planning methodology: exploratory studies for the optimisation of people - process - technology interaction in the architecture, engineering and construction (AEC) industry“. Sie ist Leiterin des Forschungsbereichs Integrale Bauplanung und Industriebau am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Mitglied und Principal Investigator im Kooperationszentrum TU Wien GCD - The Center for Geometry and Computational Design und leitende Forscherin in FWF Spezialforschungsbereichen: „Advanced digital Design“. Zudem ist sie Sprecherin der Personengruppe der Professor_innen im Senat für die Periode 2019-2022.





Klimawandel, wachsende Urbanisierung und Digitalisierung stellen im Augenblick die größten Herausforderungen für die Planung und Bauindustrie dar.

Der Gebäudesektor ist global für fast 50% des Energieverbrauchs, über 40% der CO₂ Emissionen verantwortlich, als auch für 40% des Ressourcenverbrauchs und 20% des Abfalls, sowie für fast 20% des Wasserverbrauchs (GBC, 2013). Der globale Ressourcenverbrauch wird sich im Vergleich zu 2020 (SERI, 2013) in 2030 verdoppelt haben. Durch zunehmende Urbanisierung – 54% der Weltbevölkerung leben bereits in den Städten (UN DESA, 2015) – steigt der Ressourcenverbrauch als auch das Abfallaufkommen rasant. Durch den starken Zuzug in die städtischen Räume wächst die Nachfrage nach Wohnraum und durch stetig steigende Wohnpreise wird die Problematik des leistbaren Wohnens zunehmend verstärkt.

Die Bauindustrie zählt zu den am wenigsten digitalisierten Industrien, als auch zur Industrie mit stetig abfallender Produktivität im Vergleich mit der Gesamtwirtschaft (McKinsey, 2016).

Jedoch birgt gerade die Digitalisierung der Planungs- und Bauprozesse großes Potential, die innovativen Lösungen zur Problematik der Energie- und Ressourceneffizienz als auch der Leistbarkeit zu entwickeln.

Durch zunehmenden Einzug der digitalen Werkzeuge wie Building Information Modelling und Parametric Design, sowie starke Simulationsplattformen können frühzeitige Modellierungen, Prognostik und Optimierung der komplexen Systeme ermöglicht werden, wodurch der Lebenszyklus der Gebäude wesentlich verbessert werden kann.

Zunehmend rücken erneuert die industrielle Bauproduktion und Vorfertigung in den Fokus, da durch Digitalisierung der Planungsprozesse ein partizipatives und individualisiertes Design bei modularen, vorgefertigten Objekten ermöglicht wird.

Gezeichnet

Univ.Profin. Dipl.-Ing. Dr.techn. Iva Kovacic

Literatur:

GBC, 2013. www.usgbc.org, cres.org.

McKinsey, 2016. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>

SERI, 2013. www.materialflows.net

UN DESA, 2015. <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html>

Vorwort



Das 24. Industrieauseminar im Juni 2019 trug den Titel „Innovationsinkubator Industriebau“.

Damit wollten wir eigentlich jenen Umstand würdigen, der bei intensiver Befassung ein erstaunliches Ergebnis zutage fördert. Dass nämlich der Industriebau es war, der seit seiner Entstehung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf allen Gebieten des Bauens und der Architektur die entscheidenden Innovationen ausgelöst hat.

Die Auseinandersetzung mit neuen Materialien wie Stahl, Glas und Stahlbeton, die Bewältigung großer freitragender Strukturen, die industrielle Formensprache als Befreiung aus dem Historismus und nicht zuletzt die immer wiederkehrende Adaptierung neuer industrieller Prozesse in die nachhinkenden Abläufe des Planens und Bauens, waren und sind Beweise für die Innovationskraft des Industriebaus.

Der großartigen Einleitung des Festvortrages von Bernard Plattner, Gründungspartner im Renzo Piano Building Workshop folgend, befassten sich wieder mehr als ein Dutzend Wissenschaftler_innen, Architekt_innen, Ingenieur_innen und Bauherrenvertreter_innen mit diesem Thema und legten ein eindrucksvolles Zeugnis über die Richtigkeit dieser These ab.

Der Architekt und Universitätsprofessor Christoph M. Achammer ist Vorstandsvorsitzender von ATP architekten ingenieure, mit ca. 900 Mitarbeitenden das führende Büro für INTEGRALE PLANUNG in Europa. Mit Headquarter in Innsbruck (AT) plant ATP an zehn europäischen Standorten in DACH und CEE für Bauherren aus Industrie, Immobilienwirtschaft, Handel und Gesundheit, unterstützt durch eigene Sonderplanungs-, Forschungs- und Consultinggesellschaften. ATP-Kernkompetenz ist seit 40 Jahren die Integrale Planung. Diese gilt als notwendige Voraussetzung für höchste Planungsqualität und -sicherheit, als Schlüssel für nachhaltige, ressourcen- und lebenszyklusorientierter Gebäude. Die Kultur der Zusammenarbeit wird in einer lernenden Corporate Structure gelebt. Partner, Associate Partners und Associates repräsentieren die ATP-Unternehmenskultur.

Der Pionier für Integrale Planung im deutschsprachigen Raum und Early Mover in der Anwendung von Building Information Modeling (BIM) treibt heute auch die Digitalisierung der Baubranche voran. Der von ATP entwickelte und seit 2014 durchgehend angewandte BIM-Standard floss in die 2015 in Kraft getretene Österr. BIM-Norm ein (ÖNORM A 6241). Als Univ.Prof. der TU Wien, FOB Integrale Bauplanung und Industriebau, beschäftigt sich Christoph M. Achammer mit der Forschung zu Integraler Planung, Lebenszyklusorientierung, BIM und Digitalisierung.





Was wir alle nicht wissen konnten, war, dass die Dokumentation dieses 24. Industrieauseminars und seiner zentralen Feststellung der Wichtigkeit des Industriebaus, zugleich ein Vermächtnis für den im 90. Lebensjahr verstorbenen Gründer des Instituts für Industriebau an der Technischen Universität Wien und gleichzeitig Vater dieser Veranstaltungsreihe werden sollte. Ich sehe es deshalb als angebracht, dieser Dokumentation einen Nachruf auf meinen Vorgänger, Förderer und väterlichen Freund voranzustellen.

Verbunden mit dieser Erinnerung wünsche ich Ihnen, in nicht ganz freiwillig digitalen Zeiten, eine interessante Nachlese spannender dreier Tage im Juni 2019.

Gezeichnet
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Architekt Christoph M. Achammer

Ein Nachruf

von Christoph M. Achammer



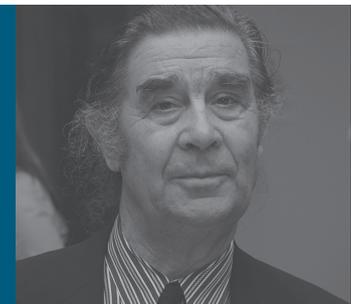
Mit Degenhard Sommer geht ein ganz Großer des europäischen Industriebaus. Sein Leben war ein einziges Zeugnis der industriellen Entwicklung im Nachkriegseuropa. Seine Biographie spiegelt in vielen Details das wider, was „industrial“ bedeutet, und was im Gegensatz zu vielen europäischen Ländern immer noch zum Rückgrat der deutschen und österreichischen Volkswirtschaft und Gesellschaft gehört.

Geboren am 8. Dezember 1930 in Gerdauen als Sohn eines Bauunternehmers und Enkel eines Pastors im östlichsten Zipfel Ostpreußens führte er, fünfzehnjährig, in einer abenteuerlichen Flucht seine Schulkameraden in den Westen und landete in Schleswig-Holstein, wo er 1951 in Eutin sein Abitur machte. Seinen väterlichen Wurzeln und den ökonomischen Notwendigkeiten folgend absolvierte er eine Maurerlehre, die es ihm dann ermöglichte, ab 1952 an der TH Karlsruhe sein Architekturstudium zu beginnen. Nach drei Jahren brachte ihn ein Fullbright-Stipendium an das „Illinois Institute of Technology“ in Chicago – der Stadt von Ludwig Mies van der Rohe und Skidmore Owings & Merrill, wo er ein Jahr lang integrale Designerluft schnupperte. Ein Stipendium der Wyoming-Stiftung ermöglichte ihm ein weiteres Reisejahr durch die USA mit Städte- und Industriebauerfahrung, bevor er – 1958 zurück in Deutschland – in Karlsruhe sein Diplom bei Egon Eiermann machte.

Geboren am 8. Dezember 1930 in Gerdauen (D). Ab 1952 Architekturstudium an der TH Karlsruhe, 1955 Fullbright-Stipendium für das „Illinois Institute of Technology“ in Chicago. 1958 Diplom bei Egon Eiermann in Karlsruhe, 1959 Gründung der „Lenz Planen und Beraten Gesellschaft“ mit Kollegen. Promotion bei den Professoren Haupt und Eiermann über „vorgehängte Wände als US-Erfahrung mit Curtain Walls“.

1973 Berufung als erster Professor für das neu gegründete Institut für Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung an die TU Wien (bis 1997). 1977 Verleihung des Anton-Benja-Preises. Ab 1980 Abhaltung der von ihm gegründeten „Internationalen Industriebau-Seminare“. Gründung der „Österreichischen Studiengemeinschaft für Industriebau“ mit Verleihung des ersten österreichischen „Industriebaupreises“.

Prof. Dr. Sommer war Head der UIA Working Group „Working Places and Commercial Spaces“ und hatte die Leitung des Bereichs Industriebau im CIB, Conseil International du Batiment inne, ebenso konnte er auf maßgebliche Arbeit in der deutschen „Arbeitsgemeinschaft Industriebau“ (AGI) zurückblicken.





Nach so viel „thinking big“ war es nur logisch, dass Degenhard Sommer 1959 mit Kollegen die „Lenz Planen und Beraten Gesellschaft“ gründete, die in den kommenden 15 Jahren zu einem der großen Planungsunternehmen in Deutschland mit fast 500 Mitarbeiter_innen wurde. In diese Zeit fiel seine Promotion bei den Professoren Haupt und Eiermann über „vorgehängte Wände als US-Erfahrung mit Curtain Walls“.

In diesem Büro und später in seiner eigenen Planungsgruppe entstanden unter anderem das „Europäische Forschungsinstitut für Teilchenphysik“ in Grenoble, die Druckerei der „Deutschen Bibelstiftung“ in Stuttgart-Möhringen, eine Weberei in Brasilien, das Rundfunkzentrum in Manila, Werke für Hewlett-Packard, IBM und Bosch sowie das „Mercedes Technology Center“ der Daimler-Gruppe in Sindelfingen.

Degenhard Sommer wurde 1973 als erster Professor für das neu gegründete Institut für Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung an die TU Wien berufen. Er war die Idealbesetzung, ein erfahrener Industriebauer, auf Du und Du mit den maßgeblichen Größen der Industrie, ein Architekt mit einer interdisziplinären DNA amerikanischen Zuschnitts – nicht alltäglich in der damals noch sehr grauen Hauptstadt Österreichs. Eine Woche Wien und eine Woche Karlsruhe, wo er inzwischen die „Planungsgruppe Prof. Sommer“ gegründet hat, war das ungewöhnliche Verhandlungsergebnis seiner überzeugenden Art mit der damaligen Wissenschaftsministerin Herta Firnberg. Dass er während der Wien-Wochen standesgemäß, wenn auch in einem kleinen Zimmer, im Hotel Sacher logierte, beförderte seinen Ruf des „etwas Anderen“.

In den fast 24 Jahren seiner universitären Tätigkeit ließ er aus dem jungen Pflänzchen des Industriebauinstituts einen starken Baum wachsen, der heute, als einziger im deutschsprachigen Raum, die Fahne des „Abfahrtslaufs der Architektur“ trägt.



Er bleibt uns in Erinnerung als Architekt bei den Bauingenieuren, der Architekt_innen, Bauingenieur_innen und Maschinenbauer_innen aus vielen verschiedenen Ländern als Assistent_innen und Forscher_innen unter seinem Dach vereint und der die begeisterte Welt des Industriebaus als Innovator des Bauens auf allen Linien gefördert hat. Die gendergerechte Form ist bewusst gewählt, war doch das Sommer-Institut von Anfang an „paritätisch“ besetzt. Früh erkannte er die Bedeutung von Kommunikation und Interdisziplinarität für die Lösung von komplexen Aufgaben und förderte dies in Lehre, Forschung und Veranstaltungen.

Die Verbindung von Arbeit, Arbeitsplatz und Mensch und seine wissenschaftlichen Publikationen gemeinsam mit dem Arbeitswissenschaftler, Prof. Wojda, bescherten ihm 1977 den Anton-Benja-Preis. Ab 1980 hielt er im Zwei-Jahres-Abstand die von ihm gegründeten „Internationalen Industriebau-Seminare“ ab, bei denen das „Who is Who“ der internationalen Szene allmählich zu einer verschworenen Industriebaugemeinde wurde, die ohne Rücksicht auf eigene Vorteile Erkenntnisse und Erfahrungen austauschte. Andächtig lauschte auch ich als Student den Ausführungen von Nick Grimshaw, Peter Rice, Walter Henn und Santiago Calatrava im Konferenzraum der OPEC an der Wiener Ringstraße. Degenhard Sommer war der Mediator zwischen den ganz Jungen und der großen Welt in allen Lebenslagen. Die Karrieren seiner Studierenden und Assistent_innen aufzuzählen sprengt diesen Nachruf. Er betrachtete alle als seine „Kinder“, die er mit wohlwollender Distanz dazu führte, weltoffen und tolerant zusammen zu arbeiten – ganz im Sinne seiner interdisziplinären Berufung.

Diese Berufung lebte er auch in vielen internationalen Gremien und Vereinigungen, die sich diesem Ziel verschrieben hatten. Er gründete die „Österreichische Studiengemeinschaft für Industriebau“ und verlieh damit den ersten österreichischen „Industrieaupreis“, er war Head der UIA Working Group „Working Places and Commercial Spaces“, leitete im CIB, dem Conseil International du Batiment, den Bereich Industriebau und arbeitete vor allem in der deutschen „Arbeitsgemeinschaft Industriebau“ (AGI), welcher das Institut bis heute verbunden ist.



Degenhard Sommer war – auch all die Jahre nach seiner Emeritierung – mit seiner „Saat, die so hervorragend aufgegangen ist“, eng verbunden. Nicht nur die Organisation der Übergangszeit bis zu seiner Nachbesetzung durch Peter Niehaus, den Chef der Siemens Bauabteilung, sondern die fast väterliche Sorge um alle seine ehemaligen Assistent_innen und natürlich um „sein Institut“ hat alle Betroffenen regelmäßig berührt. Auch ich selbst werde die nun nicht mehr wiederkehrenden Anrufe aus Baden-Baden mit der Frage „Was macht mein Institut denn so?“ schmerzlich vermissen.

Aber was gibt es Schöneres, als mit vollem dunklem Haar zufrieden auf seine „Kinder“ herab zu blicken und, auf Wolke sieben sitzend, in einer Kombination von preußischer Präzision und Wiener Schmäh den Fortgang der industriellen Welt zu kommentieren. So werden wir ihn in Erinnerung behalten.



Bernard Plattner, Partner

RENZO PIANO
BUILDING WORKSHOP

Piece by Piece: Der Justizpalast von Paris

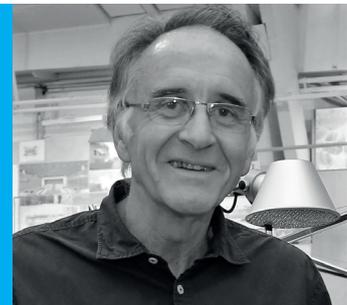


Der 160 Meter hohe Glasturm von Renzo Piano und seinem Büropartner Bernard Plattner wurde Ende April 2019 bezogen. Er ist das Gegenstück zur Tour Montparnasse von 1974.

Architekten: RPBW, Renzo Piano Building Workshop, Genua/Paris
Adresse: 29-45 Avenue de la Porte de Clichy, 75017 Paris, Frankreich

Quelle: Bauwelt, Ausgabe 8.2018 vom 16.04.2018
Text: Scoffier, Richard, Paris
Aus dem Französischen von Agnes Kloocke

Bernard Plattner wurde 1946 in Bern geboren. Er studierte Architektur an der ETH in Zürich und begann mit Piano & Rogers am Centre Pompidou zu arbeiten. Seitdem arbeitet er weiterhin mit Renzo Piano im Pariser Büro. 1989 wurde er Partner. Eine Auswahl seiner bemerkenswerten Projekte umfasst: die Rue de Meaux in Paris, das Museum der Beyeler-Stiftung in Basel, die Rekonstruktion des Potsdamer Platzes in Berlin, das Zentrum Paul Klee in Bern und das New York Times Building. Er beaufsichtigte auch den Bau der Pathé-Stiftung in Paris, sowie den des Pariser Gerichtsgebäudes. Mittlerweile ist er für eine Reihe von Großprojekten in Europa verantwortlich, darunter das Maison des Avocats in Paris.



Wie baut man Justiz?

Wie baut man einen Ort, wo man darüber entscheidet, ob einer seine Freiheit verlieren soll, weil er die Regeln dieser Stadt gebrochen hat? Seit sich das Recht losgelöst von der politischen Macht behauptet, ab dem 18. Jahrhundert also, gilt es die Antwort auf solche Fragen zu finden. Seitdem sind in Frankreich die Architekten der Aufklärung, Etienne-Louis Boullée etwa oder Claude-Nicholas Ledoux, auf der Suche nach einer angemessenen Architektur für die unabhängige Gerichtsbarkeit, die „selbstbewusst“ für sich spricht und zugleich ein eigenständiges architektonisches Idiom entwickelt. Ihre Bauten hatten Modellcharakter, in der Folge fanden sich alle großen Städte ausgestattet mit Gebäuden, deren Freitreppen zu monumentalen offenen Säulenhallen hinauf führen, von denen aus man in die Gerichtssäle schreitet. Erst in den fünfziger Jahren wurde diese Typologie zugunsten der Cités Judiciaires aufgegeben, betont sachlichen Verwaltungskomplexen.

Seit knapp zwei Jahrzehnten allerdings wird das alte Modell wiederentdeckt und neu aufgelegt. Etwa durch Jean Nouvels Palais de Justice von Nantes (Bauwelt 39.2000), der in übersteigern-der Manier an die monumentalen Visionen von Boullée anknüpft, oder auch durch Richard Rogers in Bordeaux (Bauwelt 27.1998), in dessen frei stehenden, kegelförmigen Holzkapseln Richter, Angeklagte und Publikum hochsteigen müssen.

Von der Ile de la Cité zum Boulevard Périphérique

Die Pariser Gerichtsbarkeit residiert seit dem 13. Jahrhundert auf der Ile de la Cité. Längst drohte der Kollaps in den völlig überlasteten historischen Gemäuern mit ihren endlosen

Fluren, die sich auf immerhin 24 Kilometer addieren. Bereits zur Jahrtausendwende war es beschlossene Sache, die inzwischen teils weit über das gesamte Stadtgebiet verstreuten Abteilungen des Gerichts an einem Standort zusammenzuführen. Nur die Sondergerichte, also Schwurgericht, Berufungsgericht und die Cours de cassation (in Deutschland der Bundesgerichtshof), würden weiterhin am ursprünglichen Ort verbleiben.

Man entschied sich für die Porte de Clichy zwischen dem neuen Stadtteil Batignolles und dem Boulevard Périphérique. 2010 wurde der Public-Private-Partnership-Wettbewerb ausgelobt, den das Gespann Renzo Piano (RPBW) mit dem Konzern Bouygues Bâtiment gewannen.

In der Auslobung war gefordert, Büroturm und Verhandlungssäle räumlich voneinander zu trennen und zugleich einen Vorschlag für die architektonische Darstellung des Leitmotivs Justiz/Gerichtsbarkeit zu entwickeln. Rem Koolhaas schlug zum Beispiel eine Variation über das Thema Ausgleich vor: einen wie ein Schlagstock oben breiteren Büroturm, an dessen Basis zwei Sockelgebäude mit den Strafgerichten im Inneren und den Zivilkammern im äußeren Bereich angeordnet sind.

Renzo Piano, der Architekt des Siegerentwurfs, hatte hoch gepokert: Auf die Gefahr hin, gleich zu Beginn aus dem Rennen geworfen zu werden, schlug er einen Sockelbau für die Gerichtssäle vor – und setzte dann den Büroturm einfach oben darauf. Auf diese Weise ergab sich nur ein einziges Bauvolumen, das dann seiner großen Höhe wegen weithin sichtbar ist. Um diese Lösung anbieten zu können, musste das Ensemble mit zwei sehr eng gefassten – und teils durchaus widersprüchlichen – Regelwerken konform gebracht werden: den Auflagen für Turmbau-

In der Auslobung war gefordert, Büroturm und Verhandlungssäle räumlich voneinander zu trennen und zugleich einen Vorschlag für die architektonische Darstellung des Leitmotivs Justiz/Gerichtsbarkeit zu entwickeln.

Das Statement ist deutlich: weniger Richtstätte, mehr Flughafen, Einkaufspassage oder Klinikum.

ten auf der einen und den Bauvorschriften für Gebäude öffentlicher Nutzung mit viel Publikumsverkehr auf der anderen Seite.

Zugleich aber wurde durch dieses simple Aufeinanderstapeln der beiden Hauptelemente aus dem Nutzungsprogramm und gerade wegen des daraus resultierenden „Schönheitsfehlers“ – der großen Höhe von 160 Metern – die Antwort auf die Frage nach einer symbolischen Deutung des neuen Baus unmittelbar beantwortet, ohne sich wie die Mitbewerber in teils überinterpretierend-geschwätzig Architektur zu verlieren.

In der Folge scheinen dann alle Anstrengungen des Entwerfers darauf zu fokussieren, die Wirkung des massigen Baus auf die umgebende (Stadt-)Landschaft zu dämpfen. Da ist zunächst das Aufbrechen in drei Teile, wobei die getreppten Rücksprünge der Blöcke in sehr prononcierter Weise in Richtung Stadt ausgearbeitet, an der Fassade nach Clichy hin jedoch so gut wie nicht mehr ablesbar sind. Die Baukörper werden über tiefe Einschnitte voneinander abgesetzt, wobei weit auskragende Zwischenebenen die Last des darüber liegenden Blocks auf den tragenden Gebäudekern ableiten. An diesen Einschnitten nehmen Dachgärten den Terrassengarten der Sockelpartie wieder auf.

Eine zweite Strategie für eine optische Auflösung der Gebäudemasse führt die gläsernen Vorhangfassaden der Längsseiten weit über die Gebäudekanten hinaus. Ein solches „Verwischen“ der Kanten verleiht den klotzigen Bauquadern eine gewisse Leichtigkeit. Abhängig von Tagesstimmung und Lichteinfall kann der Bau im wolkenverhangenen Grau eines Regentages verschwinden, bei klarem Himmel dagegen scheinen die drei massiven Blocks auf surrealistische Manier nahezu schwerelos im Raum zu schweben.

In den Bauten von Renzo Piano schwingt seit Jahrzehnten immer ein gewisses Etwas mit, liegt quasi „im Raum“: eine Art Versprechen, dass alle Anspannung und alle Gegensätze aufgehoben sein können. Vom versteckt gelegenen Clarissenkloster in Ronchamp über den Flughafen Kansai von Osaka bis hin zu den Sozialwohnungen der Rue de Meaux in Paris oder der Fondation Beyeler – immer erfährt man bei Renzo Piano diese Helligkeit, ohne Schattenwurf, ohne Kontraste. Eine Helligkeit, aus der jene sonst so unterschiedlichen Bauten dieselbe heitere und gelassene Gestimmtheit ableiten.

Auch beim Betreten der hohen Eingangshalle des Zivilgerichts werden die von oben in die Decke gestanzten Rundöffnungen einfallenden Lichtmassen durch die Helligkeit der bodentiefen Glasfront zum östlichen Vorplatz sofort abgefangen, diffundiert. Über Rolltreppen gelangt man von hier in die 90 Gerichtssäle, die meist ebenfalls vom natürlichen Tageslicht profitieren. Das Licht fällt ein über das Atrium im Rücken der Zuschauer und von der Außenfassade hinter dem Richtertisch. Diese bewusste Ausarbeitung der Lichtverhältnisse, mit der wohl Spannung abgebaut und eine Entkrampfung bewirkt werden soll, wird in der internen Wegeführung fortgesetzt. Auch die Wegeplanung bietet Besonderes. Während das Publikum die Gerichtssäle über die zentrale Eingangshalle betritt, führt der Weg für die Richter über einen Außenflur entlang der Glasfassade, über den auch die Beratungsräume erschlossen werden. Die Angeklagten dagegen kommen über direkt an die Säle angrenzende Wartezellen, deren Zugang über eigens reservierte Aufzüge über das Tiefgeschoss erfolgt.

Hängende Gärten, Licht ohne Schatten, Rolltreppen, die die Besucher nach oben tragen, eine allgegenwärtige Transparenz, die nur hier und da mit zugezogenen Vorhängen oder dickem Panzerglas korrigiert werden muss: Das sind die Puzzlesteine, mit denen Renzo Piano arbeitet, um die an diesem Ort gefällten Urteile irgend menschlicher wirken zu lassen.

Das Statement ist deutlich: weniger Richtstätte, mehr Flughafen, Einkaufspassage oder Klinikum; ein Gerichtsgebäude, das sich bewusst der Versuchung entzieht, die Justiz durch architektonischen Duktus legitimieren zu wollen.

Dieser Beitrag wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Bauverlag BV GmbH
Schlüterstraße 42, D-10707 Berlin
www.bauwelt.de

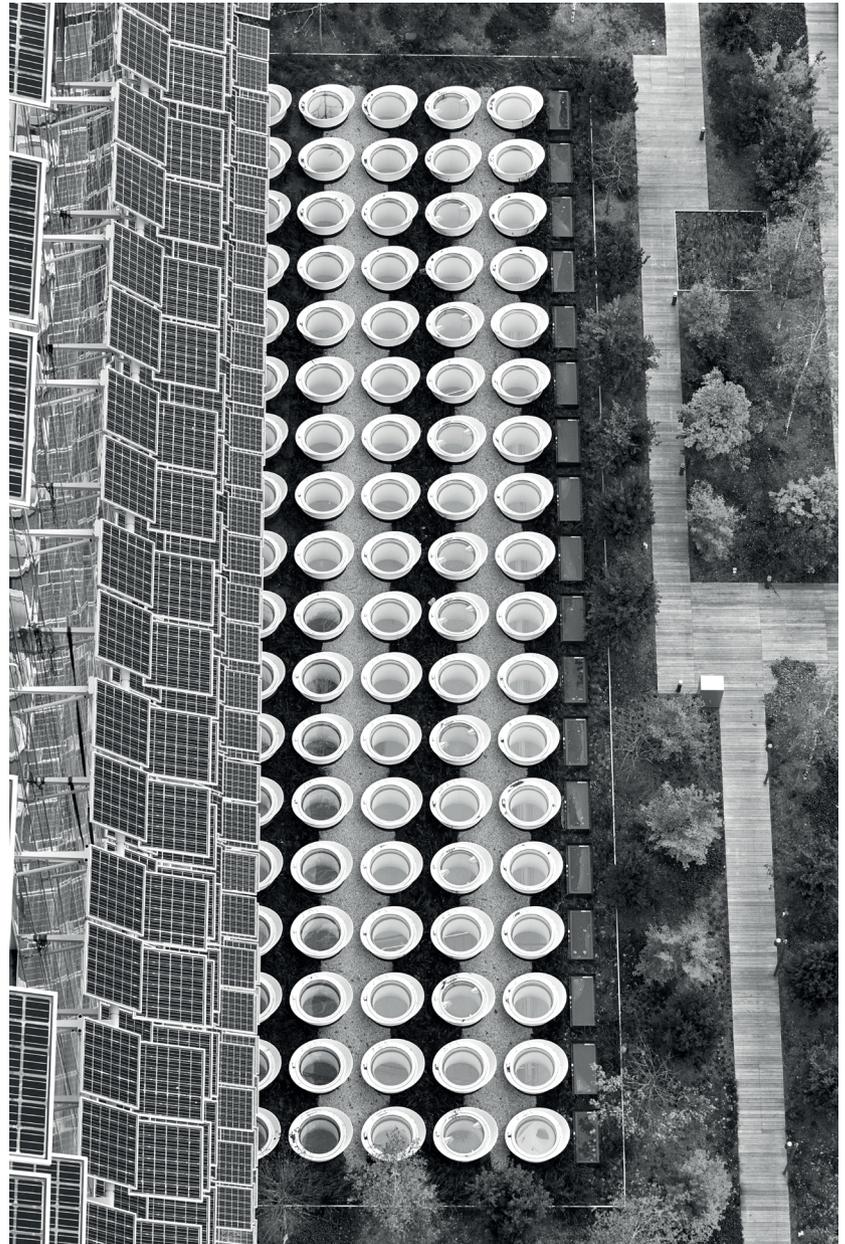


Abb. 1: Paris Courthouse © Michel Denancé

PhD Day

- What will industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction look like in the future?*
ANITA **DIRMEIER**, TU Wien **29**
- Conceptual Framework for a Building Design Process using Lean & Agile Principles, BIM and ERP*
MANUEL **KRAUS**, TU Wien **47**
- VR/AR in Design Management: Use-cases and Future Research*
MING SHAN **NG**, ETH Zürich **55**
- Challenges and opportunities for future industrial transformation in the urban context: the use case of Stuttgart's industrial estates*
KATHRIN **QUANTE**, Uni Stuttgart **61**
- Flexible Structural Design 4.0 – Proposal for BIM-based digital planning and optimization of flexible building structures for Industry 4.0*
JULIA **REISINGER**, TU Wien **67**
- Timber Industry meets BIM and Lean – How to deliver multi-storey timber buildings*
AIDA **SANTANA SOSA**, TU Wien **73**
- Impact of Exoskeletons on Life-Cycle Primary Energy Consumption and CO₂e Emissions of Tall Buildings*
ARYAN **SHAHABIAN**, TU Wien **79**
- Framework for interdisciplinary data exchange between architectural design and structural analysis models*
GORAN **SIBENIK**, TU Wien **85**
- Data model - Determining the specific information demand in planning, building and operation of real estate*
WIEBKE **UHLENBRUCH**, Uni Stuttgart **89**

What will industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction look like in the future?



1 Introduction

A quarter of the annual revenue in the construction industry in Germany is generated in the residential construction sector (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. 2018). The construction industry builds not only accommodation, it creates living space for people. The demand for housing in metropolitan areas is increasing and the call for new and fast construction methods is becoming louder and louder. Prefabrication is one way of addressing with this demand.

Extant literature mainly focuses on emerging technologies applied to the construction sector. Literature also discusses the requirements of housing in general and the use of wood and lightweight construction. However, construction in housing is usually solid and conventional. An interdisciplinary consideration of industrial prefabrication in solid construction of multi-storey residential buildings as an open system could not be found.

One **research question** directed the design and execution of this paper:

„What kind of changes and developments are necessary to establish industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction as open system in Germany?“

The paper is organised as follows. First, the theoretical background and the relevant definitions in context of the research question are explained. Second, the research method is described. Third, preliminary findings are presented. Fourth and finally, the scope and limitations as well as implications are discussed.



2 Theoretical background

This paper examines three different levels when considering housing in Germany: the historical context, the socio-cultural and the technical-economic aspects. Thereby, industrial prefabrication is placed in consideration of these different levels and relevant definitions are described.

2.1 Challenge and development of industrial prefabrication

To elaborate on the future of the building industry, this research first starts to investigate the history of multi-storey residential construction. A lack of urban integration and limited freedom of design are reoccurring problems in any in all historical development phases of housing prefabrication. Le Corbusier already pointed out the need for individual solutions and open structures in his „plan d’obus d’alger“ in 1930. There should be open systems with architectural quality and open for individual needs of their users. Instead of having a contained construction system which nothing can be taken away and added, combination of possibilities of individually addable and changeable construction system is needed (Staib et al. 2008).

2.2 Economic-technical aspects

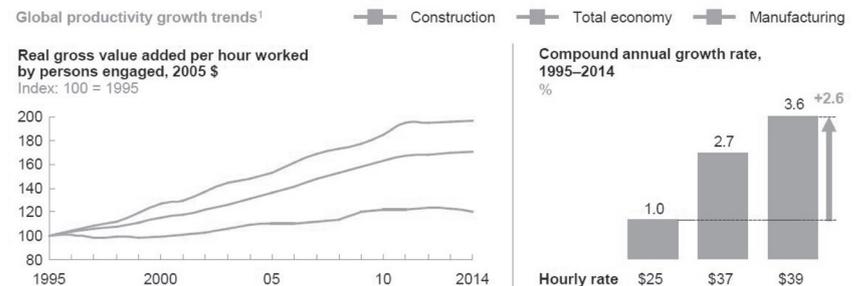
Beside the historical context of industrial prefabrication, the construction industry faces economic challenges. Over the last twenty years, the labour productivity of the global construction sector grew, on average, at an annual rate of only 1%. In comparison, productivity of the global economy grew at 2.7% and productivity in manufacturing at even 3.6%. Thus, there is a gap of 2.6%, which the construction industry was not able to make up

(Barbosa et al. 2017). One reason for this is small-scale operating structures in construction industry in Germany. Companies with 1 to 19 and 20 to 49 employees account for 96.7% of total. However, they generate only 53.3 % of the total turnover. The few large companies generate 1/3 of the total turnover (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. 2018, p. 1). Small companies with 1-9 or 10-19 employees generate a high proportion of their turnover in housing construction sector. For example, 72% in micro enterprises and 10-19 employees account by 60%. The higher the employment rate, the lower the share of housing construction and only 12% among enterprises with more than 200 employees (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. 2017a, p. 10).

The important understanding of the market structure is necessary, to analyse the current obstacles and problems in residential construction.

Exhibit E1

Globally, labor-productivity growth lags behind that of manufacturing and the total economy



¹ Based on a sample of 41 countries that generate 96% of global GDP.

SOURCE: OECD; WIOD; GGCD-10, World Bank; BEA; BLS; national statistical agencies of Turkey, Malaysia, and Singapore; Rosstat; McKinsey Global Institute analysis

Fig. 1: Globally, labour-productivity growth lags behind that of manufacturing and total economy (Barbosa et al. 2017, p. 2)

2.3 Social-cultural aspects

Socio-cultural aspects of industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction form the basis for an outlook into the future.

In general, there is lack of living space in metropolitan areas in Germany (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2016a). The top 7 cities starting with highest number of missing apartments Munich, Berlin, Frankfurt/Main, Stuttgart, Hamburg, Cologne, Düsseldorf (Prognos AG 2017).

The reasons for the need of apartments is complex and dynamic. The liberalisation of the labour market and the tendency of families to live in larger cities play an important role. Temporary contracts and anticipated lower incomes as well as an increase in mobility cost may prevent families from a move to the countryside. In addition, an increasing academisation of education with universities, predominantly located in larger cities, contributes to the problem. This creates a tense housing market in metropolitan areas and large cities. An area-wise expansion of cities is only possible to a very limited extent (Pestel Institut 2015, pp. 8–9).

The goal of the government to construct 350,000 new apartments per year in 2017 was only realized by two third (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. 2017b). Further, only 1.5 % of newly constructed multi-storey apartment buildings were prefabricated (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2017). The demand for housing exists, and the potential for prefabrication is not fully developed. For this reason, a multi-storey densification has to take place in order to cover the demand.

The construction of multi-storey residential buildings is therefore one way of ensuring this.

2.4 Definitions

2.4.1 Industrial prefabrication

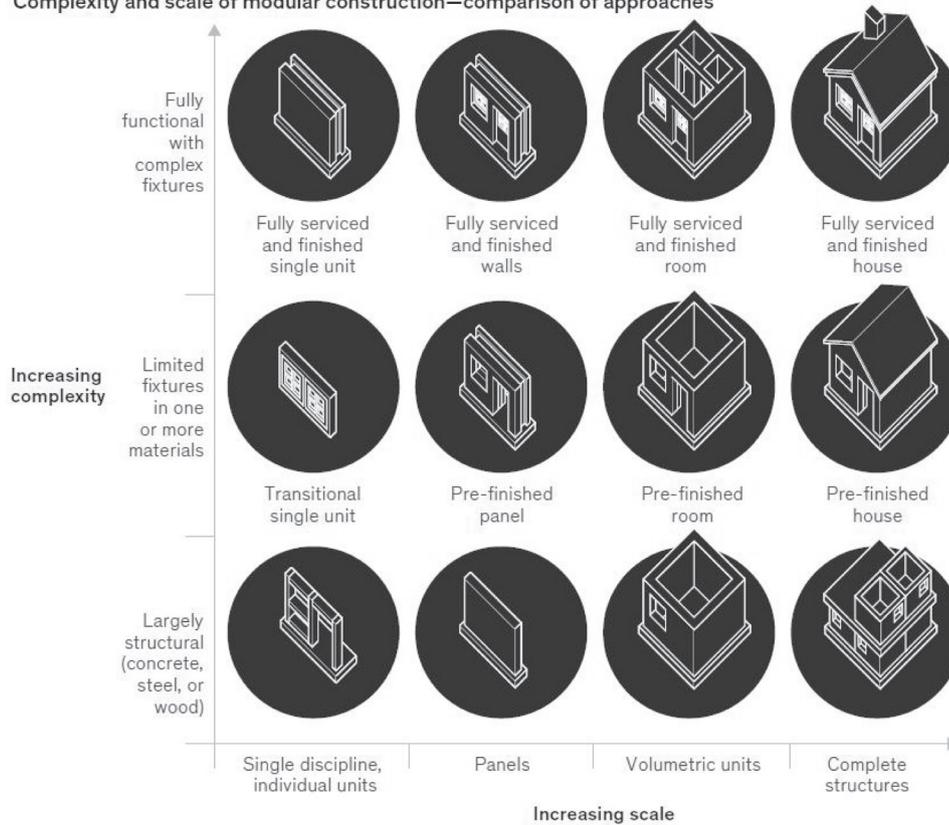
The terms associated with „industrial prefabrication“ are defined similarly. This section provides an overview of common definitions and its contextual uses.

“Industrial prefabrication”, “industrial construction” or “industrial manufacturing” are defined in literature as a construction method. In principle, „prefabrication“ describes element parts, elements or modules that are manufactured in different degrees of prefabrication in a factory and then finally assembled on-site (Meuser 2019; Staib et al. 2008; Hasselbach 2012; Gibb 2001). In this paper, the wording “industrial prefabrication” is used.

Further, literature differentiates the degree of prefabrication. The combination of complexity and scale determines the degree of prefabrication (Betram et al. 2019). The „modular construction“ or prefabrication is considered in its complexity and scale. The different approaches are shown in figure 2. The increasing element sizes change from individual units, panels, volumetric units to complete structures with their respective complexity.

Modular construction covers a broad set of approaches.

Complexity and scale of modular construction—comparison of approaches



Source: Case studies; interviews; McKinsey Capital Projects & Infrastructure

Fig. 2: Modular construction covers a broad set of approaches (Betram et al. 2019, p. 8)

In conjunction with “industrial prefabrication”, the terms “serial” and “standardised” are often used. In the “Handbook of industrial housing” (Meuser 2019) a distinction is made between „serial housing construction“ and „standardised construction“. In “serial housing construction”, designs and building plans are used several times and built identically. The construction can be made off on-site or off-site. In „standardised building“, quality criteria such as units of measurement and defaults are defined in advance of planning.

Furthermore, standardisation and customisation can be seen in a continuum of strategies (Lampel and Mintzberg 1996). Design, fabrication, assembly and distribution are the main changing areas into standardisation or customisation (figure 3). Depending on the combination, the terms change.

Standardisation is divided in pure, segmented and customised standardisation.

“Pure” means no distinctions between different customers”, every part is equal. In comparison “segmented” allows a “narrow range of features”. A configuration with “a range of available components” is defined as “customised” standardisation. Customisation is divided in “tailored” and “pure”. “Tailored customization” which means, a product prototype will be adapted or tailored to the “individual wishes or needs”. And “pure customization” is used when the product is made to order. (Lampel and Mintzberg 1996, p. 26) Both the continuum of strategies and the degree of prefabrication are used as distinguishing factors in prefabrication.

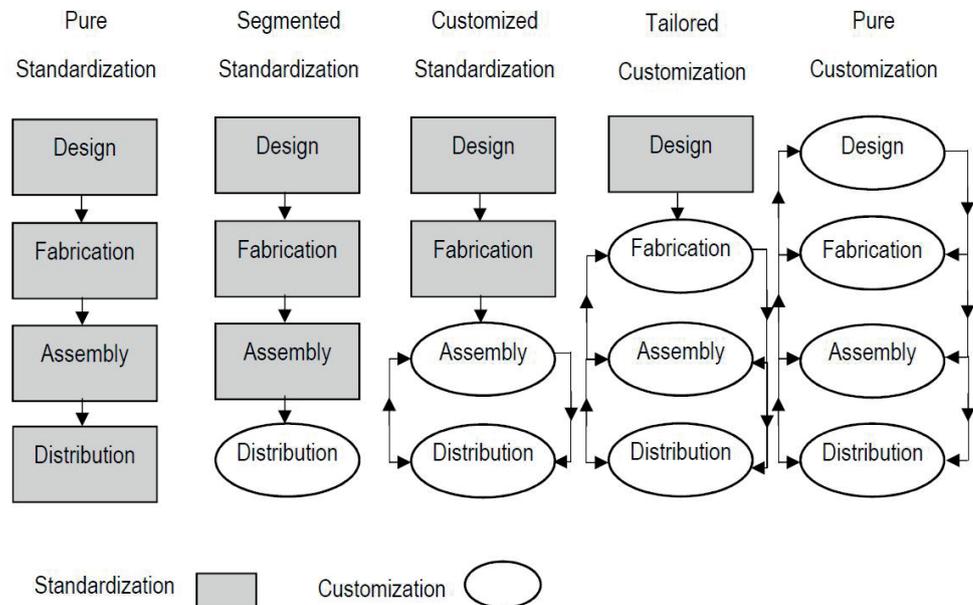


Fig. 3: Continuum of Strategies (Figure 1 (Lampel and Mintzberg 1996))

In addition, the TU Munich research report „Bauen mit Weitblick“ mentions a transformation that changes from a functional structure with a functional product description to a product structure (physical product description) (Technische Universität München and Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion 2018a). In construction industry, functional structure is mainly applied. The prefabrication is not directly suitable for this purpose. The legal requirements must be changed, and new framework conditions created. (Kaufmann et al. 2017)

Beside all specific definitions and decisions in construction and prefabrication, the first decision is the most important. It is the basic systems that has to be decided first of all. Staib et al. (2008) describes two basic systems, which are used in the course of prefabrication and in system construction. The „open“ and the „closed“ system. The „closed“ system and its elements are defined and manufactured by one manufacturer and are thus matched to each other and are comparable to a kit. An individual change and adaptation is therefore not possible. With the „open“ system, different products and different manufacturers can be used together flexibly. For a product- and manufacturer-neutral application, only an open system can find the greatest possible application.

Recently, more and more authors have highlighted that housing construction needs to evolve due to the disruptive potential of digitalization, new competitors and prefabrication (cf. literature review). There are different approaches, demands and requirements for housing construction and prefabrication. Yet, the specific approach of industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction is not considered comprehensively.

2.4.2 Multi-storey residential housing in solid construction

Multi-storey residential housing is defined by three or more flats in one building and starting with two storeys (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2017).

In solid construction, the natural stones, prefabricated bricks or concrete elements do not only take over the room closure, but also the static load-bearing function of a house in the form of walls and ceilings (BauNetz Media GmbH o. J.). Walls and piers are load-bearing if they can support vertical and horizontal loads. Walls are used for reinforcement. (Schneider 2014, 7.7).

Based on the author's conviction, the focus is on solid construction, because this is the most frequently used type as mentioned above. However, prefabricated construction still plays only a subordinate role (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2018) and therefore there is considerable potential.

3 Research method and research design

This work uses a mixed logical-deductive and empirical-inductive research design. The applied research study (Döring and Bortz 2016, Creswell and Plano Clark 2018) is based on deductively identified and selected literature to find specific requirements, obstacles and problems of industrial prefabrication, housing construction, multi-storey residential construction and new technologies. Afterwards to group aspects derived from literature into so-called topic areas.

For answering the research question, about the changes and developments which are necessary to establish industrial prefabrication

in solid multi-storey residential construction as open system in Germany, the Delphi method is used. The future topic of industrial prefabrication in multi-storey residential construction is diffuse and uncertain. In Delphi method type 3 the current future and problem definitions can be identified and evaluated by experts and conclusions can be obtained for the current actions (Häder 2014, p. 16). It is possible to divide the method in three major parts:

(1) Zero-round:

Obtaining differentiated basic statements, which will be evaluated in the standardised following round. The results should represent as broad spectrum of opinions as possible and prevent the Delphi survey from being one-sided. Only a few experts are needed for such a “zero-round” / qualifying round of surveys (Häder 2014, p. 119).

Getting basic statements qualitative guideline-supported expert interviews are conducted (Bogner 2009, Kaiser 2014).

(2)+(3) Two round survey:

A qualitative part for solution proposal and quantitative part for evaluation the requirements catalogue with experts of different fields of construction industry

In this paper the results of part (1) zero-round are presented. Part 2 and 3 will be the next steps in the future.

3.1 Research design

Relevant literature is identified and selected which is linked to prefabrication, solid and housing construction as well as guidelines, studies and the use of new technologies. Afterwards literature is searched about specific requirements, obstacles and problems of industrial prefabrication and housing construction. Aspects derived from literature are grouped into so-called topic areas, i. e., sections of the requirements catalogue.

The research design of this work consists of four steps as shown in the following table:

Step no.	Description of research design steps
Step 1	Identification and selection of relevant literature linked to prefabrication, solid construction, housing construction guidelines, parametric studies and new technologies in construction
Step 2	Literature search about specific requirements, obstacles and problems of industrial prefabrication, housing construction, multi-storey residential construction and new technologies
Step 3	Grouping of aspects derived from literature into so-called topic areas, i.e., sections of the requirements catalogue
Step 4	Development and conduction of qualitative guideline-supported expert interview for Delphi-method “zero-round” to get basic statements regarding the defined topics (Bogner 2009, Kaiser 2014)

Table 1: Research design steps

4 Preliminary findings

The research paper represents the current obstacles and problems of industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction. First results of expert surveys (“zero-round”) will be presented in this section, as well as an overview of the resulting requirements catalogue will be given.

4.1 Results step 1+2: Relevant and selected literature, searching for specific information

Relevant literature was identified based on a structured literature search within selected databases. To find relevant literature, national and international online databases such as RWSB®plus, Google Scholar, ICONDA®Bibliographic, ScienceDirect and online-published reports of the latest ten years were examined.¹

The literature is conducted with keywords in English and German, like prefabrication, premanufacturing, manufacturing, housing, multi-storey, residential homes, solid construction, modular, serial, standardisation, open system, new technologies.

The results of the literature review are shown in the following table, sorted by publication year, topic and original title

Year	Author(s)	Type	Topic	L*	Original title
2009	Kirsch	Thesis	Use of production systems for building sector	G	Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme
2010	Matcha et al.	Research project	Parametrisation of design	G	Qualitätssteigerung im verdichteten Wohnungsbau über Erzeugung größerer Vielfalt und Flexibilität durch individualisierten Massenfertigung am Beispiel gestapelter Reihenhäuser
2011	Laviola and Rustom	Research project	Strategy catalogue for industrial buildings	G	Planungseifaden Industriebau
2012	Rinas	Thesis	Change from a construction service provider to a system provider. Creation of a new business model	G	Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteibau
2013	Benze et al.	Case-Study	Criteria for the assessment of serial housing construction	G	Serieller Wohnungsbau – Standardisierung der Vielfalt
2014	Hegger et al.	Research project	Basis for urban apartment buildings in plus-energy design	G	Aktiv-Stadt-Haus
2015	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)	Report	Recommendations and implementation for affordable housing and construction	G	Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen
2015	Walberg et al.	Report	Consideration of factors influencing costs in housing construction in Germany	G	Kostentreiber für den Wohnungsbau – Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e. V.
2016	Bauer et al.	Report	Fields of action for buildings 2025	G	VDI Gebäude 2025
2016	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)(b)	Report	General principles and examples of energy-generating buildings	G	Wege zum Effizienzhaus Plus

Table 2: Results of literature review for requirement catalogue

¹ RSWB® is the largest literature database for the reference of publications in the fields of regional planning, urban development, housing and civil engineering from the German-speaking area.

ICONDA® Bibliographic as one of the most comprehensive literature databases on the same topics is created in international cooperation

ScienceDirect: after articles from all Elsevier magazines

(*L= language: E= English, G=German)

2016	Bund Deutscher Architekten	Report	Standards in residential construction (based on 23)	G	Standards im Wohnungsbau, Bund der Architekten
2016	Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V.	Certification	Sustainability in housing construction - criterias	G	Nachhaltigkeit im Wohnungsbau – Kriterien für den Wohnungsbau
2017	Barbosa et al.	Report	Increasing the productivity of construction industry	E	Reinventing construction: a route to higher productivity
2017	Kaufmann et al.	Research project	LeanWood	G	LeanWood
2017	Lattke and Schlehlein	Research project	LeanWood Matrix – Division of the components for the prefabricated timber construction	G	LeanWood
2017	GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen	Report	Framework agreement for a functional description of services for the new construction of multi-storey residential buildings in serial and modular design	G	GDW serieller Wohnungsbau Planungs- und Bauleistungen für Mehrfamilienhäuser: Abschluss einer Rahmenvereinbarung für den Neubau von mehrgeschossigen Wohnbauten, die in serieller und modularer Bauweise errichtet werden
2017	Behaneck	Journal Article	BIM and concrete construction	E/G	BIM in precast concrete construction
2017	IG Lebenszyklus Bau	Report	Guideline and organisational model in cooperation of involved in building construction	G	Der Weg zum lebenszyklusorientierten Hochbau - Leitfaden für Bauherren und Projektbeteiligte von Hochbauten
2018	Technische Universität München and Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (a) Technische Universität München and Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (b)	Research project	Prefabrication requirements, modular system for industrialised social housing construction and catalogue	G	„Bauen mit Weitblick“ – Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau

Table 2: Results of literature review for requirement catalogue

2018	Berge et al.	Report	Change of business processes for digitalization	G	VDI – Digitale Transformation
2018	Wohnraumversorgung Berlin	Report	Criteria for cost-effective housing construction	G	Zehn Parameter für einen kostengünstigen Wohnungsbau
2018	Moring et al.	Research project	Application of RFID-technology in structural elements	G	IntelliBau 2, Das intelligente Bauteil im integrierten Gebäudemodell
2018	Rauch et al.	Journal Article	Methodology:	E	Complexity reduction in engineer-to-order industry through real-time capable production planning and control
2019	Meuser	Book	Overview of industrial housing construction, 10 parameters for architects design	G	Handbuch Industrieller Wohnungsbau
2019	IG Lebenszyklus Bau	Report	Guideline and organisational model in real estate industry	G	Mit agilem Denken und digitalen Möglichkeiten zu erfolgreichen Immobilienprojekten - K.O.P.T. vier Säulen erfolgreicher Bauprojekte

Table 2: Results of literature review for requirement catalogue

The increasing number of publications during the last four years shows the importance of the topic of industrial prefabrication.

4.2 Results step 3: Topic areas: Grouping of aspects derived from literature

Based on step 1 and 2 aspects were grouped derived from literature into so-called topic areas, i.e., sections of the requirements catalogue. Eleven different topic areas were defined with additional explanation. Those main topics represent the sections of the requirements catalogue and are presented in the following Table 3.

The first topic area is the context of urban development and the basis in law and tendering contracts. These aspects are quite complex, and every region has different legal basis. Planning is based on this in order to meet all

No. of topic area	Topic areas	Keywords of topic area
001	Law / tendering contracts / urban development	Law and urban development, tendering and contracting, standards and regulations
002	Planning level (How to do?)	Planning lead time, consistency of planning, type of system, construction, interface organisation, programming and configuration, cost calculation, planning elements, data model, calculation method
003	Design and construction level (What to do?)	Property, building structure, floor plan, room, structural component
004	Technical building service level (What to do?)	Energy production, technical standard, energy distribution, energy storage, ventilation, sanitary facilities, electrical technology, building automation system, energy management
005	Production level (How to produce?)	Production system, automation, data processing and analysis, Work and process organization
006	Construction process / assembling level	Organisation, mobilisation, joining on-site, assembling
007	Supply chain level	procurement tools, subcontractors, Central procurement
008	Life-cycle level – building operation and recycling	Overall system, operation of buildings, maintenance, deconstruction, recycling
009	Employee level	Types of employment, reskill workers, training models, equal opportunities, Knowledge transfer and management, Image of the building industry
010	Digitalisation – automation / emerging technologies	Engineer to order, customisation, technology, platforms, innovation, research and development
011	Complete process and organisation	Change management, introduction of digital tools, digital business models, agile methods, process design

Table 3: Overview of the main topic areas for the requirements catalogue

specifications (How to do?). Afterwards the design and construction level as well as the technical building service level transfers the planning into reality (What to do?). The construction process describes the implementation off-site and the assembling on-site.

The topic logistics is present in the supply chain level. The life cycle level covers the life cycle of a building from design, construction, deconstruction and recycling. Besides this finding and carrying for employees, the topic of digitalisation and the use of new technologies is a quite important part of the catalogue to influence the other levels. Overall the complete building process and organisation of projects summarise all aspects together.

4.3 Results step 4: Zero-round: Development and conduction of expert interviews

The fourth step of the research design is to develop and to conduct a qualitative guideline-supported expert interview for Delphi-method “zero-round” to get basic statements regarding the defined topics of the requirement catalogue (Bogner 2009, Kaiser 2014). The author identified, selected and recruited experts for participation in expert interviews. Furthermore, questions about the economic challenges as well as socio-cultural aspects and society were asked. In the end, every expert could give objectives and wishes could be formulated.

The expert group consisted of 12 experts from the fields of production and development (n=4), system development (n=1), housing industry (n=1), general planning (n=1), architecture and engineering (owners, n=1), housing association / cooperative (n=3) and project development (n=1). These experts were chosen to get basic statements about obstacles, problems and opportunities about the industrial prefabrication.

According to the experts, the main problems are the definition and execution of contract tendering and awarding. The contract tendering and awarding by public authorities requires a manufacturer-neutral service description. The prefabrication industry sells products with specific properties and have only a certain variability, so they cannot fulfil the neural service description. In addition, the adaptability to different local and legal conditions is limited depending on the system. Regarding the different systems, the main problem is a lack of variability of the individual systems.

After the basic system decision, the focus commonly shifts to process consistency

throughout the entire construction process, which requires an early definition of all details by the decision-makers. One of the possibilities to change the construction industry is the implementation of BIM (= Building Information Modelling). In addition to legal obstacles, to date there is still a large number of different BIM programs that are not yet fully developed as well as a widespread scepticism on BIM.

In addition, the experts see the economic challenge for companies due to high investment cost and market entry barriers. Furthermore, the role of architects in the context of industrial prefabrication will change from freelance planners to „industrial designers“.

However, the experts claimed that industrial prefabrication can guarantee consistent quality. A change in the system would also change the requirements profile of skilled workers. This is due to the changes on the construction site towards and assembly.

In order to foster the competitiveness of industrial prefabrication, both legal and normative frameworks must be created. In addition, future developments will strongly depend on new and international competitors. Not least, the degree of individualisation is important.

5 Limitations, scope and implications

5.1 Limitation

With a qualitative guideline-supported expert interview of 12 experts for Delphi-method “zero-round” was conducted basic statements regarding the defined topics of the requirement catalogue. Next steps are necessary to get an evaluated requirements catalogue by a larger number of experts of different areas to answer the research question even more precise.

5.2 Summary and implications

Nevertheless, this paper presents the challenges and opportunities for all stakeholders involved in construction. First results of expert surveys were presented, as well as an overview of a requirements catalogue was given. In future research, the author will conduct a Delphi-survey with experts to evaluate and iteratively adapt the requirements catalogue in order to make a more precise statement regarding the changes and developments necessary to establish industrial prefabrication in solid multi-storey residential construction as open system in Germany. The construction industry creates living space for people. In order to satisfy this demand, one should not stop finding new ways to create this space.

6 Acknowledgements

I would like to express my appreciation to all speakers for their valuable contribution to the 24th Industrial Building Seminar at the TU Vienna. I would also like to thank Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Iva Kovacic and Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Christoph Achammer for their invitation to publish this paper and for their valuable support and assistance. Furthermore, I thank all experts for the very useful comments and interviews.

7 List of figures

Figure 1: Globally, labour-productivity growth lags behind that of manufacturing and total economy (Barbosa et al. 2017, p. 2)

Figure 2: Modular construction covers a broad set of approaches (Betram et al. 2019, p. 8)

Figure 3: Continuum of Strategies (Figure 1 (Lampel und Mintzberg 1996))

8 List of tables

Table 1: Research design steps

Table 2: Results of literature review for requirement catalogue

Table 3: Overview of the main topic areas for the requirements catalogue

9 References

Barbosa, Filipe; Woetzel, Jonathan; Mischke, Jan; Ribeirinho, Maria João; Sridhar, Mukund; Parsons, Matthew et al. (2017): Reinventing construction: a route to higher productivity. Edited by McKinsey Global Institute, McKinsey Capital Projects & Infrastructure practice. Brüssel, San Francisco, Shanghai. Available online at <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx>, last access 05/17/2018.

Bauer, Michael; Becker, Martin; Braun, Dirk Henning; Brenner, Valentin; Grassl, Gregor; Joska, Rolf et al. (2016): Thesen und Handlungsfelder - Gebäude 2025. Edited by VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V., VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik. Düsseldorf. Available online at https://m.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Thesen-und-Handlungsfelder_Gebaeude-2025.PDF, last access 04/4/2018.

BauNetz Media GmbH (Ed.) (o. J.): Baunetz Wissen - Online Lexikon. Available online at <https://www.baunetz-wissen.de/gesund-bauen/fachwissen/bautechnik/massivbauweise-mit-mauerwerk-und-beton-1545755>, last access 04/5/2018.

Behaneck, Marian (2017): BIM in precast concrete construction: First digital, then physical production and installation BIM im Betonfertigteilbau: Erst digital, dann real fertigen und montieren. In BFT International 83, 2017 (11), pp. 52–62.

Benze, Andrea Dr.; Gill, Julia Dr.; Hebert, Saskia Dr. (2013): Serieller Wohnungsbau - Standardisierung der Vielfalt. Studie und Projektrecherche für die IBA Berlin 2020 - im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. Berlin. Available online at http://www.stadtentwicklung.berlin.de/staedtebau/baukultur/iba/download/studien/IBA-Studie_Serieller_Wohnungsbau.pdf, last access 03/18/2018.

Berge, Thomas; Bök, Patrick-Benjamin; Bozek, Michael; Breckenfelder, Christof; Eberz, Helmut; Friederichs, Tanja et al. (2018): Digitaler Transformationsprozess in Unternehmen. VDI Statusreport. Edited by VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V., VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung. Düsseldorf. Available online at https://www.vdi-wissensforum.de/index.php?elD=tx_nawsecured&u=0&g=0&t=152775991&hash=60b414c851cfc6b91fb1abaa373a5f51ec32d6e5&file=/fileadmin/resources/whitepaper/VDI-Statusreport_Digitaler_Transformationsprozess_in_Unternehmen.pdf, last access 05/30/2018.

Betram, Nick; Fuchs, Steffen; Mischke, Jan; Palter, Robert; Strube, Gernot; Woetzel, Jonathan (2019): Modular construction: From projects to products. Edited by McKinsey Capital Projects & Infrastructure practice. Zürich, London, München, Shanghai, Dallas, Toronto. Available online at <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/capital%20projects%20and%20infrastructure/our%20insights/modular%20construction%20from%20projects%20to%20products%20new/modular-construction-from-projects-to-products-full-report-new.ashx>, last access 06/19/2019.

Bogner, Alexander (2009): Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. 3., grundlegend überarbeitete Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Bund Deutscher Architekten (Ed.) (2016): Standards im Wohnungsbau. Kontroverse zur aktuellen Rechtslage. München. Available online at <https://bda-bund.de/wp-content/uploads/2016/08/BDA-Standards-im-Wohnungsbau.pdf>, last access 05/19/2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Ed.) (2015): Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen - Bericht der Baukostensenkungskommission. Berlin. Available online at https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/buendnis-bezahlbares-wohnen-baukostensenkungskommission.pdf;jsessionid=7969A85903E5620A20922C2C430177D1.1_cid364?__blob=publicationFile&v=3, last access 06/28/2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Ed.) (2016a): Zukunft bauen. Forschungsinitiative Zukunft Bau 2016. 3000th ed. Berlin. Available online at https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/zukunft_bau_broschuere_bf.pdf, last access on 4/8/2018.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Ed.) (2016b): Wege zum Effizienzhaus Plus. Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude. 5000th ed. Berlin. Available online at http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_bf.pdf, last access on 4/6/2018.

Creswell, John W.; Plano Clark, Vicki L. (2018): Designing and conducting mixed methods research. Third edition, international student edition. Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, Melbourne: Sage.

Döring, Nicole; Bortz, Jürgen (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. 5., vollst. überarb., akt. u. erw. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (Ed.) (2017): Funktionale Leistungsbeschreibung. Berlin. Available online at https://web.gdw.de/uploads/pdf/serielles_bauen/Funktionale_Leistungsbeschreibung.pdf, last access on 6/28/2018.

Gibb, Alistair G. F. (2001): Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. In Construction Management and Economics 19 (3), pp. 307–315. DOI: 10.1080/01446190010020435.

Häder, Michael (2014): Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer VS (Springer-Lehrbuch).

Hasselbach, Reinhard (2012): Systembau. Prinzipien der Konstruktion. Basel: De Gruyter. Available online at <https://www.degruyter.com/downloadpdf/books/9783034611350/9783034611350.5/9783034611350.5.pdf>, last access on 4/5/2018.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. (Ed.) (2017a): Bauwirtschaft im Zahlenbild - Ausgabe 2017. Available online at https://www.bauindustrie.de/media/documents/BW_Zahlenbild_2017_final.pdf, last access on 8/31/2019.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. (Ed.) (2017b): Wichtige Baudaten 2017. Wiesbaden. Available online at https://www.bauindustrie.de/media/documents/Baudatenkarte_2017.pdf, last access on 4/4/2018.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. (Ed.) (2018): Wichtige Baudaten 2017. Wiesbaden. Available online at https://www.bauindustrie.de/documents/1653/HBi_Baudatenkarte_03_2018_Final.pdf, last access on 8/29/2019.

Hegger, Manfred; Fisch, Norbert; Jenner, Nathalie; Gehrmann, Simon; Hassemer, Friederike; Hartwig, Joost et al. (2014): Aktiv-Stadthaus. Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative Zukunft Bau, 2857). Available online at <http://www.irbnet.de/daten/rswb/14019007754.pdf>, last access on 3/18/2018.

IG Lebenszyklus Bau (Ed.) (2017): Der Weg zum lebenszyklusorientierten Hochbau - Leitfaden für Bauherren und Projektbeteiligte von Hochbauten. Die 3 Säulen erfolgreicher Bauprojekte in einer digitalen Wirtschaft. Available online at http://www.ig-lebenszyklus.at/wp-content/uploads/2018/08/LEITFADEN_Hochbau.pdf, last access on 3/28/2019.

IG Lebenszyklus Bau (Ed.) (2019): Mit agilem Denken und digitalen Möglichkeiten zu erfolgreichen Immobilienprojekten - K.O.P.T. vier Säulen erfolgreicher Bauprojekte. Leitfaden für Bauherren und Projektbeteiligte von Hochbauten. Available online at http://www.ig-lebenszyklus.at/wp-content/uploads/2019/03/Leitfaden_KOPT_WEB.pdf, last access on 3/28/2019.

Kaiser, Robert (2014): *Qualitative Experteninterviews. Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung*. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kaufmann, Hermann; Huß, Wolfgang; Schuster, Sandra; Stieglmeier, Manfred (2017): *leanWOOD Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise*. Edited by Technische Universität München, Professur für Entwerfen und Holzbau. München. Available online at <http://www.holz.ar.tum.de/fileadmin/woobne/www/leanWood/leanWOOD-Broschuere.pdf>, last access on 4/7/2018.

Kirsch, Jürgen (2009): *Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme. Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines Ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer*. Edited by Fritz Prof. Gehbauer. Institut für Technologie und Management im Baubetrieb. Karlsruhe.

Lampel, Joseph; Mintzberg, Henry (1996): *Customizing Customization*. In *Sloan Management Review* 38.

Lattke, Frank; Schlehein, Maximilian (2017): *leanWOOD Buch 5 - Teil A. Das Prinzip lean in der Ausführungs- und Werkstattplanung*. Edited by Technische Universität München, Professur für Entwerfen und Holzbau. München. Available online at http://www.holz.ar.tum.de/fileadmin/woobne/www/leanWood/leanWOOD_Book5.pdf, last access on 6/27/2018.

Laviola, Christian; Rustom, Sima (2011): *Planungsleitfaden Zukunft Industriebau, Teil E: Strukturen zukunftsfähiger Industriebauten. Ganzheitliche Integration und Optimierung des Planungs- und Realisierungsprozesses für zukunftsweisende und nachhaltige Industriegebäude*. Edited by Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart (Forschungsinitiative Zukunft Bau, Z6 – 10.08.18.7 – 08.2 / II 2 – F20-07-69). Available online at http://www.irbnet.de/daten/baupo/20118035375/Abschlussbericht_Teil_3.pdf, last access on 7/2/2018.

Matcha, Heike; Rabighomi, Hossein; Quasten, Gero (2010): *Qualitätssteigerung im verdichteten Wohnungsbau über Erzeugung größerer Vielfalt und Flexibilität durch individualisierte Massenfertigung am Beispiel gestapelter Reihenhäuser ; Bauforschungsprojekt innerhalb der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“*. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl. (Forschungsinitiative ZukunftBau, 2732). Available online at <http://www.irbnet.de/daten/rswb/09119022093.pdf>, last access on 3/18/2018.

Meuser, Philipp (2019): *Industrieller Wohnungsbau. Handbuch und Planungshilfe*. Berlin: DOM publishers.

Moring, Andreas; Maiwald, Lukas; Kewitz, Timo (2018): *Bits and Bricks. Digitalisierung von Geschäftsmodellen in der Immobilienbranche*. Wiesbaden, Germany: Springer Gabler. Available online at <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-19387-4.pdf>, last access on 4/5/2018.

Pestel Institut (Ed.) (2015): *Modellrechnungen zu den langfristigen Kosten und Einsparungen eines Neustarts des sozialen Wohnungsbaus sowie Einschätzung des aktuellen und mittelfristigen Wohnungsbedarfs. Kurzstudie*. With assistance of Matthias Günther. *Verbändebündnis sozialer Wohnungsbau*. Hannover. Available online at <https://www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de/fileadmin/images/Studien/kurzstudie-400000-wohnungsbau/kurzstudie-sozialer-wohnungsbau-und-wohnungsbedarf.pdf#page=1&zooom=auto,-158,848>, last access on 5/19/2019.

Prognos AG, Europäisches Zentrum für Wirtschaftsforschung und Strategieberatung (Ed.) (2017): *Wohnraumbedarf in Deutschland und den regionalen Wohnungsmärkten. Studie Wohnungsbautag 2017*. With assistance of Tobias Koch, Oliver Ehrentraut, Marion Neumann, Ante Pivac. *Verbändebündnis Wohnungsbau*. Stuttgart, Freiburg (8381). Available online at https://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/Prognos_Studie_Wohnungsbautag_2017.pdf, last access on 5/19/2019.

Rauch, Erwin; Dallasega, Patrick; Matt, Dominik T. (2018): *Complexity reduction in engineer-to-order industry through real-time capable production planning and control*. In *Prod. Eng. Res. Devel.* 30, p. 3. DOI: 10.1007/s11740-018-0809-0.

Rinas, Thomas (2012): *Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells*. With assistance of Peter Racky, Gerhard Girmscheid. Available online at <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/153115>, last access on 4/6/2018.

Schneider, Klaus-Jürgen (2014): *Bautabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. 21. Aufl. Edited by Andrej Albert. Köln: Bundesanzeiger Verl.

Staub, Gerald; Dörrhöfer, Andreas; Rosenthal, Markus (2008): *Elemente und Systeme. Modulares Bauen – Entwurf, Konstruktion, neue Technologien*. Basel/Berlin/Boston: Birkhäuser, last access on 8/23/2018.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Ed.) (2017): *Bautätigkeit und Wohnungen. Bautätigkeit (Fachserie 5 Reihe 1)*. Available online at https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/Bautaetigkeit2050100167004.pdf?__blob=publicationFile, last access on 4/11/2018

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Ed.) (2018): *Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff Lange Reihen ab 2000*. 2017. Wiesbaden (5311202177004). Available online at https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautaetigkeit/baufertigstellungen-baustoff-pdf-5311202.pdf?__blob=publicationFile&v=5, last access on 5/19/2019.

Technische Universität München; Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (Eds.) (2018a): *Bauen mit Weitblick. Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau*. München. Available online at http://www.bauen-mit-weitblick.tum.de/fileadmin/woobwq/www/Endbericht/Endbericht_Bauen_mit_WEITBLICK.pdf, last access on 6/8/2018.

Technische Universität München; Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (Eds.) (2018b): *Bauen mit Weitblick. Anforderungskatalog*. München. Available online at http://www.bauen-mit-weitblick.tum.de/fileadmin/woobwq/www/Endbericht/Anforderungskatalog_Bauen_mit_WEITBLICK.xlsx, last access on 6/8/2018.

Verein Deutscher Ingenieure - VDI (Juni 2018): *VDI-Richtlinie 2552 Blatt 2 Building Information Modeling Begriffe*. VDI 2552.

Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (Ed.) (2016): *Nachhaltigkeit im Wohnungsbau - NaWoh - Kriteriensteckbriefe Stand September 2016 V 3.1*. Available online at http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/0-0-0-Inhaltsverzeichnis_V_3_1.pdf, last access on 6/26/2019.

Walberg, Dietmar; Gniechwitz, Timo; Halstenberg, Michael (2015): *Kostentreiber für den Wohnungsbau. Untersuchung und Betrachtung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gesteigungskosten und auf die aktuelle Kostenentwicklung von Wohnraum in Deutschland*. Kiel: Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen (Bauforschungsbericht, 67). Available online at https://arge-ev.de/app/uploads/orders/426f65fa0579f6db1325754fb6116673/Studie-67_Kostentreiber-fu%C3%88r-den-Wohnungsbau_Endfassung_2016-11-16.pdf, last access on 7/3/2019.

Wohnraumversorgung Berlin (2018): *Zehn Parameter für einen kostengünstigen Wohnungsbau. Ein Leitfaden*. 1. Auflage. Berlin: DOM publishers

Conceptual Framework for a Building Design Process using Lean & Agile Principles, BIM and ERP



1 Context

Construction sector is one of the largest sectors in the world economy (13% of the world's GDP). While other sectors have increased their efficiency and productivity (2.8% per year over the past two decades), *productivity in construction has barely increased at all* (1% per year over the past two decades). Many advanced economies show negative or stagnant productivity growth in their construction sectors during this period. The poor performance of construction sector is a missed opportunity to create value. (McKinsey 2017)

The *design phase plays a key role* for having success in the building process and the key decisions are made during the building design process. (El. Reifi and Emmitt 2013) The design phase has a large influence on the outcome of construction projects - technically and economically. (Freire and Alarcón 2002)

Building Design Management is challenging at the same time and there is a lack of research in that area. (Knotten et al. 2017) Poor design and documentation quality is an important reason for the bad performance of construction projects (Tilley 2005) and Building

Design Management is “a major bottleneck and root cause of problems” within the sector. (Ballard and Koskela 1998 p. 11) The performance of Building design management can be improved by better understanding the very nature of the design process and by using available tools to manage the design process. (Bhatt 2018)

Several new innovative approaches slowly take root in the construction sector. The most common and probably most-beneficial approaches for the design phase are the use of Building Information Modelling (BIM) and the application of Lean principles to construction. (Fosse et al. 2017; Mollasalehi et al. 2018) Two other not so common approaches in construction sector are Agile project management methods (APM) and Enterprise Resource Planning (ERP).





Productivity in Construction Sector has barely increased at all. (McKinsey 2017)



Design Phase plays a key role in the building process. (El. Reifi and Emmitt 2013)



Building Design Management is challenging and is “a major bottleneck and root cause of problems”. (Ballard and Koskela)

Fig. 1: Context

Lean Principles (Lean) in Construction are used for reducing waste, for increasing value to the customer and for continuous improvement. (Sacks et al. 2010) “Lean has emerged as a conceptual approach of optimizing processes”. (Fosse et al. 2017 p. 1) Lean Construction is defined as the application of lean thinking to the building design & construction process. Lean Design is defined by applying lean principles to the building design process. One mentionable Lean technique is the Last Planner System® (LPS) that can be used to plan construction work and is applicable to design process as well (Fosse and Ballard 2016)

Building Information Modelling (BIM) is defined as “Methods and tools for the continuous digital support of the planning, construction and operation phases of the lifecycle of built facility based on a digital building model” (Borrmann et al. 2018 p. 576) and “has rapidly advanced as a transformative information technology”. (Fosse et al. 2017 p. 1) BIM and Lean approaches can provide many benefits, especially when implemented integrated. (Mollasalehi et al. 2018)

Agile project management methods (APM) seem predestined for creative tasks such as the planning of a construction project. (GLCI e.V 2018 p. 87) They do have many similarities to Lean Management principles with the key difference that they are made to support the creation of a unique product. (Komus and Kamlowski 2014).

(Demir and Theis 2016) show that through implementation of agile methods in the building design process improvements can be achieved.

Enterprise Resource Planning (ERP) is designed to integrate business processes and the goal of ERP is to automate all the processes running in the construction enterprise and to maintain all the information related to the enterprise. (Kadoli et al. 2014). They are not initially developed for project-based issues like in construction sector. (Kolarića and Vukomanovića 2017) ERP systems are effective in the integration activities in business processes. (Demirkesen and Ozorhon 2017) *Integration of these approaches* within the design phase is proposed by (Demirkesen and Ozorhon 2017) in research about the relationship between integration management and project management performance.

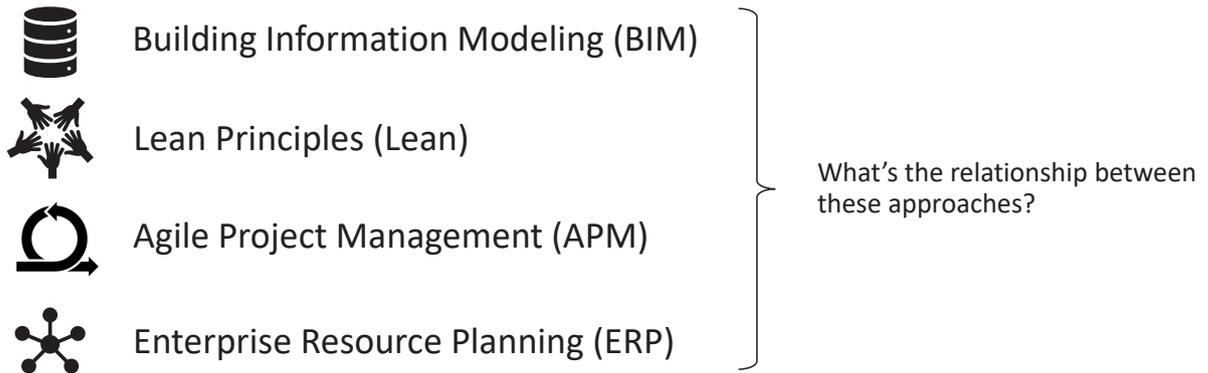


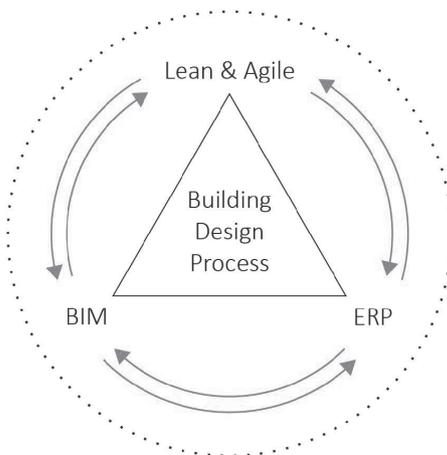
Fig. 2: BIM – Lean / Agile - ERP

¹(Knotten et al. 2015 p. 6) sees BIM (or. VDC), LPS, and agile approaches such as Scrum as the most current approaches to deal with Building Design Management. (McKinsey 2017) cites four root causes on firm-level for low construction productivity.

Three of them are:

An inadequate Design Process, Poor Project Management and Underinvestment in Digitalization – the use and integration of Lean, BIM, APM and ERP will address these three root causes.

¹ Agile project management is proposed for the construction phase, Change management for every phase¹



Research Goal:

Conceptual Framework which describes how to use and how to link these approaches within the Building Design Process

Fig. 3: Research Goal

Main research question

How to manage building design process using Lean & Agile Principles, BIM and ERP?

Fundamentals

- What are characteristics of building design process? What are challenges?
- What can be learned from comparable sectors like e.g. ship building?
What are similarities and differences?

Process

- How can the design process be planned and structured?
- How can it be divided into smaller process like sub-processes and work packages to

a) generate information and b) summarize information and deliver results?

- How can the processes be linked to milestones and results?
- How to find out the interdependencies of these processes?

Lean & Agile Principles

- How can the process be improved to increase value and minimize waste using Lean Principles?
- How to ensure Lean Principles like customer focus, information flow, pull planning and continuous improvement?
- Which processes can be done by using traditional management approaches?
- Which processes require agile or lean principles like SCRUM, Last Planner System or Kanban Tools?

BIM

- How can the process be linked to the Building Information Model in terms of Interdependencies of Information in the Model and Work Packages?
- How can the Building Information Model serve as a) an information source to plan work packages and b) a visualization tool for progress monitoring?

ERP & Digital Tools

- How can the process be displayed, managed and monitored digitally?
- How can the process be linked to an ERP-Platform with the possibility to monitor the progress to a) use it for reporting and as a decision-making tool and b) use it for future projections?

1B Research Method

Step 1: Literature Review & Conclusion

The basis of the research is provided by literature review. One part consists of the investigation of the Building Design Process, Lean & Agile Principles, BIM as well as ERP & Digital tools regarding their application and their interrelation and synergies.

The other part consists of the investigation of comparable sector's process (e.g. ship building) regarding learning potential in general and the use of similar principals, methods and tools.

The findings will lead to a conclusion discussing potential areas of application of the approaches mentioned above.

Step 2: Framework: Outline & Interviews

The gained knowledge will be used to develop the outline of a Conceptual framework to manage the building design process using Lean & Agile Principles, BIM and ERP.

Potential users of the framework will be interviewed to gain feedback. This procedure should avoid going into wrong direction and will ensure a practical point of view.

Step 3: Conceptual Framework

The framework will be developed based on a logical-deductive approach.

Step 4: Empirical Examination

The conceptual framework will be empirically examined and results will be used to optimize the framework.

Step 5: Summary & Recommendations

The last step is to summarize and give future recommendations.

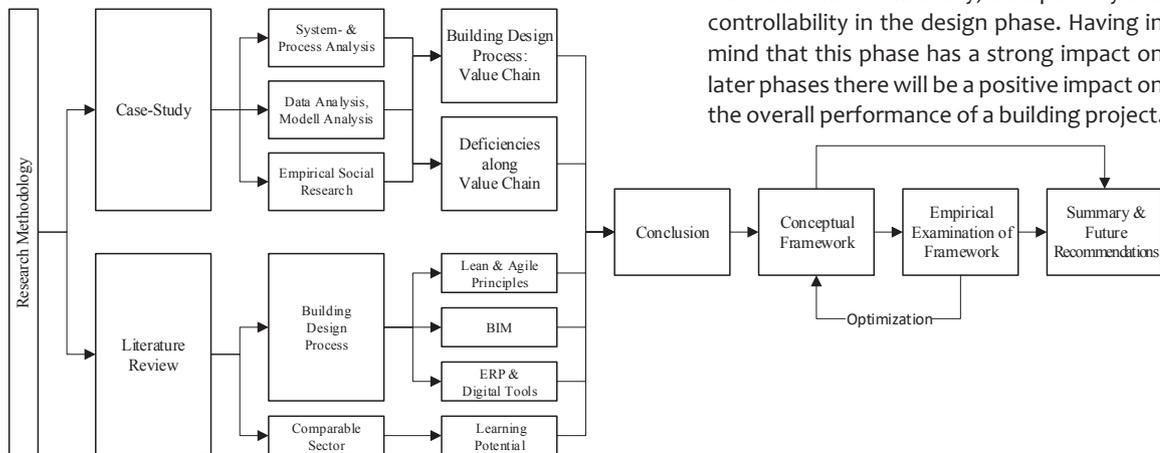


Fig. 4: Research Method

1C Preliminary Findings

Research has just started.

1D Research Scope and Limitations

The dissertation covers the context and the research questions from the perspective of an architectural office in the design phase of a construction project in which architects, structural engineers and building services engineers work together. The research mainly deals with the issues regarding process and culture. Technological and legal issues are considered and mentioned, but not extensively executed.

1E Implications

The developed framework will support project managers in the design phase by proposing a way of how to manage the building design process. This will include the accurate use of the mentioned principles, tools and methods as well as the possible link among each other. The application of the framework will lead to more efficiency, transparency and controllability in the design phase. Having in mind that this phase has a strong impact on later phases there will be a positive impact on the overall performance of a building project.

References

- Ballard, G., and Koskela, L. (1998). "On the Agenda of Design Management Research."
- Bhatt, M. (2018). "Necessity of Design Management in Construction Industry."
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., and Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.
- Demir, S. T., and Theis, P. (2016). "Agile Design Management – the Application of Scrum in the Design Phase of Construction Projects." *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Boston, USA.
- Demirkesen, S., and Ozorhon, B. (2017). "Impact of integration management on construction project management performance." *International Journal of Project Management*, 35(8), 1639–1654.
- El. Reifi, M. H., and Emmitt, S. (2013). "Perceptions of lean design management." *Architectural Engineering and Design Management*, 9(3), 195–208.
- Fosse, R., and Ballard, G. (2016). "Lean design management in practice with the Last Planner System."
- Fosse, R., Ballard, G., and Fischer, M. (2017). "Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice." *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 499–506.
- Freire, J., and Alarcón, L. F. (2002). "Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology." *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3), 248–256.
- GLCI e.V. (2018). "Lean Construction - Begriffe und Methoden." <https://www.glci.at/sites/default/files/2018/Publikationen/GLCI-Lean-Construction-Begriffe-und-Methoden.pdf>.
- Kadoli, S., Patil, D., Mane, A., Shinde, A., and Kokate, S. (2014). "An enterprise resource planning (ERP) for a construction enterprise along with business intelligence (BI)." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(2), 9487–9493.
- Knotten, V., Lædre, O., and Hansen, G. K. (2017). "Building design management – key success factors." *Architectural Engineering and Design Management*, 13(6), 479–493.
- Knotten, V., Svalestuen, F., Hansen, G. K., and Lædre, O. (2015). "Design Management in the Building Process - A Review of Current Literature." *Procedia Economics and Finance*, 8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization, 21, 120–127.
- Kolarića, S., and Vukomanovića, M. (2017). "Application of ERP Systems within Construction Industry and Probable Directions of Further Research." *13th International Conference on Organization, Technology and Management in Construction*.
- Komus, A., and Kamowski, W. (2014). *Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Lean Management und agilen Methoden*. Working Paper des BPM-Labors Hochschule Koblenz.
- McKinsey. (2017). "Reinventing construction through a productivity revolution | McKinsey." <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>> (Apr. 26, 2019).
- Mollasalehi, S., Aboumoemen, A. A., Rathnayake, A., Fleming, A., and Underwood, J. (2018). "Development of an Integrated BIM and Lean Maturity Model." Chennai, India, 1217–1228.
- Sacks, R., Koskela, L. J., Dave, B., and Owen, R. (2010). "The interaction of lean and building information modeling in construction." *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, 968–980.
- Tilley, P. A. (2005). "Lean design management: a new paradigm for managing the design and documentation process to improve quality?" *13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings*, International Group on Lean Construction, 283.

VR/AR in Design Management: Use-cases and Future Research



Purpose of Research

Application of Virtual Reality and Augmented Reality (VR/AR) for design and construction is increasing in practice and has been widely studied in the last two decades. Virtual Reality simulates the real world where users can experience „real“ sensation in an immersive environment. It is used for visualisation of design and training for workers with purposes such as construction safety and new skill development. Augmented Reality superimposes virtual visualisation and information onto the real world surrounding to enable real-time communication and on-site coordination between multi-disciplinary participants in a virtual, safe environment. It is used in design reviews, construction monitoring and facility management.

While there have been many research studies on technical and technological developments of VR/AR in the construction industry (Chi et al. 2013; Rankohi and Waugh 2013; Li et al. 2018; Murphy et al. 2018; Chen et al. 2019), research on VR/AR in management of design process, decision-making and coordination among multi-disciplinary teams is not sufficient. It is known that decisions made early in the design process significantly

account for the manufacturing costs, return of investment, productivity, environmental impacts, design and performances of a construction project. Furthermore, an emerging trend in the industry is to bring knowledge upstream into design process of the project. In particular, this is critical for the adoption of novel manufacturing technologies such as Digital Fabrication (DFAB).



However, designing for DFAB still requires the development of Collaborative Design Management (CDM) strategies to optimise manufacture and assembly processes to ensure maximum quality, delivery time reliability and customer satisfaction at minimal cost. In the framework of Common Virtual Environment, VR/AR offer a medium for CDM to review design and processes by visualisation and simulation. This eases communication and enhances flexibility in decision-making for impulsive and responsive collaboration between multi-disciplines, in particular for projects rely on digital tools such as parametric modelling, Building Information Modelling (BIM) and digitally-enabled manufacturing such as DFAB.

Past scholarship finds dynamic design process and CDM require explicit consideration of criteria, facts, rationale, assumptions, predictions, information forms and disciplines.

While on-going research develops the analytical and visualisation tools to optimise design, construction and operation during early design process, this paper presents that VR/AR offer supports for CDM in early design process.

In this paper, the authors identify the research gap and the following two research questions:

(a) how are VR/AR currently being used in the construction industry; and

(b) what are the future research opportunities in this area?

To address these two research questions, this paper conducts a literature review on VR/AR in design management, in order to identify the use-cases and look into future research opportunities to enhance CDM in construction.

Research Method

To conduct the literature review, the authors searched academic databases, namely Scopus and Google Scholar, with keywords of VR/AR, decisions and design management to identify existing literature in those fields. The authors then selected those papers relevant to the topic. Based on the research of the selected papers, the authors identify and categorise different VR/AR applications in design management in five use-cases. The authors propose a new basic framework to link the use-cases with design management to further address the research questions.

In the second part of this paper, the authors identify future research opportunities of VR/AR in design management for novel technologies such as DFAB in construction.

Preliminary Findings

This paper firstly reviews the current condition and existing visualisation tools for decision-making in the industry to identify problems and inadequacy in design management. These use-cases identified have already been widely touched upon in mainstream research on VR/AR in design management. These mainstream research topics include operations planning and simulation, training for safety measures, VR/AR and BIM integration for CDM, integrated supply-chain management and interactive user interfaces for design decision-making and project documentation.

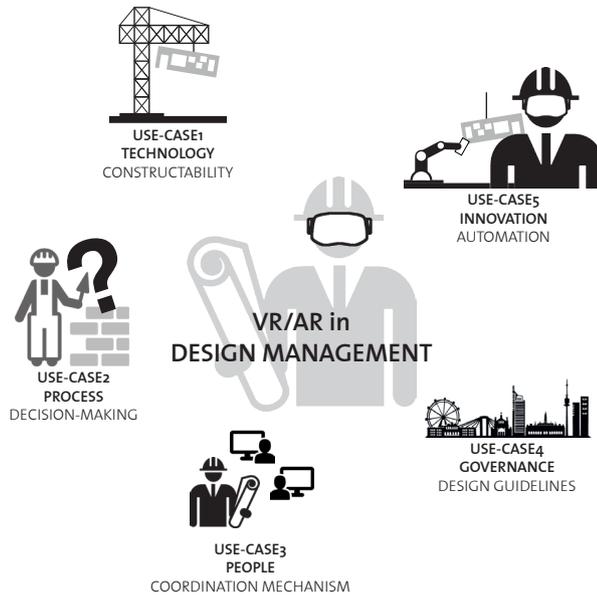


Fig. 1: VR/AR in Design Management



Fig. 2: VR/AR in CDM for DFAB

Based on the reviewed literature, the authors categorise the following five use-cases of VR/AR in design management, namely (Figure 1):

- Use-case 1_ Technology - Constructability;
- Use-case 2_ Process - decision-making;
- Use-case 3_ People - Coordination Mechanism;
- Use-case 4_ Governance - Design Guidelines; and
- Use-case 5_ Innovation - Automation.

For future research, the authors propose studies of VR/AR that investigate how design management for DFAB can increase the adoption of the innovation, enhance current practice, and further develop the fundamental technologies. VR/AR in CDM for DFAB help in early decision-making among multi-disciplinary teams, enhances stakeholders' engagement and foster innovation. Potential research topics include (Figure 2):

- (a) VR/AR in set-based design for DFAB;
- (b) VR/AR in design for human-robot interaction on-site and off-site;
- (c) VR/AR in detailed estimates of costs and target values;
- (d) VR/AR in collaborative workflow and design management;
- (e) Business models for using VR/AR in early contractor's involvement.

Research Scope and Limitations

The research scope is limited by existing literature on VR/AR technologies in the construction industry. Although there are enormous number of research papers discussing VR/AR, only limited of them focus on collaboration in early design process and design management strategies. The findings of this paper are also limited by literature selection based on online searching and knowledge of the authors.

Implications

This paper explores how VR/AR are being used in design management to enhance early decision-making, project integration and system innovations, stakeholders' early involvement, client's engagement and multi-disciplinary collaboration. VR/AR help to break down the wall between design and construction. This concept aligns with that of design for manufacture and assembly and links emerging digital technologies prevalent in the industry. This paper further provides a theoretical point of view to link VR/AR technologies with the concept of concurrent engineering, Set-based Design and Target Value Design.

Last but not least, the authors foresee a line of future research that studies the use of VR/AR in design management as a strategy to increase the adoption of novel manufacturing technologies such as DFAB in construction.

Challenges and opportunities for future industrial transformation in the urban context: the use case of Stuttgart's industrial estates

A Purpose of Research

The Stuttgart region is one of the strongest economic regions in Europe. The manufacturing industry, especially the automotive industry with its suppliers and mechanical engineering, has been shaping the economic strength of the region (see Fig. 1).

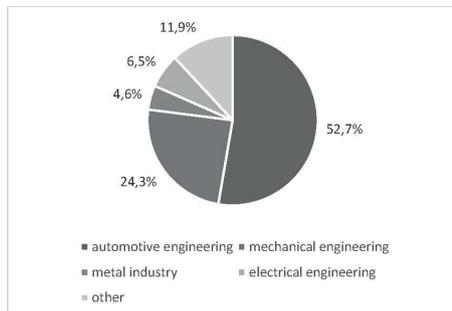


Fig. 1: Share of manufacturing sectors' total revenue (diagram based on Strukturbericht Region Stuttgart, WRS 2017)

However, the strong position is not immune from the industrial transformation processes and their associated challenges, which have been increasing rapidly in recent years worldwide. The recent diesel emissions scandal, for example, has added the socio-economic pressure on the industry.

Generally, the following megatrends are shaping the industrial transformation process:

- Digital transformation
- New mobility concepts
- Globalization
- Demographic change
- Sustainable development

The industrial region of Stuttgart is facing an even more difficult transformation process due to its unique situation. An increasing demand for commercial/industrial areas, on one side, and a lack of commercial/industrial space in the Stuttgart region, on the other side, have become a great problem, which is further exacerbated by the upcoming industrial transformation.

These problems have motivated the author to investigate and create real estate development scenarios for the Stuttgart region. By defining and analyzing the industrial transformation characteristics, the study aims to create various development's scenarios, which show the opportunities of safeguarding the business processes in the urban region.



B Research Method

An extensive literature review as well as critical discussion regarding megatrends will be conducted to construct a theoretical base. Furthermore, this study uses expert interviews and scenario analysis as research methods.

Expert interviews serve to confirm the relevance of megatrends and to investigate their impacts on characteristics of industrial estates. The impacts are systematically categorized and described according to three selected time horizons (short, medium, and long term). By analyzing the trends, it can be predicted which properties of industrial estates will gain importance in the future.

The result is a catalog of “target” characteristics of industrial estates needed for future business processes (see Fig. 2).

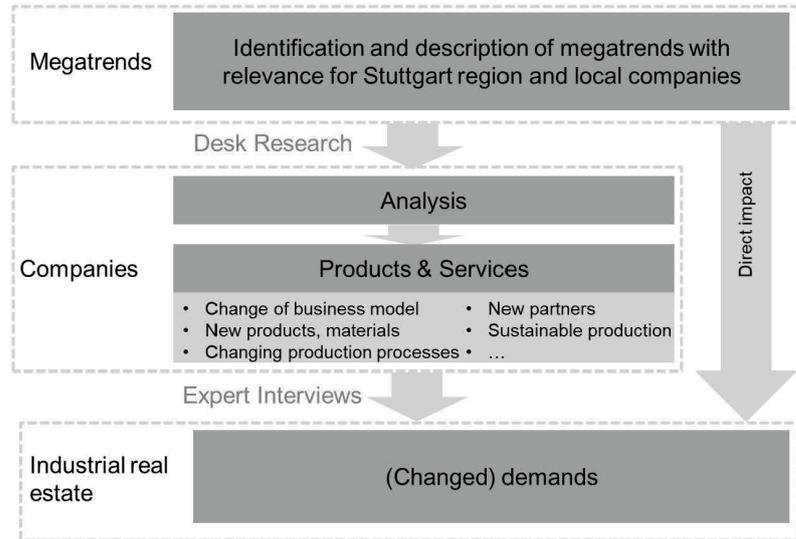


Fig. 2: Concept (part 1)

The future development is to be mapped in the form of scenarios, which will be developed in close cooperation with business representatives.

In addition, five existing areas will be exemplarily examined to see how they can be enabled for future requirements – immediately and evolutionary (see Fig. 3).

The aim is to use industrial estates that are typical for the Stuttgart region and to present real implementation concepts for the further development of the selected areas.

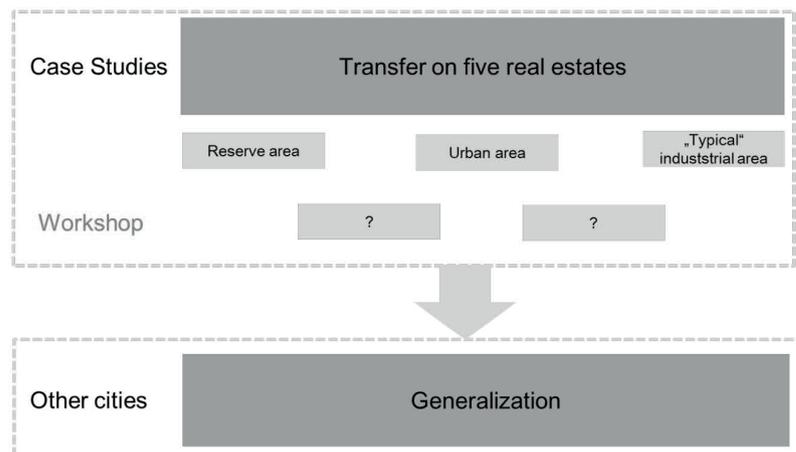


Fig. 3: Concept (part 2)

C Preliminary Findings

A comprehensive literature review has been accomplished and the results serve as guidelines for the interviews. Moreover, the Project Advisory Board confirms the following trends:

- **Digital transformation**
Referring to a continuous process of change based on digital technologies, digital transformation includes digitalization (inclusive big data), automation, artificial intelligence, and the development of new technologies. For many companies in the region, digitalization means that both the production's process and the products will change fundamentally. Digitalization will allow to adapt products more individually for customers. High quality services will be added, the work will become more flexible and decentralized, and innovation cycles will accelerate.
- **New mobility concepts**
The shifting of mobility behavior – from the combustion engine to alternative drives, particularly electric mobility – will affect many companies in the Stuttgart region. These following changes will apparently increase: the “shared economy” (= sharing/using instead of buying), the further development of drones and other flying robots, as well as the autonomous driving, using artificial intelligence.
- **Globalization**
Globalization is the cross-border flow of goods, services, capital, knowledge and (partly) people. Companies benefit from worldwide sales markets for their products and services. Due to the saturation of the European market (consequence: new locations in emerging markets countries) and the different wage levels worldwide, locations in Germany are exposed to high competitive pressure.

- **Demographic change**
Nowadays companies confront an enormously heterogeneous population, such as the changing proportion of older/younger in the population, women in the workforce, as well as migration and urbanization. Instead of property, knowledge has become an important factor, which drives the future of industrial companies. It leads, for example, to the trend of having flexible working hours.
- **Sustainable development**
Acting sustainably means using available resources in a way that meets the needs of today's generation without compromising the ability of future generations to meet their respective needs. Aiming in reaching a higher sustainability, companies try to act economically and ecologically. As an example, they use the natural/fossil resources more efficiently and strive to reduce the level of harmful emissions.

D Research Scope and Limitations

After identifying the deficit and the transformation process in the Stuttgart region, a future areal development plan will be designed. Both the designation of currently available areas and the reallocation of existing areas should be considered. For this purpose, further knowledge regarding the future demands in areas is required. The relevant company processes (for example, production, research and development, logistics, and the like) as well as the “megatrends of industrial transformation” mentioned above will likely influence the demands. It is important to find out which areas of which quality will be needed for which company's processes in the future. To cope with the fact that nobody can predict the exact development the study uses scenarios' approach to show the possible future developments.

The project advisory board consists of some representatives of the regional business development agencies and some well-known “global players” companies. The author takes up the challenge to consider the needs of both the large and the small and medium-sized enterprises.

E Implications

Aiming to preserving Stuttgart as a sustainable business location, this project investigates how the requirements will change over a period of more than 10 years, with a particular focus on the companies currently based in Stuttgart.

The project examines how the pressure of global megatrends affects the change of location requirements and thus the demands on the industrial estates. The results of this project will be helpful to decide which characteristics of industrial estates are necessary to keep up with the current trends in the companies. It will also show how a transformation process of an industrial estate can look like and how it can be shaped for some concrete examples.

Based on the results, a general model for the transformational processes in industrial areas, which could be applied to other industrial estates as well, can be developed. All in all the project shows how the transformational processes, requirements and stakeholders need to be mapped together for a better understanding how industrial estates will change in general in the future and how this process can be influenced by politicians and regional representatives to secure a long-term industrial commitment.

Flexible Structural Design 4.0 – Proposal for BIM-based digital planning and optimization of flexible building structures for Industry 4.0

Purpose of research

Shorter product life cycles, increasing individualization and production in batch size 1 enforce the production of the future to respond rapidly changing production processes and new technologies. Current production facilities lack in terms of flexibility. Industrial Buildings cannot be adapted quickly and efficiently enough to these changing conditions [1, 2]. There is an increasing divergence of the different life cycles in factories (Figure 1). As a result, the production-, building-, and infrastructure systems are subject of frequent rescheduling or even demolition and new construction. This in turn leads to increased life cycle costs and material demand.

The sequential planning approach, the slow progress of digitalization in AEC (architecture, engineering and construction)-industry and the rigid building structures represent the most significant limitations for the realization of flexible industrial buildings. Within the planning phases, a clear separation between production and building design can be identified. One of the major reasons of the separate, disconnected planning approach between production system and building design is the sequential planning approach,

which still takes place in discipline-specific and temporarily separated planning stages. The consequences are data and information loss, planning deficiencies, time delays, as well as far higher costs over the entire life cycle of the buildings. Furthermore, a wealth of different planning tools and software is used, which do not allow the holistic representation of the database and lack in interoperability. The involved stakeholders, such as production layout planners, architects and structural engineers work mainly isolated within their own domain-specific planning methods and incompatible digital tools. These isolated systems allow the optimization of domain-specific subsystems only, instead of enabling the holistic optimization and representation of the entire industrial systems. Thereby lacking to consider complex interactions and correlations between the subsystems.



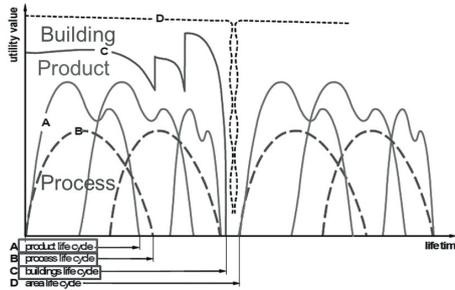


Fig. 1: Life cycles of a factory - own presentation based on Wiendahl, 2007 [4]

Crucial for the adaptability and flexibility of industrial buildings are the load bearing structure- and the building service equipment (BSE)-systems. Whereas the load bearing structure, as the most rigid element with the longest service life in industrial buildings, restricts the flexibility the most. Usually structural engineers are involved too late in the planning process, resulting in suboptimal floor plans and building structures. According to Hawer et al. [3] a process model, which takes into account data based interdependencies and at the same time allows adaptation to individual planning cases, is lacking. New technologies in manufacturing planning such as Building Information Modeling (BIM) have the potential to support interdisciplinary design, however are hardly exploited.

An integrated planning methodology for flexible building design supported by digital tools in early design stage, furthermore focusing on the structural components, is missing.

Research method

To allow the planning and realization of flexible building structures, which react to changing production processes, a novel method for an integrated planning methodology supported by digital tools for early design stage will be developed in this dissertation. The main objective of the research is to evolve a framework for an innovative BIM-based Flexible Parametric Structural Design Model (Figure 2). A novel integrated planning process for industrial building design 4.0 will be defined which integrates the production process planning into building design, with special focus on structural design.

In the first step, a BIM-Software will be used for the modelling of an industrial building. The BIM-Model serves as the central geometry and data management system. For the structural performance simulation and analysis, parametric design methods coupled to FEM (Finite Element Method)-analysis software will be utilized. Methods will be developed to allow a bi-directional data exchange of the Flexible Parametric Structural Design Model to the BIM- Software. Thereby, enabling an automated generation and synchronization of data and information, like geometry, properties and load specifications for the structural analysis.

By defining assessment criteria (Design Objectives and Constraints) and integrating them into the framework, an automated multi-objective optimization of the building structure, which takes into account architecture, BSE- and production process planning, will be enabled. The proposed framework furthermore supports in decision-making in multi-disciplinary teams by data visualization and immediate evaluation and feedback of

decision. The resulting increase in flexibility and its impact on the cost, time, life and CO2 footprint of buildings will be assessed.

Expected Results

This research aims to design a framework for a digital, BIM-based structural design method for integrated planning, modeling, analysis and optimization of buildings for industry 4.0. We expect to achieve a reduction of cost and resource consumption in the life cycle of buildings through increased building flexibility. By coupling parametric structural design methods, digital modelling tools (BIM) and production planning, the enrichment with information and properties, which are essential for life-cycle data management, is given.

By linking the industrial planning participants, their processes and their domain specific models, a high information content in combination with real-time scenario formation in design process is expected. By integrating architecture, engineering and production planning information in one framework, comprehensive information for industrial buildings is available, enabling multi-objective optimization with decision-making support in multidisciplinary teams.

Moreover, resulting in improved data and information management within interdisciplinary design teams and avoiding data and information loss in the design process and the whole building life cycle.

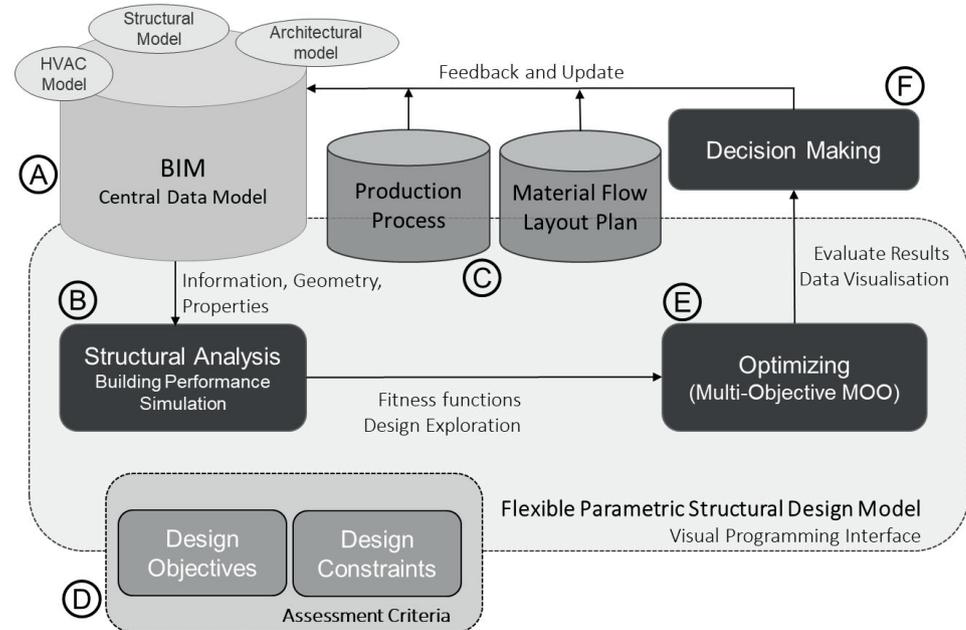


Fig. 2: Framework Proposal - Flexible Structural Design 4.0

Conclusion

The increasing digitalization and thus flexibilisation of industry 4.0 processes require new planning methods in AEC-industry. Currently production process planning and building planning run consecutively and are not linked with each other. Rigid building structures prevent a free, flexible and adaptable use of industrial buildings. Since 80% of the life cycle costs of a building occur in the use phase and 75% of these are determined in the planning phase, the early planning phase is crucial for defining essential parameters influencing the flexibility and adaptability over the entire life cycle of the buildings.

The lack of a simple and flexible BIM-based structural design methodology, suitable integrated optimization methods and visual decision support in early design phases can be identified as research gaps, which are addressed in this research.

The presented novel integrated design method for Flexible Structural Design 4.0 focuses on the load-bearing structure as the most rigid element in buildings and has the potential to improve building performance and resource efficiency over the life cycle.

Thus, a reconfigurable, flexible supporting structure enables a flexible use of space as well as free production layout planning due to the freedom in the floor plan. This requires early multi-disciplinary variant studies, which are rarely carried out in structural design in early design stages. However, early variant studies and simulations are complex and require the maximum integration of all disciplines. This requires the assistance of powerful digital tools with high information content to perform simulations and optimizations. The presented holistic structural design approach, which integrates the production planning processes into the building and infrastructure design, enables decision support in multi-disciplinary teams through prediction and optimization.

The approach for Flexible Structural Design 4.0 has implementation potential in AEC domain to allow cost-effective and sustainable industrial building design.

The research results are expected to have direct economic and environmental impact and produce new insights and approaches for further research activities and could become a standard procedure for realizing flexible structural buildings.

Timber Industry meets BIM and Lean – How to deliver multi-storey timber buildings



1. Purpose of research

Since construction and demolition activities account for circa 1/3 of global energy-related carbon dioxide emissions, a reformulation of construction sector avoiding carbon intensive materials is urgent. Besides, the permanent low productivity of the sector and its remarkable waste rate suggest that performance improvements are imperative. Timber is, consequently, proposed as a suitable material to build with, since its production is less carbon intensive, it is renewable and stores carbon for the long term. In parallel, Lean Construction has proven to be an alternative propagating efficiency in decisions and actions by applying lean thinking to the design, construction, use and deconstruction of the built environment.

Modularity is implicit to modern timber construction and should be understood as a systematic work methodology where the modules are industrial manufactured components, elements and joints that combined form systems leading to an end-product with bare constrictions.

According to the transformation-flow-value theory of production (TFV) formulated by L. Koskela, multi-storey timber buildings, being considered as production systems, involve

product design and development. In this context, the purpose of this research is to maximize value and minimize waste in all stages within a waste elimination model based on a proactive assessment of design and implementation, which would help making value-supporting decisions upfront, involving design management and construction management.

Since mid and high-rise timber buildings are still pilot projects, there is a lack of common procedures, standardized practices and approaches regarding its implementation. Therefore, this approach also intends to fill this gap and contribute to knowledge by defining the interconnection of activities, coordination of people, materials and tools and interplay between technology, situations and decisions.



2. Research Method

The specific research design of this approach follows the Design Science Research method, wherein the proposed artefact wants to enable a constant production workflow where variability, uncertainty and deviations are minimized.

The research strategy is based on qualitative data, being the evidences gathered from secondary sources in form of literature review, and from primary source within empirical approaches in form of workshops and semi-structured interviews involving more than 50 timber experts, a Lean and a Timber Construction Company. Within this exploratory stage of the study, complementary research

is run in form of direct observations, case studies and specific documents analysis. Based on the results obtained, the final artefact is located in the design phase involving design assessment and management and its handover to the timber construction company. Since the main problem is the implementation of specific engineering or expertise upfront, it should act as a decision making tool to select the most suitable building element, joints and system, and in further steps, avoid the common rework from timber construction companies adapting the drawings and details to their own platforms, suppliers and systems. Besides, such an approach should enhance timber construction companies to move towards standardization, avoiding in-house dependent products.



Fig. 1: MineRoom, Leoben (2016)

3. Preliminary findings

Buildings are becoming more complex because of higher performance requirements. Consequently, the integration of different experts is crucial to achieve the desired parameters regarding building physics, technical systems and structural performances.

Furthermore, planning and building modern timber constructions requires extended expertise and implies a different approach as in traditional mineral buildings, what often comes to mistakes. Besides, there is a lack of a common understanding about interdependencies between disciplines, leading to an inefficient collaboration and lots of conflicts throughout the process.

The fragmented traditional planning schema based on the HOAI, has been proven not to be suitable for timber constructions, since it is discrete and linear.

The sequence of the different stages do not fit with an efficient planning in timber constructions because a higher level of detail as in traditional planning is needed, because of prefabrication, and its consequent integration in construction plans.

Already in the design stage specific material properties and inherent prefabrication parameters have to be taken into account, such as supply chain, transport, panelization, platforms and assembly process.



Fig. 2: Moxy Wien, Wien (2017)

Otherwise if a low level of detail is delivered, deviations and uncertainties will appear in further stages. Within this schema, planning and construction are separated and consequently, the specific expertise from the timber construction company comes with the handover.

That leads to a re-design phase and re-work from the timber construction company adapting the details to their systems, their platforms and their providers. This issue provokes time overrun and eventually cost overruns because the new constructive approaches.

Thus, two possibilities have been found to be embraced in order to implement the specific timber expertise in earlier stages of design, i) through the integration of timber experts in design, like timber engineers; or ii) through the integration of the timber construction company within an earlier handover.

Current situation shows the lack of trained people with such an expertise in timber construction regarding structure, fire resistance and sound and warm isolation, as from timber engineers. This new role coming from Switzerland could be enhanced within universities and academic institutions. On the other hand, integrating timber construction companies in design phases can lead to an uncompetitive tendering, since the detail



Fig. 3: Illwerke Zentrum Montafon (IZM), Vandans (2013)

plans and solutions are specific for the firms and consequently, no comparison is eased. A third possibility is within this approach suggested, consisting on a migration from construction companies to standardized products in order to avoid re-work after handover and to reduce the overwhelming amount of different building elements, joints and assemblies.

The main contribution is to classify all building elements, systems and joints in a hierarchical way and relate them to those construction companies able to produce them.

The higher the number of available companies is, the better will be the competitiveness of the market. Such a statement should enhance companies to standardize their products to embrace more projects and increase the production.

Impact of Exoskeletons on Life-Cycle Primary Energy Consumption and CO₂e Emissions of Tall Buildings



Background and Problem

Although global living conditions have significantly improved in many economic and social dimensions over the past couple of centuries, these enhancements have been achieved at the expense of the natural environment. Buildings, while necessary for settlement and development of societies, are proven to consume a massive share of natural resources of materials and energy, and emit large amounts of greenhouse gasses to the atmosphere throughout their life cycle. Emissions recognize no borders between countries; no matter where they come from, they affect the whole Earth.

A crucial step in the early stage of design of tall buildings is informed decision making about the placement and design of cross sections of Primary Structural Elements (PSEs). These elements incorporate relatively larger amount of materials than those of mid-rise or low-rise buildings-mainly because the PSEs of lower levels should also carry the loads applied from above. PSEs are usually kept inside the thermal envelope and designed to withstand only the structural loads caused by gravity, wind and earthquake. However, in some buildings, a group of outer PSEs penetrate the thermal envelope and directly interact

with the outdoor environment. A network or layer of PSEs when exposed to the outdoor environment is often called as exoskeleton. O-14 Tower in the hot desert climate of Dubai is an example where the exoskeleton (outer tube) functions as a large exterior shading device as well.

It has been “claimed” that applying this integrated architectural design strategy resulted in a major reduction of operational (cooling-) energy consumption despite the thermal bridging effect of structural connections between the tube and floor slabs. Needless to say that changing the size and placement of the outer tube elements with respect to boundaries of floor slabs and curtain walls may affect the behaviour of the structure under lateral and gravity loads and thus might also affect the total amount of structural materials.



While incorporation of exoskeletons in architecture of tall buildings is not rare in practice (figure 1), reviewing scientific literature on life-cycle assessment (LCA) of tall buildings remarks a methodological gap: the most relevant existing research papers typically focus either on (1) structural systems/elements regardless of their interaction with other systems such as HVAC, lighting, microclimate of urban tissues during the operational phase; or on (2) the so-called “whole building (energy-) modelling” where the typical fashion covers—from the PSEs—only the effect of thermal mass of slabs and shear walls on thermal operational energy consumptions but neglects the shading or other effects of

(exo-)skeleton frames on the quantity of building’s life-cycle primary energy consumption and thus on CO₂e emissions as well.

Another gap in the relevant studies is the lack of notion to develop and apply “future scenarios” in life-cycle assessments. The lifespan of tall buildings (with +150 m height) is arguably infinite as only a very few of them have ever been demolished. PSEs are the first to build and the last parts of buildings to demolish. They usually remain untouched during the whole operational phase whereas other systems (e.g., HVAC, lighting) have relatively much shorter lifespans and are progressively replaced by newer technologies. It is important to take into consideration not



O-14, Dubai

Reiser + Umemoto RUR Architecture 2007-2009
Photo: Nelson Garrido, Source: Archdaily



IBM, Pittsburgh

United Steelworkers Building, Designed by: Curtis and Davis, 1965
Photo: I. Peterson, Source: <http://mathtourist.blogspot.com/>



CoD, Macau

“City of Dreams”, Zaha Hadid Architects, 2014
Image source: Archdaily

Fig. 1: A few examples of contemporary tall buildings with exoskeleton structures

only the evolution of those building systems (e.g., HVAC, lighting) but also the variation of uncertain context factors that are influential on the actual primary energy use and carbon footprint of buildings throughout their life cycle. These uncertain context factors are weather (climate change), energy mix in electricity production, and shading effect of emerging adjacent buildings on each other (variation of urban density/floor area ratio), just to name a few.

The aforementioned interconnected gaps in the literature end up in an unsolved complex architectural engineering problem: the impact of using exoskeletons on the life-cycle primary energy consumption and CO₂e emissions of tall buildings has remained unclear! Consequently, this ambiguity in quantitative information makes it unfeasible to make unbiased, informed and optimal decision whether to expose the skeleton elements to the outdoor environment or not (or maybe place them somewhere between indoor and outdoor space).

Audience/Perspective

This research essentially looks at the problem from the perspective of architectural engineers (in research and practice) dealing with the early stage of design of tall buildings.

Research Questions

1. What is the impact of exoskeletons on the life-cycle primary energy consumption and CO₂e emissions of tall buildings? I.e., how influential and desirable is it compared to and in interaction with some other controllable and uncontrollable factors from the perspective of architectural engineers in the early stage of design?

This question would be followed by:

2. What would be the optimal decision about the controllable factors made objectively (based on quantitative data) by architectural engineers considering such uncontrollable circumstances?

Objectives and Scope

This research aims to shed light upon the impact of using exoskeletons on life-cycle primary energy and carbon footprint of tall buildings from the perspective of architectural engineers involved in the early stage of design. The actual factors (parameters) and their interactions in architectural engineering is numerous. Coverage of all parameters is beyond the scope of any individual research; an attempt made here to keep the research scope between overcomplexity and oversimplicity, i.e., to keep it understandable while not sacrificing the natural complexity of the subject matter. Various longitudinal and cross-sectional scenarios are discussed regarding the issue of changes in building systems and context circumstances over time.

Although this research will answer to the research questions within the boundaries of an exemplary case study, it is expected that its extensible conceptual and methodological framework will pave the way for future researchers and practitioners in architectural engineering to reply to similar questions, and make scientifically informed decisions in other cases (structural systems and materials, climates, locations, etc.).

Conceptual Framework

The main independent/explanatory variable/factor of interest is the placement of skeleton elements with respect to curtain wall (we set up a skeleton adjacent to the curtain wall in interior space of a high-rise prototype building as a baseline level or control group to compare with exoskeleton setups).

The dependent/response variables are primary energy and carbon (CO₂e greenhouse gas emissions). Mediator/intervening variables which connect the independent variable to the dependent ones are: operational primary energy and carbon footprint of fuel and/or electricity required for HVAC and electric lighting systems; and embodied primary energy and carbon of structural materials and insulation materials (for thermal bridge reduction). Other independent/explanatory variables whose interactions with the main independent variable is subject to test in this research are listed below. If the statistical analysis confirms significant interactions, these would be called moderator variables:

Density of urban neighbourhood (floor area ratio), structural material (in case of reinforced concrete: cement replacement e.g., use of fly ash, GGBFS; use of desalinated water, etc.), thermal bridging control; time-dependent variables, e.g.: climate change, development of environment-friendly technologies such as improvement of insulation materials, energy mix, COP of HVAC system, efficacy of electric lighting system. We did the delimitation of factors and their levels by reasoning and in accordance with sources of literature and valid databases. Review of these sources show many other explanatory variables may also have the potential to moderate the impact of the main independent variable on the response ones. We set them

as constant due to the limited capacity and scope of one dissertation. However, we will make the conceptual and methodological frameworks extensible to facilitate future studies. In depth explanation why certain selection of variables or levels was made will be reflected in the dissertation one by one. Below is a brief list of those variables and their constant values in this research.

Constant values of some variables are written between parentheses:

Location (Dubai; it has the hottest climate among the 5 cities with greatest number of buildings taller than 150m), Building Program (office), Overall Architecture (Overall Form: vertical extrusion, cylindrical; 40-story, Height of Floors: 4.08 m), Type of structural system and material (Diagrid, Reinforced Concrete, C40/50 Concrete), Type of HVAC System (FCU + DOAS), Lighting System (high performance LED), Type of Skin (Single-Skin, Glazing Ratio 2/3), Curtain Wall's U-value and Visible Light Transmission, etc.

Methodology and Work in Progress

We developed a 40-story office building prototype with diagrid reinforced concrete structure and FCU+DOAS HVAC system in the hot desert climate of Dubai as the baseline scenario for computer-simulation-based case-studies. Then by applying the principles of factorial design of experiments we simulated all possible combinations of different levels of independent/explanatory variables (factors) of interest, and calculated and collected the dependent variables (responses). This procedure was done on three time steps; years 2020, 2050 and 2080. We assumed the operational phase of the prototype building to begin in 2020. Therefore the response data of this year represents the embodied

primary energy and carbon footprint of structural and insulation materials. Factors in this step are either controllable or uncontrollable by the architectural engineers involved in the design process. The data from 2020 to 2080 represents 60 years of operational phase with respect to the future scenarios. None of the factors in this phase are controllable by the architectural engineers. We packaged and assumed as one scenario some variables whose individual effects were not in the focus area of this research but their collective effect could be influential on the association of the variables of interest (this is a common practice in scenario planning). We fit Generalized Linear Models (GLM) for each phase of life-cycle separately as well as cumulatively to see the magnitude of in-

fluence and desirability (negative or positive) of each factor and two-way interactions between factors. The final results of this stage, which is still in progress, will reply to the first research question. It might also reply to the second question in case there are no significant large interactions between the controllable and uncontrollable factors contradicting the decision. The next stage will be to apply Minimax Regret method. With this method, different alternatives (combinations of controllable factors) will be compared to rank and find the ones which minimize the maximum loss of opportunity in different states of the world/nature (combinations of uncontrollable factors). The results of this stage will answer to the second research question.

Framework for interdisciplinary data exchange between architectural design and structural analysis models



Background

Architects create and provide first digital building model in the planning process, while structural engineers conduct structural analysis and optimisation based on the input information from the architects. Acquiring project information primarily takes place in two ways: by using paper printouts and redefining information in the structural analysis software tools; or by using 2D/3D digital planning documentation as a base for the definition of structural model.

If architects and structural engineers exchange a digital 3D building model, common practice is that an exchange is followed by massive remodelling of architectural models for the purposes of structural analysis. This practice results in significant amount of work, it is prone to errors and misinterpretations. Significant rework mainly involves redefining already existing information provided by the architectural model. However, the remodelling process is often easier than achieving a satisfying model data transfer.

Due to heterogeneity of architecture, engineering and construction (AEC) industry and numerous software tools available for

architects and structural engineers, new proposal needs to be independent of software vendor/platform. Currently the most popular independent data exchange standard is industry foundation classes (IFC), which is not able to cope with the model differences between architectural design and structural analysis models. By identifying the problems in the data exchange with IFC standard, this work aims to overcome the existing problems and provide a more suitable exchange framework between architectural and structural analysis domains.

The main research question is: **what is the most suitable data management framework supporting data exchange between architectural design and structural analysis?**



Research method and preliminary findings

In order to achieve a successful data exchange between architectural design and structural analysis 3d building models we intend to examine new data exchange approaches and technologies. Thereby it is necessary to examine the possibilities of data storage, data handling and data analysis.

The conducted research was divided into six steps:

1. analysis of geometry definition formats
2. test of software tools which manage STEP (Standard for the exchange of Product Model) data; STEP is a base for the IFC standard
3. MEAN stack used as the starting point with its technologically advanced data management approach compared to the STEP

4. proposal of new data exchange framework and system architecture based on MEAN stack
5. proof of concept to test the new framework
6. optimisation of the framework with ontologies

The harmonisation of classification systems for architecture and structural analysis domains is not a feasible solution. Therefore, the new proposal includes development of two classification systems with architectural and structural purpose, based on a unique concept system. Example of classification system for column, wall and slab is depicted in Figure 1.

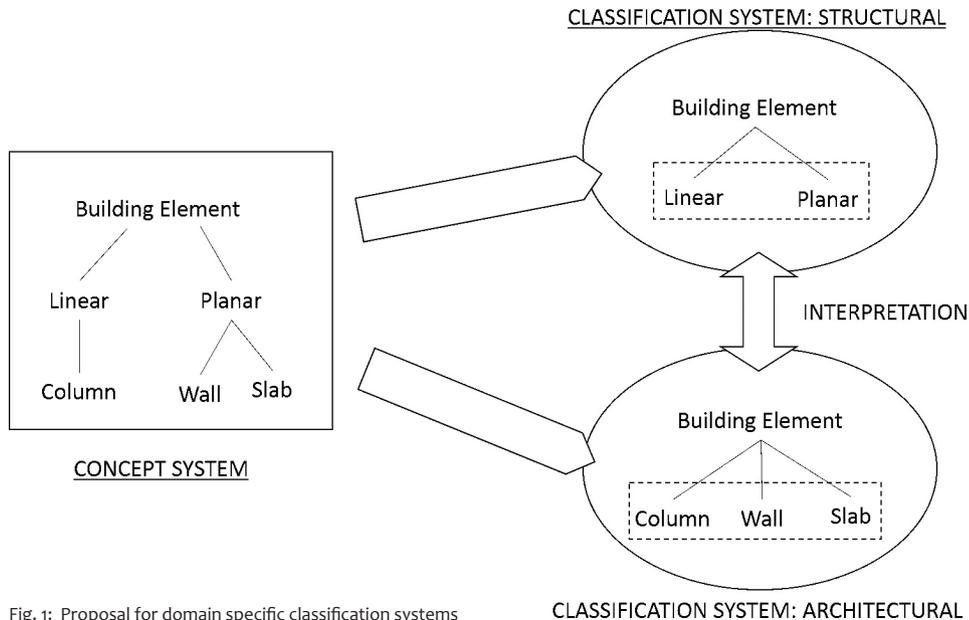


Fig. 1: Proposal for domain specific classification systems based on the concept system

The framework involving multiple classification systems must retain the interpretation rules existing in the concept system. Without the interpretation rules, the systems lose their relations originating from the conceptual system and the data exchange between two classification systems becomes impossible. Interpretations between architectural design and structural analysis involve several processes but especially challenging are geometrical interpretations (Figure 2). Finally, the framework proposal can be defined as “concept system = classification systems + interpretations”.

Implication

The framework discussed in this paper has implementation potential in various AEC domains, especially the ones having different representations of same building elements (e.g. energy performance analysis, structural analysis).

However, it would be useful even if only simple data processing tasks like filtering of information takes place (e.g. cost calculation, life cycle analysis) since it is based on the state-of-the-art technology.

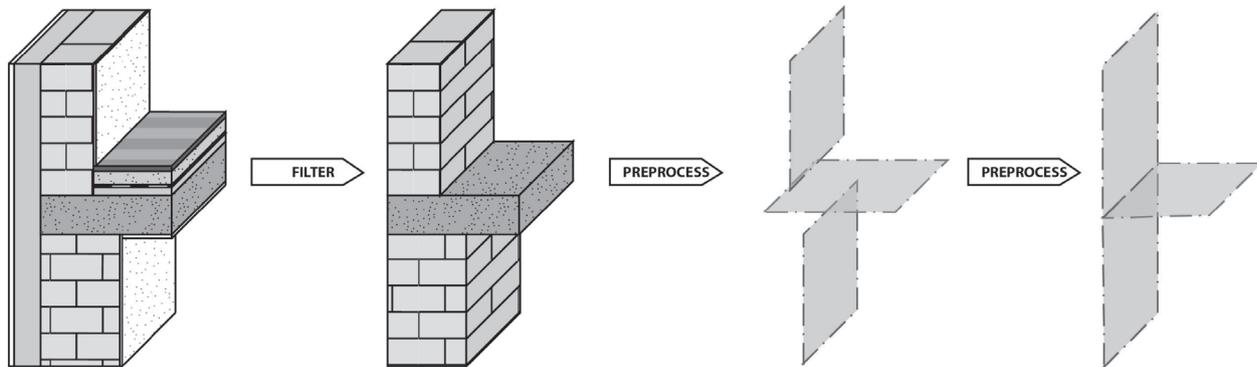


Fig. 2: Geometrical filtering and interpretation steps

Data model - Determining the specific information demand in planning, building and operation of real estate



1 Purpose of Research

The availability and interpretability of information is key to a successful construction project and the steering of real estate. Due to the current possibilities in methods and software (such as Building Information Modelling (BIM)) more information can be collected and processed than before. It is expected that BIM will improve the flow of information between stakeholders and project phases.

Methods and tools, however, cannot determine which information is needed in respect to corporate necessities, real estate specifics, project specifics, economical or legal aspects. A crucial role has the building owner: as the “orderer” for a building and the related information he specifies the information demand and has to organise the transfer of information from the building project to the operational phase.

Knowing which information is needed is the foundation of employing the technical possibilities of data handling. Moreover this knowledge is necessary to specify information requirements in projects or in property management.

This leads to the following main research question:

- Which information is needed for a specific task or process in a particular phase of a certain building project?

Processes or tasks are for example the estimate of costs for the approval of the project in an early phase or the cleaning management in the operational phase. The possible processes and tasks are extensive. To focus the research the most relevant processes and task are identified first.

As a framework for the research the focus is set on building projects in corporates for owner occupied buildings. It is assumed that in this setting the building owner, represented e.g. by a Corporate Real Estate Management (CREM) Department, has a holistic view towards planning, construction and operation and is interested in the optimal information transmission and utilisation. Special emphasis is put on the operational phase.

Lists and databases for information in construction projects and in the steering of real estate can be found in literature.¹ However, a holistic but adaptable and filterable catalogue from the perspective of the building owner with regards to relevant tasks and processes is not yet available.



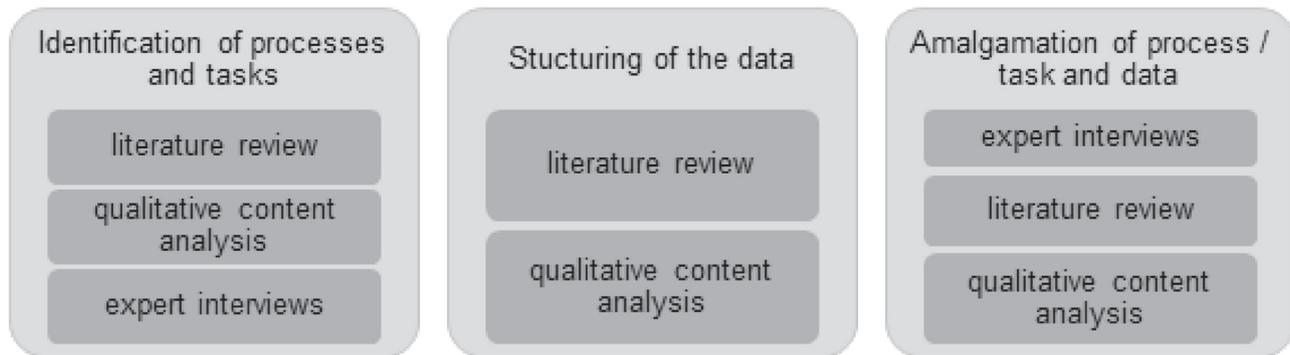


Fig. 1: Steps of the research and related methods

2 Advancement and Research Method

The research is structured in three main parts: the identification of the most relevant processes and tasks, the structuring of the information and the amalgamation of process / task and data for an information catalogue.

The methods employed in this research are mainly literature review, qualitative content analysis and expert interviews.

Figure 1 shows the relation of the steps of the research and the methods employed. In the identification of processes a literature review is conducted to identify relevant and informative sources in respect to the research question. A software-aided qualitative content analysis is conducted to extract passages that state and describe processes and tasks in the lifecycle of a building with regards to the viewpoint of the building owner. Expert interviews are used to verify the findings and complement the compiled list of processes and tasks where necessary. Moreover the expert interviews are used to rank the processes. The overall ranking displays

the most relevant processes and tasks with high potential for improvement.

For the structuring of the data relevant literature was reviewed. The question posed as a guideline for the qualitative content analysis is: “How can information in real estate be structured?” The extracted, summarised and consolidated passages from the different sources reveal frequently employed categories for the structuring of data.

In the final step of the project, expert interviews provide detailing in the amalgamation of process or task and necessary information. For each relevant process and task an expert or a group of experts is asked to state necessary information in detail. The interview and the information itself is structured according to the categories identified in step two.

¹e.g.: ‘Merkmalsserver’ introduced in ÖNORM A 6241-1:2015 / ÖNORM A 6241-2:2015 (<http://db.freebim.at/>) or ‘BIM-Profile’ CAFM-Connect (ed.) (2019) (<https://www.cafm-connect.org/bim-profile/>)

3 Preliminary Findings

The list of processes and tasks generated from the qualitative content analysis and expert interviews contains 67 processes and tasks. To focus the research the most relevant processes and task are identified in eight expert interviews with experts of two different corporate real estate organisations. Twelve processes and tasks are chosen for further analysis.

In the summary of all interviews, these three processes and tasks are identified to be most relevant:

- Life Cycle Cost Management
- Space management and Area evaluation
- Plant identification system

To define BIM deliverables and issue BIM documents the designation of necessary processes and tasks is crucial. However, for structuring data and for refined BIM deliverables, further classification is applicable. Therefore next to the selection of processes and tasks, the following filter options are suggested in accordance to the studied literature:

- Building components (Elements)
- Project phases

For the amalgamation of processes and tasks 29 interviews were conducted with experts from eight different companies. The composed results include more than 350 building components and more than 250 related attributes.

4 Implications

The research provides a general catalogue of information – attributes related to building components – which will make it possible to determine the specific information demand for a specific task or process, for a specific phase of the project and for specific building components.

The main application of this research is the close investigation and constant questioning of existing data collections. Further application scenarios are the development of data collections or the implementation of new software or methods (e.g. CAFM, BIM). The methodology can be used in consulting building owners or other stakeholders to determine their information demand prior to e.g. the start of a new project. This task is a new field of work for real estate professionals and is in intense demand in the context of BIM.

In the context of BIM, the findings of this research can assist in defining BIM deliverables and issue BIM documents such as a BIM Project Execution Planning guide.



Process
Innovation

*Imperceptible Technologies
for Enhanced Environments*

VLADIMIR **BULOVIĆ**, 95
Massachusetts Institute of Technology
(MIT)

*Mactan Cebu International Airport,
Philippinen*

ANTON **WANAS**, Rubner Holzbau 103



Imperceptible Technologies for Enhanced Environments



Developing functional spaces which provide comfort and utility is the core of designing inhabitable environments. In recent years, propelled by ubiquitous deployment of sensing and communications technologies, a vast market in the area of “connected-ecosystems” has emerged, expanding the collection of functionalities a designer may choose to introduce into a space under development. However, in general, all innovations in this market have manifested as a new gadget, rather than a technology which seamlessly blends into existing spaces. Herein, we propose a new paradigm in which scalable nanotechnologies enable truly imperceptible electronics suitable for living spaces - transparent, ultrathin (enabling conformal application), and compatible with conventional surfaces such as fabric, wood, metal, and plastics.

Vladimir Bulović is a Professor of Electrical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology, holding the Fariborz Maseeh Chair in Emerging Technology. He directs the Organic and Nanostructured Electronics Laboratory, co-leads the MIT-Eni Solar Frontiers Center, leads the Tata GridEdge program, and is the Founding Director of MIT.nano, MIT's new 200,000 sqft nano-fabrication, nano-characterization, and prototyping facility that opened in the summer of 2018. He is an author of over 250 research articles (cited over 40,000 times) and an inventor of over 100 U.S. patents in areas of light emitting diodes, lasers, photovoltaics, photodetectors, chemical sensors, programmable memories, and micro-electro machines, majority of which have been licensed and utilized by both start-up and multinational companies. Bulović was the first Associate Dean for Innovation of the School of Engineering and the Inaugural co-Director of MIT's Innovation Initiative, which he co-led from 2013 to 2018. For his passion for teaching Bulović has been recognized with the MacVicar Fellowship, MIT's highest teaching honor. He completed his Electrical Engineering B.S.E. and Ph.D. degrees at Princeton University.



Area 1: Solar Energy Harvesting

With the cost of solar panels rapidly dropping in recent years, a majority of the cost for integrating solar technologies into built environments can now be attributed to the need for roof reinforcement to support heavy solar panels, solar panel transportation to the construction site, and the cost of the installation labor. These costs are all related to the bulky, heavy and fragile nature of conventional silicon solar panels. Developing the ability to integrate thin-film photovoltaics into existing surfaces promises to reduce the cost of solar electricity by a factor of three [1], further propelling the large-scale adoption of this clean source of energy.

Inherently, the thin form-factor of newly-developed lightweight solar cells, which can be ~100 times thinner than conventional silicon cells, lends itself to be conformally coated onto surfaces and be deposited on flexible substrates. Three years ago, we demonstrated the use of parylene, a biocompatible, transparent dielectric, as a suitable encapsulant and substrate for ultra-lightweight solar cells that are only a few microns in thickness (Figure 1) [2].

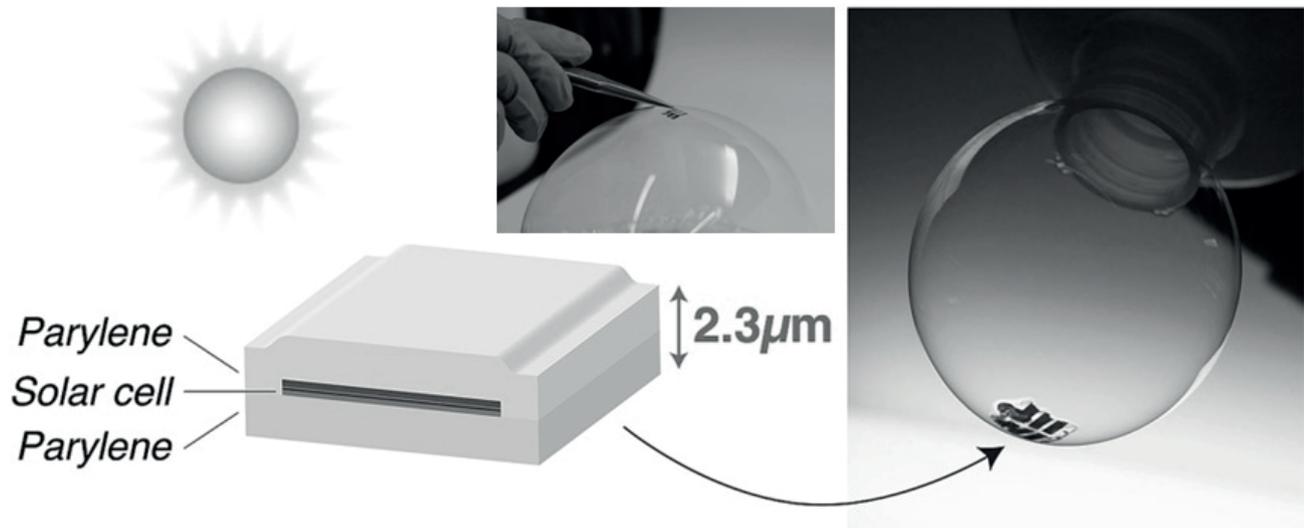


Fig. 1: Parylene-based photovoltaic devices - light enough to sit on a soap bubble. [2]

However, the challenge with transitioning into ultra-thin, ultra-lightweight substrates such as parylene is their tendency to tear, wrinkle and deform, rendering them incompatible for human handling, and challenging to produce in large-area manufacturing systems. However, integrating the ultra-thin parylene substrates with more robust lightweight materials, such as fabric surfaces, can form robust, yet lightweight composite substrate for flexible, solar-active thin-films.

Fabric, has found its place in human use for many millennia yet has remained largely unchanged in functionality over the years. Fabric is an ideal material for our purpose - flexible yet strong, suitable for scalable

manufacturing, and easy to chemically functionalize, catering to different needs such as insulation, waterproofing, breathability, and aesthetic preferences (colors, and patterns). As a first proof of concept we recently demonstrated the integration of ultra-thin solar devices with various fabrics.

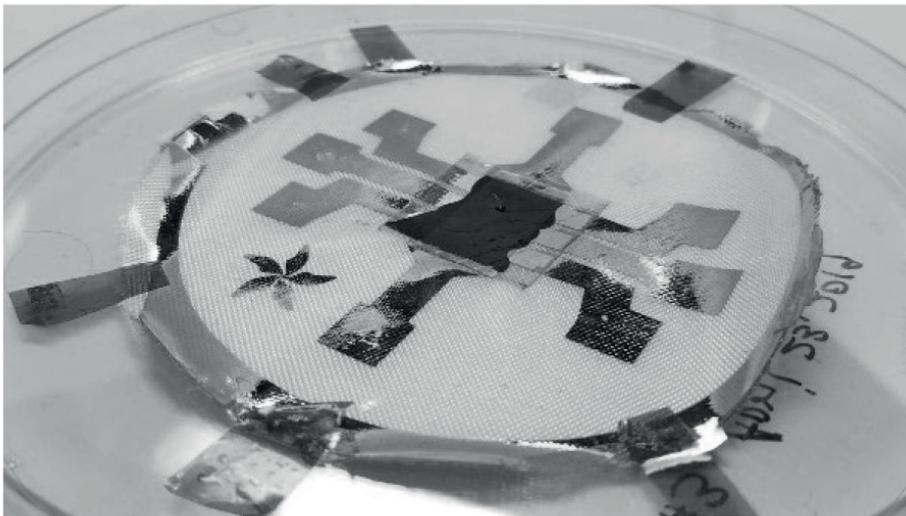


Fig. 2: Solar cells based on organic semiconducting inks integrated on top of fiber-glass fabrics. The flexible format of these solar cells allows them to be wrapped around a 5mm diameter object. Such devices can appear as lightweight curtains which are capable of producing between 40 and 100 Watts of electrical power per square meter, when exposed to standard AM1.5 solar illumination.

Ultra-lightweight form factors enable conformal coating of PV technologies onto any surface of choice. However, one must be able to hide the technology in plain-sight for it to truly become imperceptible. To address this, in 2011, we demonstrated a fully transparent organic photovoltaic device, that is presently being commercialized by Ubiquitous Energy, Inc (<http://ubiquitous.energy>). In these devices, molecular organics provide a unique materials platform wherein careful materials choice enables wavelength selective absorption.

By choosing materials which do not significantly absorb in the visible range of wavelengths (between 400nm and 700 nm) we are able to make devices which were invisible yet electrically functional [3, 4].

However, one must be able to hide the technology in plain-sight for it to truly become imperceptible.

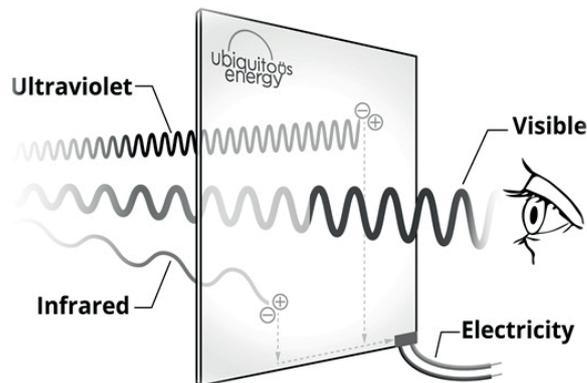


Fig. 3: Wavelength-selective absorption of organic materials allows for development of truly transparent thin film devices. Here we demonstrate a solar cell which uses transparent metal oxides as the charge collecting contacts and molecular organics as the photo-active layers. Under solar illumination, the nearly-transparent solar panel on the right is wired to generate 106 Volts of open-circuit voltage. It absorbs infrared and ultraviolet radiation while allowing the visible light to pass through.

Area 2: Sound Generation

Beyond addressing the energy demands of modern spaces, it is also imperative for us to consider how can one employ such imperceptible technologies to enhance the aesthetic and auditory aspects of living spaces. Along these lines, the first approach we take is to cater to the sense of hearing, developing floor-to-ceiling wallpaper-like speakers for a truly immersive experience.

Conventional speakers, which rely on voice coils and an electromagnetic actuator to deliver sound, suffer from poor energy efficiency and a distorted frequency response.

Moreover, given the number of components involved and their incompatibility for miniaturization, realizing them in an imperceptible form factor is not so straight-forward. Electrostatic MEMS micro-speakers on the other hand, which rely on electrostatic deflection of suspended membranes exhibit near-ideal spring-like behavior in the human audio frequency range, provide a flat frequency response and consume minimal electric power due to their inherent capacitive nature.

Starting in 2010 we have developed and patented the use of contact printing as a scalable approach to suspending nanomembranes over cavities for use in electrostatic speakers [5,6].

Separating the fabrication of the compliant nano-membrane from the rest of the MEMS device, dramatically simplifies the fabrication process, and opens up the possibility of cost-effective fabrication of large-area structures that can be flexible, paper-thin, transparent in appearance, with low operating voltage and resulting high energy efficiency.

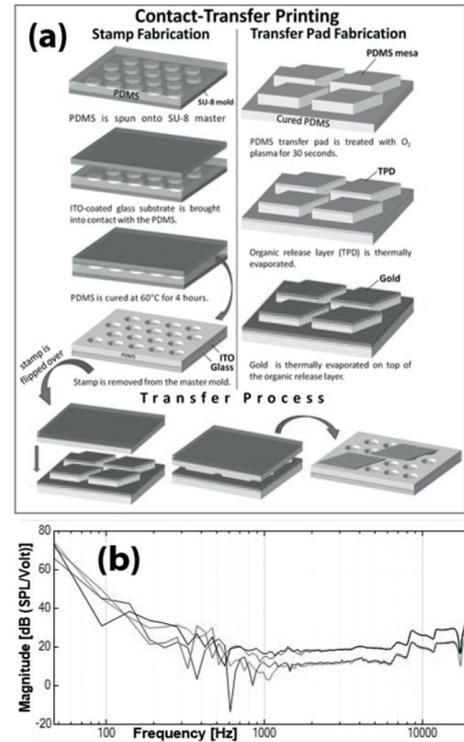


Fig. 4: (a) Process flow for the additive contact-transfer printing of metal membranes on a variety of viscoelastic or flexible and transparent substrates.

(b) Acoustic frequency response curves from multiple tests of additively-printed nanomembrane electrostatic microspeakers. Note the flat and uniform frequency response from 1000 Hz to 10 kHz. Below 800 Hz, the response is corrupted by ambient noise.

As of now, these acoustically active surfaces have been demonstrated on rigid substrates such as glass. However, leveraging the approaches outlined in the previous section we envision a pathway towards acoustically active flexible electronics. In particular, we envision acoustic applications such as high-fidelity sound producing and sensing arrays that can be used as floor-to-ceiling wallpapers suitable for surround sound, window panels, and even atop electronic displays or in wearable smart textiles. These panels could be combined with the right application specific ICs and digital signal processing chips to implement real-time phased arrays of microphones and speaker elements that can localize sound sources in space and also direct sound to specific spatial regions. Additionally, these panels could potentially implement real-time noise cancellation in specific spatial regions without the use of headphones or earphones.

Area 3: Light Emission

Sight is the dominant sense which allows us to observe, understand and interact with the world around us. Our interpretation of color, shape, symmetry and the interplay of these elements forms the basis of our perception of beauty. Catering to the eye has always been a crucial consideration in designing living spaces, not only for its artistic value but also for the psychological and physiological impacts on the occupants.

Lighting choice in residential spaces has been shown to have a profound impact on the occupant's circadian rhythm, with nighttime exposure to blue light significantly suppressing melatonin levels (a hormone which controls sleep patterns) [7]. Fluorescent lighting has drawn significant interest in the last two

decades, being advocated as an environmentally-friendly alternative to incandescent lights. However, fluorescent lights have a significant blue-component to their spectrum, thereby having a detrimental impact on the overall well-being of individuals. Energy efficient and color-tunable light sources would be a welcomed-addition to the lighting market.

Organic light emitting diodes (OLEDs) have become the industry standard for electroluminescence in a flexible form factor. With the emergence of the precise solvent deposition techniques, efficient and durable OLEDs are viable to produce. In parallel, semiconducting nanocrystals known as quantum dots (QDs), also lend themselves to scalable solution processing techniques. IN contrast to OLEDs, the best of QDs do not suffer from burn-in (slow degradation of the materials leading to a loss in brightness), making them suitable for high brightness applications. Moreover, they have narrower emission spectra which translate into a larger accessible color space - lending finer control on the achievable spectrum. Over the last decade we demonstrated the use of such quantum dots in optically-activated and electrically-activated light-emission technologies that could provide imperceptible displays integrated in the built environment.



Organic light emitting diodes (OLEDs) have become the industry standard for electroluminescence in a flexible form factor.

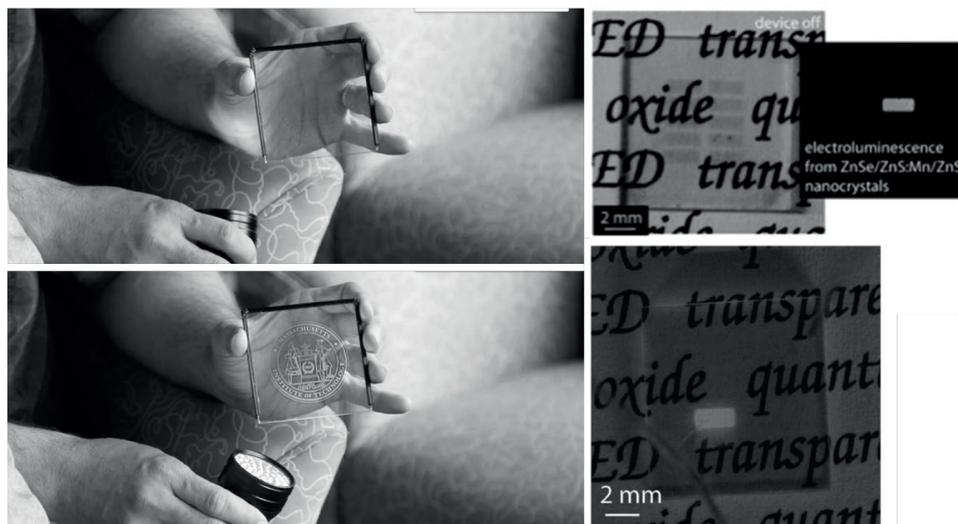


Fig. 5: Transparent display technologies. Images on the left demonstrate optically activated fixed display that luminesces when illuminated by high-energy light.

Images on the right demonstrate an electrically actuated light emission from a device that is nearly imperceptible when inactive [8]. Both demonstrations employ solution-processable quantum dot inks which lend themselves to scalable manufacturing.

References

- [1] Chung D. et al., U.S. Photovoltaic Prices and Cost Breakdowns, NREL (2015).
- [2] Jean, J., Wang, A., & Bulović, V. (2016). In situ vapor-deposited parylene substrates for ultra-thin, light weight organic solar cells. *Organic Electronics*, 31, 120–126. doi:10.1016/j.orgel.2016.01.022
- [3] Lunt, R. R., & Bulović, V. (2011). Transparent, near-infrared organic photovoltaic solar cells for window and energy-scavenging applications. *Appl. Phys. Lett.* 98, 113305; doi: 10.1063/1.3567516
- [4] Traverse, C. J., Pandey, R., Barr, M. C., & Lunt, R. R. (2017). Emergence of highly transparent photovoltaics for distributed applications. *Nature Energy*, 2(11), 849-860. doi:10.1038/s41560-017-0016-9
- [5] Packard, C. E., Murarka, A., Lam, E. W., Schmidt, M. A., & Bulović, V. (2010). Contact-Printed Microelectromechanical Systems. *Advanced Materials*, 22(16), 1840-1844. doi:10.1002/adma.200903034
- [6] Murarka, A., Lang, J. H. & Bulović, V. Printed membrane electrostatic MEMS microspeakers. 2016 IEEE 29th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) (IEEE, 2016). doi:10.1109/MEMSYS.2016.7421831
- [7] Harvard Health Publishing. (n.d.). Blue light has a dark side. Retrieved from <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/blue-light-has-a-dark-side>
- [8] Wood, W., Panzer, M., Caruge, J.M., Halpert J., Bawendi, M.G., Bulović, V. (2010). Air-Stable Operation of Transparent, Colloidal Quantum Dot Based LEDs with Unipolar Device Architecture. *Nano Letters*, 10, 24-29. doi: 10.1021/nl902425g

Mactan Cebu International Airport Philippinen



Die Philippinen, ein Inselstaat bestehend aus 7641 Inseln davon 880 bewohnt, und ca. 106 Mio. Einwohnern befindet sich in einem rasanten Wirtschaftsaufschwung. Das von der Regierung initiierte „build,build,build“ Programm hat zum Ziel, die Wirtschaft durch längst überfällige und jetzt verstärkt in Angriff genommene Infrastrukturprojekte zu entwickeln.

Die Insel Cebu befindet sich in der Inselgruppe der „Central Visayas“ – die Stadt Cebu City ist mit ca. 1,0 Mio. Einwohnern die Zweitgrößte Stadt der Philippinen.

Der in den 1950er Jahren von der US Air Force errichtete Flughafen wird seit ca. 1960 auch für den zivilen Luftverkehr genutzt. Seit 1990 als internationaler Flughafen, der zugleich eine Basis der Philippine Air Force beheimatet, ist der Mactan Cebu International Airport 2015 im Rahmen eines „Private Public Partnership“ Modelles (PPP) privatisiert worden. Eine 25 Jahre laufende Konzession ist an das Joint Venture, bestehend aus der Indischen GMR Gruppe und des philippinischen Bauunternehmens MEGAWIDE erteilt worden. Die „GMR-Megawide Cebu Airport Corporation“ (GMCAC). Um die Kapazität des Flughafens auf ca. 12,5 Mio. Passagiere pro Jahr zu erhöhen, ist die Erweiterung um einen zweiten Terminal Teil des Projektes. Hauptfokus ist die direkte Anbindung an den internationalen Flugverkehr.

Anton Wanas, in Wien geboren, hat seit 2017 den Vertrieb und die Projektleitung International / Asien bei RUBNER Holzbau inne. Von 2016-2017 stand er dem Vertrieb und der Projektleitung Mactan Cebu International Airport (PH) vor.





Abb. 1: Mactan Cebu Airport, Rendering IDA Hongkong

1. Projektbeschreibung

Die Zielsetzung der Flughafenbetreiber war, als Teil ihres Gesamtkonzeptes etwas neues, einzigartiges und internationale Aufmerksamkeit erregendes zu schaffen. Die Idee des neuen Terminalgebäudes, entworfen von IDA Architects Hongkong, war ein Flughafengebäude mit „Wohlfühl Atmosphäre“, mit so genanntem „Resort Feeling“ zu gestalten. Dabei sollte bei Formensprache und Materialwahl besonders die Kultur, Lebensweise und Landschaft der Philippinen einfließen.

„The Worlds Friendliest Airport“

„Welcome to an Airport that has a Resort or a Resort that has an Airport“

Waren nur einige der Slogans, mit denen GM-CAC schon vor dem Bau die Tourismus Industrie neugierig gemacht hat.

Dadurch wurde für die Materialwahl bereits eine Entscheidung getroffen als die Auftraggeber noch gar nicht wussten, dass eine Ausführung als Holztragwerk möglich war. Die ursprüngliche Planung hatte eine Stahlkonstruktion vorgesehen, die mit Holz verkleidet werden sollte.

Das Terminalgebäude selbst hat eine Grundrissfläche von ca. 25.000m². Auf drei Ebenen entstehen dadurch Nutzflächen von ca. 65.000m².

„The Worlds Friendliest Airport“

2. Tragwerk und Planung

Die Konstruktion selbst besteht aus Bogen-trägern mit einer Stützweite von 30,00m bei einem Achsabstand untereinander von 13,40m.

Das Tragwerkskonzept der Auftraggeber zur Angebotsphase sah gebogene BSH Träger vor, die biegesteif auf Stahlstützen aufgesetzt werden sollten.

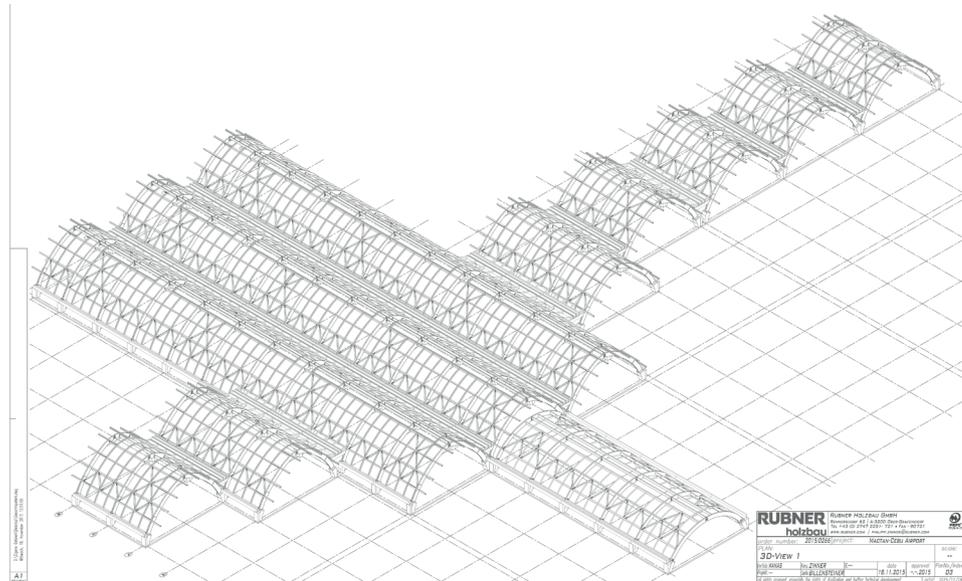


Abb. 2: Mactan Cebu Airport, Axonometrie, RUBNER Holzbau



Abb. 3: Mactan Cebu Airport, Tragwerkskonzept, IDA Hongkong

Dieses Konzept hat sich in folgenden Punkten nachteilig herausgestellt:

- Toleranzen für die Stahlstützen nicht erreichbar
- Komplizierterer Bauablauf – Einplanung eines zusätzlichen Arbeitsvorgangs
- Kompliziertere Montage
- Längere Bauzeit

Die durch RUBNER Holzbau vorgeschlagene Lösung war ein Dreigelenk System mit Bogenträger, die bis zur Betondecke (Departure Level) geführt wurden.

Vorteile:

- Entfall der Stahlstützen (und eines zu koordinierenden Nachunternehmers)
- Einfachere und schnellere Montage des Holztragwerks da von der Decke aus gearbeitet werden kann.
- Reduktion von Komplexität und Erhöhung der Terminalsicherheit und Zuverlässigkeit.

Diese Lösung war allerdings nicht ganz ohne zusätzliche Herausforderungen für den Holzbau machbar. Es bestand die Anforderung von 120 Minuten Feuerwiderstand in den ersten 6,00 Metern über dem fertigen Fußboden, gleichzeitig durften sich in diesem Bereich aus architektonischen und Gründen der Nutzbarkeit keine Aussteifungen oder Streben befinden.

Die Aussteifung der Tragkonstruktion erfolgte über einen durchgehenden, längsangeordneten Verband aus Diagonalstreben, der zwischen den beiden untersten Sekundärträgern eingebaut wurde. In jedem dritten Feld wurden die Diagonalstreben zudem noch bis zum Scheitel des Bogens bzw. zum zentralen Oberlicht geführt. Der Trägerbereich vom unteren Fußgelenk bis zum ersten Sekundärträger musste jedoch erhebliche Lasten quer zur Trägerrichtung aufnehmen.

Durch die Ausführung eines 5-schichtig blockverleimten BSH Querschnittes im unteren Bereich der Bogenträger konnte dies jedoch gelöst werden.

Die durch RUBNER Holzbau vorgeschlagene Lösung war ein Dreigelenk System mit Bogenträger.



Abb. 4: Mactan Cebu Airport, Rendering IDA Hongkong

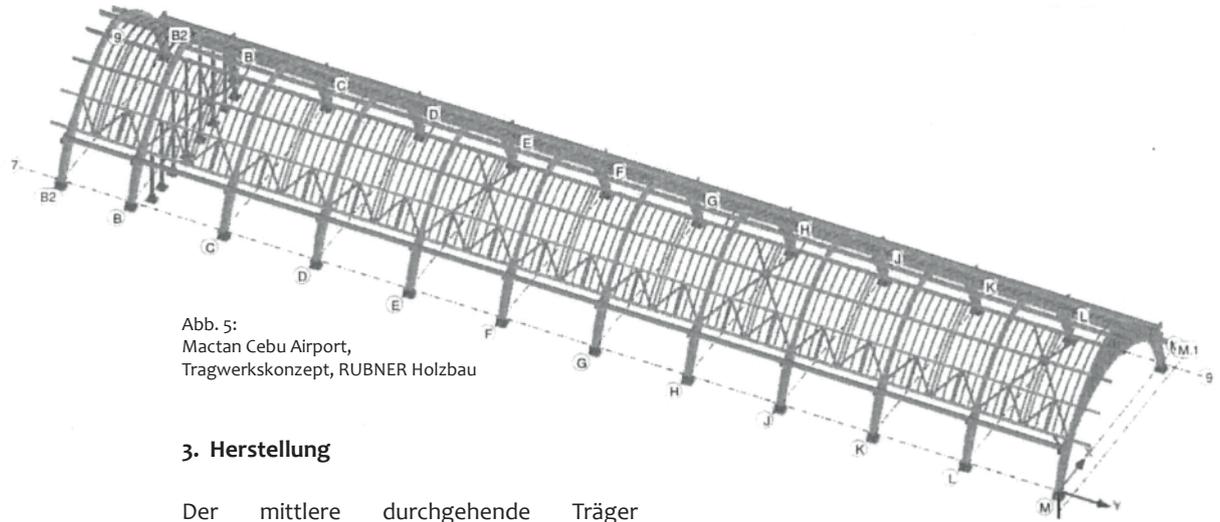


Abb. 5:
Mactan Cebu Airport,
Tragwerkskonzept, RUBNER Holzbau

3. Herstellung

Der mittlere durchgehende Träger (28x127cm) wurde beidseitig, mit je 18x127cm verstärkt. Nach dem Einbau der Fußgelenk Stahlteile mittels VG-Schrauben wurde beidseitig eine weitere Lage 8x127cm aufgeleimt.



Abb. 6: Mactan Cebu Airport, Blockverleimung erster
Arbeitsvorgang, Foto: RUBNER Holzbau



Abb. 7: Mactan Cebu Airport, Einbau Fußgelenke
Foto: RUBNER Holzbau



Abb. 8: Mactan Cebu Airport, Blockverleimung zweiter
Arbeitsvorgang, Foto: RUBNER Holzbau

Die außerhalb der Fassade gelegenen Randträger sind durch einen Dachüberstand von 1,5m und einen weiteren 1,5m auskragenden Sonnenschutz weitgehend witterungsgeschützt. Unabhängig davon wurden diese Träger entsprechend NK III ausgeführt. Die Aufdopplung wie sie bei den anderen Trägern zum Einsatz kam, war statisch hier nicht erforderlich.

Da sie aber auch aus architektonischen Gründen gewünscht war wurde hier eine demontierbare 8cm starke BSH Schicht aufgeschraubt die gleichzeitig den unteren Trägerbereich schützt, der hier trotz Dachüberstand einer Bewitterung ausgesetzt ist. Der Holzschutz erfolgte bei den außenliegenden Teilen mit einem Termitenschutzanstrich und weiteren zwei transparenten Anstrichen mit UV Stabilisierung. Im Innenbereich wurde bewusst auf den Termitenschutz verzichtet und ein einmaliger transparenter Anstrich verwendet.



Abb. 9: Mactan Cebu Airport, Randträger
Foto: RUBNER Holzbau

4. Transport und Logistik

Die Mehrheit der Bauteile war aufgrund ihrer Abmessungen nicht für einen Containertransport geeignet und mussten daher als Stückgut oder „Break Bulk Cargo“ verschifft werden.

Die Transportroute führte per Lkw vom Werk in Ober-Grafendorf zum Donauhafen Krems. Ein Binnenschiff übernahm die nächste, knapp zwei Wochen dauernde Etappe, donauaufwärts über den Rhein Main Donaukanal nach Antwerpen.



Abb. 10/11: Mactan Cebu Airport, Verladung und Transport Binnenschiff, Fotos: RUBNER Holzbau



Umgeschlagen in ein Seeschiff erreichten die in zwei Lagen Spezialfolie seefest verpackten Träger und Bauteile weitere acht Wochen später den Hafen von Cebu City. Löschung und Weitertransport zur nur etwa 10 km entfernten Baustelle per Lkw nahmen ca. drei Tage in Anspruch.

Abb. 12/13/14: Mactan Cebu Airport, Schiffsankunft und Entladung Cebu Port, Fotos: RUBNER Holzbau

5. Montage

Die Montage erforderte eine umfangreiche Planung der Baustellenlogistik, um die Materialmengen, pro Schiffsankunft ca. 1500 m³ gleichzeitig richtig zu verteilen und zwischenzulagern.

Zuvor waren die Gegenstücke der in den Trägern eingebauten Fußgelenksteile auf bauseits vorbereiteten Stahlgrundplatten lage- und höhenmäßig eingerichtet worden. Im Leistungsumfang der Auftraggeber war die Verschweißung dieser Teile mit den Grundplatten sowie die Prüfung dieser Schweißnähte.

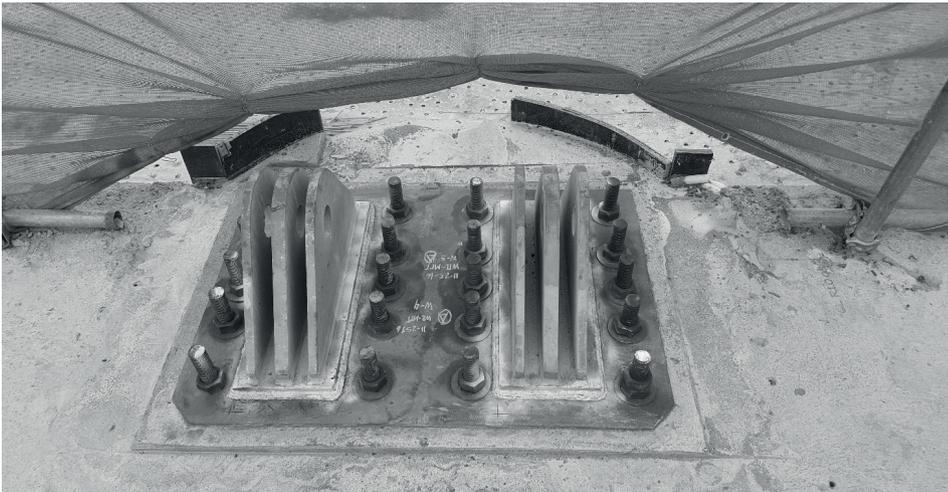
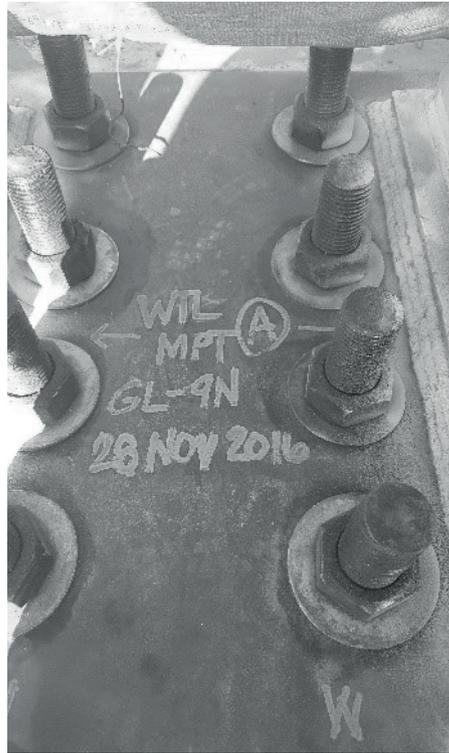


Abb. 15/16: Prüfvermerk MPT, Mactan Cebu Airport, Baustellenschweißung, Fotos: RUBNER Holzbau

Nach dem Einbau der Stahlteile zum Anschluss der Sekundärträger und Verbandsdiagonalen konnten die Träger mittels den 70mm im Durchmesser starken Bolzen mit den fertig Aufgeschweißten und vom externen Prüfinstitut freigegebenen Fußpunkten verbunden werden. Die Träger wurden jeweils paarweise positioniert und zur Koppelung vorbereitet.

Der Montagevorgang selbst wurde mit jeweils 2 Kränen, den vorhandenen Turmdrehkränen und Mobilkränen durchgeführt. Die Erreichbarkeit der Montagestellen gewährleisteten zwei Gelenk-Hubsteiger mit einer maximalen Höhe von 20m.



Abb. 17/18: Mactan Cebu Airport, Trägermontage
Fotos: RUBNER Holzbau

Bei der Planung wurde bei den Verbindungen, die vor Ort herzustellen waren, besonders auf einfachste Lösungen geachtet, die mit geringstem Werkzeug und Maschinenaufwand machbar waren. So wurden die Sekundärträger mit doppelten Schlitzblechen und Schraubenbolzen mit Sicherungsmuttern angeschlossen. Die Verbandsdiagonalen erhielten einen Bolzen, Durchmesser 36mm, um Sie mit den Gegenstücken am Hauptträger zu verbinden. Für die Verbindung der Stahlteile, die vor Ort an die Hauptträger anzuschließen waren, kamen generell Vollgewindeschrauben unterschiedlichster Dimension zum Einsatz.



Abb. 19: Mactan Cebu Airport, Sekundärträger und Diagonalanschluss, Foto: RUBNER Holzbau



Abb. 20: Mactan Cebu Airport, Foto: RUBNER Holzbau

Als letzter Arbeitsschritt der Montage blieb noch der Einbau der „Decorative Timber Strips“. Untersichtsparren, Querschnitt 80 x120 mm, im Abstand von 1,25 m als architektonisches Element, das aus verschiedenen Positionen betrachtet, einen flächigen Effekt der Untersicht erzeugt.

Die Tiefe der Hauptträger, die Sekundärträger, sowie die Diagonalen und das gesamte Sprinklersystem treten dadurch wesentlich weniger auffällig in Erscheinung.



Abb. 21: Mactan Cebu Airport, Innenansicht
Foto: RUBNER Holzbau

6. Zusammenfassung

Die detaillierte Auseinandersetzung mit sämtlichen Themen, die aufgrund der Örtlichkeit des Projektes auftreten ist natürlich Grundlage einer erfolgreichen Abwicklung. Um nur die wichtigsten zu erwähnen:

- Klimabedingungen
- Transport
- Arbeitsgenehmigungen, Zulassungen
- Transportkonzept
- Normative Akzeptanz

Die Detailplanung mit der Zielsetzung einfachster Montageabläufe und Verbindungen ist sicher ein weiterer wesentlicher Aspekt. Der wahrscheinlich am wenigsten offensichtliche Bereich, der für eine erfolgreiche Abwicklung eines derartigen Projektes erforderlich ist, ist die kaufmännische Bearbeitung. Es wird leicht vergessen, dass hier eine erhebliche Anzahl von meist komplexen Finanzgeschäften abzuwickeln ist. Beginnend mit Besicherungen im Angebotsstadium, über Erfüllungsgarantien bis hin zu Währungsabsicherungsgeschäften.



Abb. 22: Mactan Cebu Airport, Innenansicht,
Foto: Jason Rojas

Process-Specific Perspectives

*Erste Campus -
mehr als nur ein Arbeitsplatz*

MARKUS **POSCH**, Erste Group Bank AG **121**

*Customer Value Delivery in construction
through early stage data-driven planning -
results of two case studies*

SVENJA **OPRACH**, **135**

Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
BMW AG

Erste Campus - mehr als nur ein Arbeitsplatz



Die Beziehungen der Banken zu ihren Kunden sind ebenso wie unsere Arbeitswelten im Umbruch. Ein wesentlicher Treiber sind Informationstechnologien und dynamische Formen der Zusammenarbeit. Flexibilität und Mobilität, der Sinn der Arbeit ist ebenso bedeutend wie die Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben. Räumliches und flexibles Arbeiten nimmt zu. Die Erste Group hat dieser Entwicklung mit dem neuen Headquarter Rechnung getragen und ein Gebäude umgesetzt, das ihrer Firmenkultur entspricht und Sinnbild der Innovationskraft ist.

Markus Posch hat nach seinem Studium der Personalwirtschaft und Industriebetriebswirtschaft an der Wirtschaftsuniversität Wien und seinem beruflichen Engagement in der sozialpolitischen Abteilung der Industriellenvereinigung diverse Executive Funktionen im HR Innovations- und Industriebereich in Österreich, Ungarn, Deutschland und den Niederlanden wahrgenommen. Als Head of HR der Erste Group Bank AG sieht er die dynamische Weiterentwicklung von organisatorischer Kompetenz und Zusammenarbeitsdynamik als sein zentrales Anliegen.



Erste Campus ... mehr als nur ein Arbeitsplatz

Markus Posch, Erste Group Bank AG

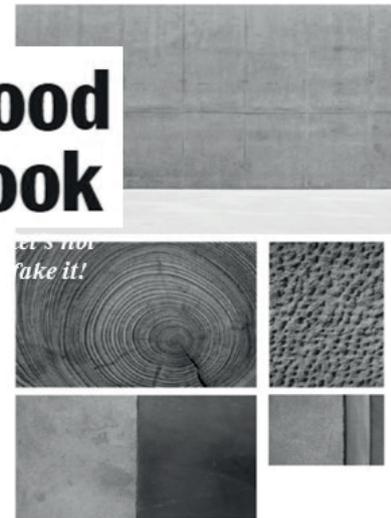
Photography credits © Christian Wind

Über die Herstellung von Charakter Ein neues Zuhause für die Erste Group



- Internationaler Architektenwettbewerb
- 249 Einmeldungen
- 15 Teilnehmer
- 3-stufiges einjähriges Verfahren

Mood Book



Die Vision des Erste Campus

**„Wir wollen nicht irgendwelche Büroräume,
sondern wir wollen einen Standort,
der unserer Firmenkultur entspricht.“**

**Der Bau des Erste Campus ist eine historische
Chance in der Geschichte unseres Unternehmens,
die Arbeitskultur für die Zukunft zu prägen.“**

(Andreas Treichl)

Mit diesen Prinzipien



Growth

Wachstum



Accessibility

Zugänglichkeit



Simplicity

Einfachheit



Independence

Unabhängigkeit

Die Architektur des Gebäudes und
seine Ausstattung drücken die
Philosophie und Prinzipien der Erste
Group aus.

Der Zusammenarbeitsplatz

- Vom „Ich“ zum „Wir“
- Zunehmende Flexibilität und Mobilität
- Individuellere Leistungsverantwortung
- Arbeitsmöglichkeiten für Tätigkeiten, nicht für Hierarchien
- Adaptiertes Zusammenarbeits-Modell und Führungsverhalten



© Henke Schreieck Architekten ZT GmbH

Transformation

Informieren/ Kommunizieren

FAQ im Intranet

Referenz Besuche

News, Intranet-Site

Info Veranstaltungen

Info-Kit

Botschafter Blog

Visualisierungen

Einbinden

Möbelauswahl

Arbeitsplatztypen

Belegungsplanung

Botschafterkonzept

Good Home Base
Habits

Üben

Pilotfläche

„Ausmisttage“

Clean-Desk

Minds in Motion

Change Workshops

IT-Schulungen



Der Zusammenarbeitsplatz

steht für Arbeiten, Ideen entwickeln, Pläne schmieden, Visionen in die Tat umsetzen, Freiheit **Platz** zu wechseln; Arbeitsbereiche, die ineinander übergehen und großzügige Flächen



Wer ins Büro kommt,
Möchte sich abstimmen,
austauschen, zusammen-
arbeiten oder einfach „sozial
interagieren“



**Bestens vernetzter
Arbeitsplatz**

mit technischen Lösungen und
Vertrauen in eigenverantwortliche
MitarbeiterInnen und flexiblen
Arbeitsmodellen



ERSTE CAMPUS

Der Arbeitsplatz

ERSTE 
Group

Der Erste Campus ist ein Platz, an dem wir mehr zusammen bringen.

Weil wir unsere Kräfte an einem Platz konzentrieren und eine neue Kultur der Zusammenarbeit entwickeln.



Customer Value Delivery in construction through early stage data-driven planning - results of two case studies



In research, numerous statistical forecasting methods have been derived in order to determine the duration of a construction project based on historical data. As these algorithms often fail in practice, planning engineers predict the start and end of construction on the basis of their experience. In both, the scientific models as well as in practice, the customer value is often taken into account insufficiently due to the inaccuracy in the early planning phase within the time schedule. The question therefore arises how the customer can be included effectively in early construction time planning. For this purpose, this article combines two existing approaches: The Lean Integrated Value Engineering (LiVE) approach consists of five steps to define and develop the customer's value. The work breakdown structure (WBS), on the other hand, serves to divide a complex task, such as a construction project, into smaller, manageable units. These units can then be transferred from one project to another to validate and adjust data. The combined method is tested in two case studies where the success of the combination of the two methods is demonstrated. This enables construction schedules to be optimised at an early stage by analysing the customer value and identifying time buffers while strategically using those buffers. The new approach is applicable in different project types. The prerequisite is a basic project database with already completed projects. With a growing database, forecasts become more valid.

Keywords: Lean integrated Value Engineering, process templates, work breakdown structure, generic, foresight, buffer management

After studying industrial engineering at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) with a focus on lean production and logistics, Svenja Oprach has been a PhD student in the ProMotion program of BMW AG since the beginning of 2018 in cooperation with the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute for Technology and Management in construction (TMB).
Svenja Oprach has been an expert for lean construction in the construction department of BMW AG since 2016.



Introduction

As construction projects in general are unique products, creating a feasible construction time schedule is very complex and time consuming. Many project participants need to be involved to align their knowledge for the project. In addition the estimation of durations is in most cases done by planning engineers instead of the trades performing the work on construction site. Hence, many unknown factors are forecast months or even years before start of the tasks on a construction site. The development of statistical models which are estimating construction duration is a well-known topic in research (Chou et. al 2009, Chou et al. 2011, Choudhury et al. 2003, Hola et al. 2010, Jaśkowski 2010, Kaka et al. 1991, Kapliński 1997, Kim et al. 2009, Lai et al. 2008, Lee et al. 2008, Rogalska et al. 2008, Wang et al. 2010). The low determination coefficients of the planned and the final construction time show the roughness of the existing models (Czarnigowska et al. 2013). As a result the estimated construction time in an early phase is often a rough time schedule without no detailed consideration of the customer value. Especially in early phases integrating the customer value in the time schedule is important to reduce future changes with rising costs for the project.

The growing attention on the core of construction processes in creating value for the customer without waste has led to various initiatives (Bennett et al., 1988; Latham, 1994). "The customer can be defined as the person or firm responsible for commissioning and paying for the design and construction of a facility" (BPF, 1983). In construction projects customers expects to get valid construction milestone based on defined content and qualities. Therefore a new strategy is

needed to analyse the customer value and implement it in an early planning phase. In the following, a systematic and data-driven model for using generic process sequences as a strategic plan is developed. Generic process sequences are an abstract image of the future process steps based on past project data. Two existing methods, the Work Breakdown Structure (WBS) and Lean integrated Value Engineering (LiVE) approach are combined. In two case studies the benefit of the presented model will be shown.

Methods

Ibrahim et. al (2009) created a framework for a generic use of projects with the work breakdown structure (WBS). The WBS offers a first step to get a feedback-loop from past projects and construction durations can be predicted more precisely than in existing algorithms. WBS is defined by the Project Management Institute (PMI, 2001) as "[. . .] a hierarchical structure that defines and organizes the total project scope based on deliverables, with each descending level in the hierarchy representing an increasingly detailed definition of the project work." It subdivides the whole project progressively into smaller units that are created step by step (Colenso 2000; Ibrahim et. al 2007). The approach can be compared to the principle "divide and conquer" which in general breaks complex systems into smaller sub-systems to determine them separately . By applying the WBS to construction projects, the project is broken down in smaller comparable entities to create a starting point for the use of generic sequences. Several researchers have already applied WBS in building projects such as an effective workload packaging (Raz and Globerston, 1998; Jung and Woo, 2004; Jung, 2005), integrating a cost-schedule (Eldin, 1989) or in

standardizing the processes (Voivedich et al., 2001; Ibrahim et. al, 2007). By standardizing the WBS, managerial work will be significantly reduced and the accuracy of progress measurement will be greatly improved (Ibrahim et. al 2007). Breaking a complex task into smaller sub-tasks is also used in the method of Takt planning and Takt Control or Last Planner System (LPS) (Frandsen et al., 2013; Ballard, 2000). In Takt planning the building is defined in work zones (Takt areas), repeating work packages (Takt content) and a steady measurement time (Takt time). This time schedule is developed shortly before starting with construction works and preferably together with construction workers as process experts. As a result an efficient and effective detailed time schedule of the construction project can be generated. In comparison, the Last Planner System (LPS) defines work zones and work packages, but plans the detailed work steps interactively from milestone to milestone to be more flexible regarding changes und unforeseen factors. As both methods are so far not used in an early planning phase to forecast construction times a pre-phase for LPS and Takt planning and Takt control (TPTC) needs to be implemented.

To set the focus on the customer value in this pre-phase the LiVE approach (Lean integrated Value Engineering) identifies and continuously develops the customer's value in five steps with the value establishment, analysis and creativity, evaluation, development and verification, as well as value achievement (Ekanayake 2017). With these five steps the customer value will be visualized in the time schedule of an early planning phase. The last step "value achievement" contains of the regular steps for TPTC or LPS.

Step 1: Value Establishment

The target of the first step is to define the customer value and his requirements in the project. The definition of the customer's value can be a challenging task due to various stakeholders. Therefore, the customer's value need to be well defined, analysed, documented and correlations need to be reviewed (Newman et al., 1981; Farbstein, 1993; Worthington, 1994). In a first step requirements are listed: The project context is outlined with the functional areas (e.g. offices, production areas, sanitary areas), which later define the process sequence. Secondly, all relevant interest groups are identified and the requirements are collected. Lastly requirements are structured and the interest groups are prioritized. (Kamara, 2000)

Step 2: Value Analysis And Creativity

The value analysis and creativity detects possible generic process sequences and creates an initial schedule. Generic sequences can be seen as process templates with verified durations, a feasible size of areas and sprint length. The process templates need to be flexible, up-to-date, individual, specialized and available (Gausemeier 2000). For this an oversimplified and abstract visualization is adequate. Bulhões et al. (2005) recommend work planning on multiple levels. Best and Weth (2005) further recommend a use of three levels to create a simple but effective way of planning in different levels of detail. In network theory the most abstract level is often called „macro level“, following with the „meso level“ or „norm level“ and ending in the most detailed „micro level“ (Zundel, 2013; Sultanow, 2013). With the most abstract level generic sequences can be documented on a multi-project perspective. The future

cone of Hancock and Bezold (1994) shows all potential process alternatives verified in past projects. When knowing functional areas, priorities and other input parameters, the list of all potential process sequences can be iteratively reduced. Hereby, probable and preferable alternatives can be detected to start a generic construction time schedule and calculate the total construction duration. The number of work zones can be calculated by the total size of the functional area divided by the work zone sizes. The number of content entities is defined by previous projects. Also the sprint length is defined by previous projects. Based on this data set the total construction time can be calculated as follows:

Total construction time = (number of work zones + number of content entities - 1) * sprint length

This formula is also used later in the project examples to develop the customer's value.

Step 3: Value Evaluation

In figure 1 a generic construction time schedule based on previous projects is visualized (Oprach et. al 2017).

On the y-axis the building is divided in work zones. The x-axis shows the time horizon with the defined sprint length, in this example on a weekly basis. In the matrix of time and area generic process sequences with needed resources are integrated based on previous projects. In this example, the yellow entities represent structural works, green entities the roof and façade, the blue entities interior fit-out works. The project has one functional area, as the process sequence is similar in all ten areas. With the resource histogram below, the feasibility of the project can be verified in an early phase. The generic process sequences were inserted starting with the first priority of the customer. The resulting transparency enables the collaboration between project participants.

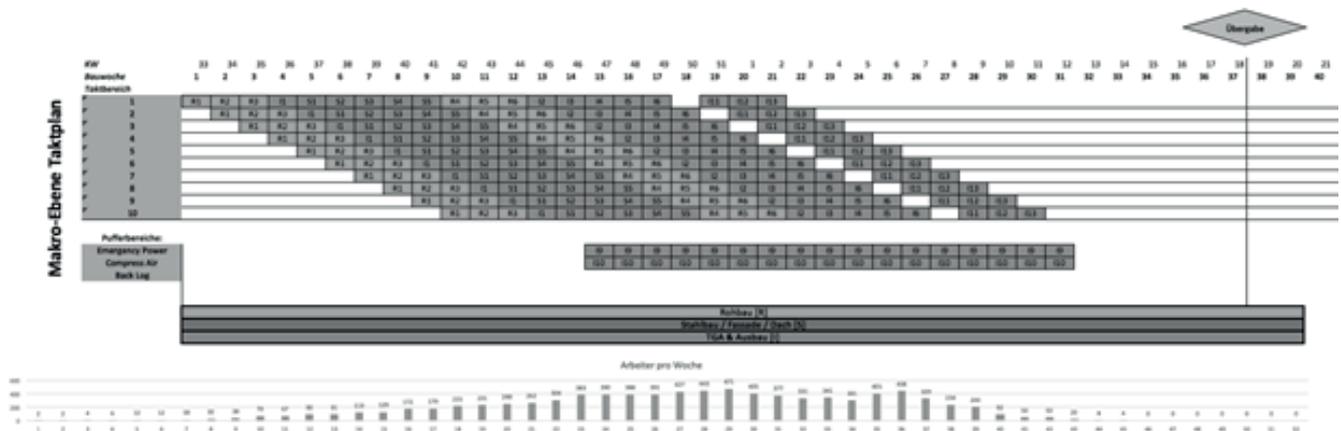


Fig. 1: Example of a strategy (Oprach et. al 2017)

Step 4: Value Development And Verification

Next the alignment between the customer's value and the strategy regarding deviations is checked. If there are any deviations, adjustments and optimizations are aligned. There are three adjusting lever to balance and adjust the strategy: work zones, sprint length and work content. For example by reducing the work zones, the sprint length or the work zones need to be reduced. Reducing the sprint length results in a higher interlocking of the trades and hereby a shorter total construction time. Alternatively, by reducing the work zones, the work content needs to be adapted which is also ending up in interlocking the work more. With these three adjusting levers it is easy to adjust the strategy regarding the customer's value or to generate time schedule alternatives in a short period of time. This results in two optimization scenarios: First, the strategy ends up with a very tight time schedule, by reducing one or more of the three levers can lead to a solution without the need to increase workforce as is often the case with a tight time schedule. Second, the result of the mission could be identifying some time buffers in the schedule. Doing this at an early phase, the time buffers can be used to further improve the customer's value.

Step 5: Value Achievement

The defined generic construction time schedule can be the target vision for the planning and realization phase. All product related attributes are checked during planning to determine whether there are any effects on the value achievement in the realization phase. To transfer the strategy to a real-life construction time schedule, workshops with the general contractor and/or the construc-

tion companies are held, to verify the strategy and further detailing the single work packages and steps. During the construction phase, knowledge management is very important to improve the project performance on a multi-project view (Teece et. al, 1997) and enhance the organizational competitiveness (Ribeiro, 2010).

The following two case studies present the two scenarios of having a tight schedule or identifying time buffers. Two goals need to be achieved: First identifying a feasible time schedule alternative and second making use of the identified time buffers in an optimal way.

Case study 1: Value achievement in a tight time frame

In the first case study the task was to examine whether or not the delivery time for the project could be met. The building is a 4-level production facility including a conveyor system to an existing building. The conversion of the equipment and conveyor system had to be delivered within a short period during production shutdown and in alignment with other facilities. The critical actions took part in the third level that therefore describes the customer's value. The other levels were not on the critical path. According to the defined milestone the third level had to be handed over after 32 construction weeks. The critical issue was to determine whether the construction of the building could be finished in time to enable the equipment conversion in the predefined shutdown period. The worst case scenario would have been a production stop when failing to meet the deadline.

Step 1: Value Establishment

The customer's value is defined as the area of the third floor, with special focus in the right part of the floor. Here, equipment of the customer will be installed first. All four levels of the building are having the same functionality they are all production-related. Besides the most important stakeholder, which was the production department, there were other aspects to be taken into consideration from the existing production logistics, safety and the facility management for a quick handover.

Step 2: Value Analysis And Value Creativity

Based on generic process sequences from past projects and the experience within the project team a generic construction time schedule was established. It was forecasted based on a weekly sprint. In this case the weekend can be used as a buffer time. Past projects showed a manageable area size with a weekly sprint length for the structure averaging from 1,000 to 1,200 sqm. With this data two work areas per level were calculated and defined. For the production fit-out phase average work zone sizes were smaller and resulted in four work zones per level. This led to the assumption to plan with four work areas per level as the structure work areas were halved. There were two main process sequences to analyze, one for the structure and one for the production fit-out. For the structure past projects showed in average 4 weeks for formwork, reinforcement, pouring and formwork strip out for a work zone. To define a continuous work speed every two weeks a new work area was started. As a result the structure phase was planned with 18 weeks. For the production fit-out, past projects also showed a weekly sprint length. The existing project database showed a planning

forecast of 9 weeks for the construction to be finished. Here the throughput time for the fit-out was planned with 24 weeks. Health and Safety regulations required a finished first floor shell to start with the fit out. This led to an interruption of the process sequence flow between the structure and the fit out. The interlocking phase between structure and fit out was planned for 8 weeks. This calculation led to the assumption of 34 construction weeks. The generic schedule is visualized in figure 2, where the blue squares represent the building shell and the yellow squares the fit out.



Fig. 2: Customer value delivery – Project example 1 (before the value development)

Following the calculation of the total construction time (see explanations in the text).

Total construction duration version 1
 = 34 weeks
 Structure phase throughput time: (8+2-1)
 x 2 = + 18 weeks
 - Interlocking phase (3+2-1)
 x 2 = - 8 weeks
 + Fit out phase throughput time: (16+9-1)
 x 1 = + 24 weeks

Step 3: Value Evaluation

The customer’s value is defined on the third floor. This area is planned be ready for the future use in calendar week 28 or construction week 33. As at this time there are still construction works going on, the delivery of the customer value has to be reassured in order to prevent a production stop.

Step 4: Value Development And Verification

By first configuring the value flow, the decision in the project was to the delay the start of the fit out in the second floor. This offered the opportunity to start and finish the fit out works earlier on the third floor, which is the main customer’s value and enabled, that the equipment could be installed on time. For calculating the fit-out phase now the total amount of work zones can be reduced by four that are caught up later. By doing this, time saving of four weeks for level three can be identified and the customer’s value can be delivered even if the total handover is not meeting the defined milestones (figure 3).

Following the calculation of the construction time with focus on the customer value.

Total construction duration version 2

= 30 weeks

Structure phase throughput time: $(8+2-1)$

$\times 2 = 18$ weeks

- Interlocking phase: $(3+2-1)$

$\times 2 = 8$ weeks

+ Fit out phase throughput time: $(12+9-1)$

$\times 1 = 20$ weeks

As a result, the third floor would have been finished in construction week 26 by altering the value flow and reducing time and area for the fit out. Doing this in the structure would show a slight optimization of one week $((16+2-1) \times 1=17$ weeks) implying a bigger coordination effort.

Following the calculation with a reduction of work areas and sprint length.

To calculate more time savings and enable some time buffers in the end of the project the second solution is to configure the time, area size and process content. Hence the second solution could have been to reduce work areas and sprint length by half to interlock the trades of the fit-out more densely. Reducing the sprint length and work areas in the fit-out phase would have led to a time reduction of four weeks.

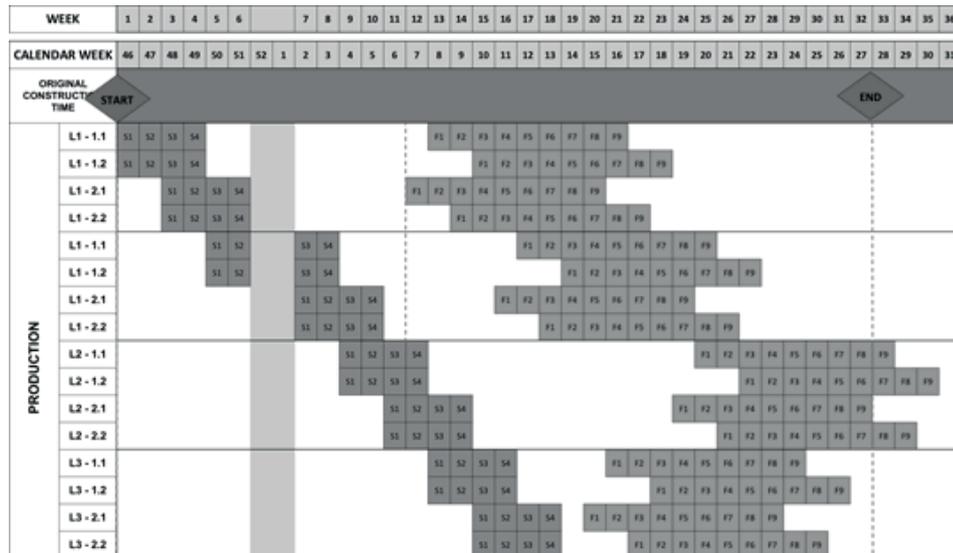


Fig. 3: Customer value delivery – Project example 1 (after the value development)

Total construction duration version 3
 = 26 weeks
 Structure phase throughput time: (8+2-1)
 x 1 = 18 weeks
 - Interlocking phase: (3+2-1)
 x 1 = 8 weeks
 + Fit-out phase throughput time: (24+9-1)
 x 0.5 = 16 weeks

As the construction project was located in the core of a plant surrounded by the existing production logistics the complexity of coordination was very high. Therefore, a half weekly Takt time was denied which was argued with the needed flexibility regarding the complexity.

Step 5: Value Achievement

The result of this generic construction scheduling was a handover of the required area prior to the fixed shutdown date by configuring the value flow. Further savings could be realized by enabling the equipment contractor to use the area L3-1.1 and L3-2.1 even two weeks earlier when still last fit-out works of construction were done in the levels. In conclusion, the equipment contractor did not assemble the equipment at his own facility to test it, then disassemble and reassemble it at the customer production facility, which until then has been the standard process. The equipment contractor was rather given enough time to do the first assembly and testing within the customer's facility and therefore cost and risk in the project could be reduced.

Case study 2: Using identified time buffers strategically

The second case study detects the benefits of buffer management in an early stage of the project. Therefore, the extension of a production facility including the connection with a conveyor bridge is analyzed.

Step 1: Value Establishment

The production facility was prioritized higher than the bridge, as the equipment installation was taking more time.

Step 2: Value Analysis And Creativity

The bridge and the production facility both had to be constructed with different process sequences, as the contents were different. Again using past project process sequences and experience in the project team a half weekly sprint length, a matching work area size and average construction duration per work area were defined.

Step 3: Value Evaluation

Using this experience, buffer times of 50% regarding start and end within the project were discovered and visualized.

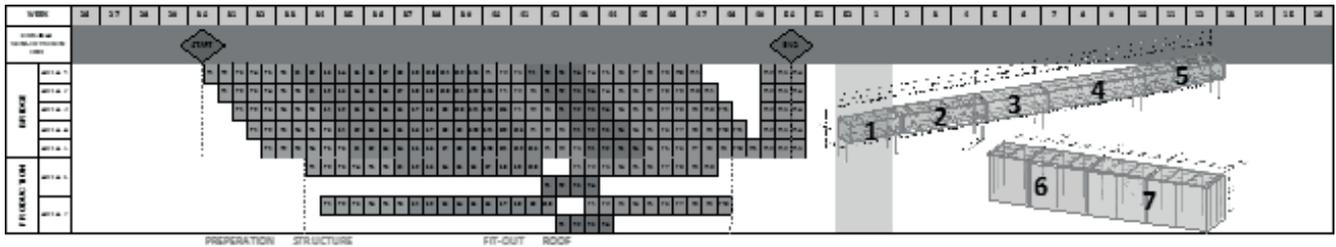


Fig. 4: Customer value delivery – Project example 2 (after the value development)

Step 4: Value Development And Verification

The project team was able to decide on a later start date to the construction project with customer agreement. This was important because the development of the building and the customer's finished industrial products often run in parallel. Therefore, the value for the customer is represented in a late decision process on the layout and equipment in the new production building. The length of the enlarged decision phase was set so that the project could be finished until Christmas holidays (figure 4). If buffer times were not needed, enlarging areas, sprint length could be a possibility to stabilize the process and using the buffers in a right way for construction. Further, even if the higher value is on the production facility, as the bridge is taking longer, the construction direction was swapped for a better use of time. With the result also product relevant decisions could be met easier, as by changing the product also process duration needs more or less time.

Conclusion

The two case studies show the success of the combined method of WBS and LiVE. With WBS the project and its work is broken down in smaller entities reusing work size areas, sprint length and process sequences. The LiVE approach defines and develops the customer's value in a systematic way. By doing this, both a tight time schedule can be verified and time buffers can be used strategically. Future research should include further analysis of input parameters influencing the process durations and output parameters affecting the result as in quality, safety or process stability. The results of inputs, generic process sequences and outputs need to be collected in process databases for a quick access and selection in new projects. These leads to the following necessary change: Planning engineers have to get more into an acting role with moving the hierarchical planning to a mission-driven concept. Also the understanding of classical planning procedures needs to change towards a data driven statistical approach for generating project plans.

References

- Ballard, H. G. (2000) "The last planner system of production control", University of Birmingham.
- Bennett, J., Flanagan, R., Lansley, P., Gray, C. and Atkin, B. (1988) "Building Britain 2001, Centre for Strategic Studies in Construction", University of Reading, Reading.
- Best, E., Weth, M. (2005). „Geschäftsprozesse optimieren: der Praxisleitfaden für erfolgreiche Reorganisation [Optimizing business processes: A practical guide for a successful re-organization.“ Gabler, 60 (in German).
- British Property Federation (BPF) (1983) "The British Property Federation System for the Design of Buildings", British Property Federation, UK.
- Bulhões, I. K., Picchi F. A., Ariovaldo D. G. (2005). "Combining Value Stream and Process Analysis for Continuous Flow Implementation in Construction." Proceedings IGLC 13 – Sydney, Australia 2005.
- Chou, J.S. (2009) "Generalized linear model – based expert system for estimating the cost of transportation projects", Expert Systems with Applications 36 pp. 4253–4267.
- Chou, J.S., Tseng, H.S. (2011) "Establishing expert system for prediction based on the project-oriented data warehouse", Expert Systems with Applications 38 pp.640–651.
- Choudhury, A., Rajan, S.S. (2003) "Time–Cost Relationship for Residential Construction in Texas", Construction Informatics Digital Library
- Czarnigowska, A., & Sobotka, A. (2013) "Time–cost relationship for predicting construction duration", Archives of Civil and Mechanical Engineering, 13(4), 518–526. <https://doi.org/10.1016/J.ACME.2013.05.004>
- Colenso, K. (2000), "Creating the work breakdown structure", Artemis Management Systems.
- Ekanayake, E.M.A.C., Sandanayake, Y.G. (2017) „LIVE approach: Lean integrated Value Engineering for construction industry“, Built Environment Project and Asset Management, Vol. 7 Issue: 5, pp.518-533, <https://doi.org/10.1108/BEPAM-11-2016-0071>
- Eldin, N.N. (1989), "Measurement of work progress: quantitative technique", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 115 No. 3, pp. 462-87.
- Farbstein, J. (1993), "The impact of the client organisation on the programming process", in Preiser, W.F.E. (Ed.), Professional Practice in Facility Programming, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, pp. 383-403.
- Frandsen, A., Berghede, K., and Tommelein, I. (2013) "Takt-time planning for construction of exterior cladding." Proc. 21st Annual Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr. (IGLC 21), Fortaleza, Brazil.
- Gausemeier, Jürgen; Lindemann, Udo; Reinhart, Gunther; Wiendahl, Hans-Peter, 2000 „Kooperatives Produktengineering“ In: HNI Vertragsschriftenreihe.
- Hancock, T. and Bezold, C. (1994), "Possible futures, preferable placed organisations", unpublished work, Australian Foresight Institute, Hawthorn, Victoria.

- Hoła, B., Schabowicz, K. (2010) "Estimation of earthworks execution time and cost by means of artificial neural networks", *Automation in Construction* 19 pp. 570–579.
- Ibrahim, Y.M., Kaka, A.P., Trucco, E., Kagioglou, M. and Ghassan, A. (2007), "Semi automatic development of the work breakdown structure (WBS) for construction projects", *Proceedings of the 4th International SCRI Research Symposium*, Salford.
- Ibrahim, Yahaya Makarfi; Kaka, Ammar; Aouad, Ghassan; Kagioglou, Mike (2009) „Framework for a generic work breakdown structure for building projects“, *Construction Innovation*, Vol. 9 Issue: 4, pp.388-405, <https://doi.org/10.1108/14714170910995930>
- Jaśkowski, P., Biruk, S., Buciński, R. (2010) "Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment", *Automation in Construction* 19(2) pp. 120–126.
- Kamara, J.M., Anumba, C.J., Evbuomwan, N.F.O. (2000) „Process model for client requirements processing in construction“, *Business Process Management Journal*, Vol. 6 Issue: 3, pp.251-279, <https://doi.org/10.1108/14637150010325462>
- Jung, Y. (2005), "Integrated cost and schedule control: variables for theory and implementation", paper presented at *Construction Research Congress*, San Diego, CA.
- Jung, Y. and Woo, S. (2004), "Flexible work breakdown structure for integrated cost and schedule control", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 130 No. 5, pp. 616-25.
- Kaka, Ammar; Price, A. D. F. (1991) "Relationship between value and duration of construction projects", *Construction Management and Economics*, 9:4, 383-400, DOI: 10.1080/01446199100000030
- Kapliński, O. (1997) "Modelling of Construction Processes: A Managerial Approach", PAN, IPPT. *Studia z Zakresu Inżynierii*, 43.
- Kim, D.Y. , Han, S.H., Kim, H., Park, H. (2009) "Structuring the prediction model of project performance for international construction projects: a comparative analysis", *Expert Systems with Applications* 36(2) pp. 1961–1971.
- Lai, Y.T., Wang, W.C., Wang H.H. (2008) "AHP – and simulation- based budget determination procedure for public building construction projects", *Automation in Construction* 17 pp. 623–632.
- Latham, M. (1994) "Constructing the Team: Final Report on Joint Review of Procurement and Contractual Arrangements in the UK Construction Industry", Her Majesty's Stationery Office ± HMSO, London.
- Lee, J.R., Hsueh, S.L., Tseng, H.P. (2008) "Utilizing data mining to discover knowledge in construction enterprise performance records", *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2) pp. 79–84.
- Newman, R., Jenks, M., Dawson, S. and Bacon, V. (1981) "Brief Formulation and the Design of Buildings: A Report of a Pilot Study", Buildings Research Team, Department of Architecture, Oxford Brookes University, Oxford.
- Oprach, S. , Steuer, D. , Binninger, M. & Dlouhy, J. (2017) „Die Wahl der richtigen Visualisierung für Baustellenabläufe“ *Lean Construction – Das Managementhandbuch*, Springer Berlin Heidelberg.

PMI (2001), "Project Management Institute Practice Standard for Work Breakdown Structure", Project Management Institute, Newtown Square, PA.

Raz, T. and Globerson, S. (1998), "Effective sizing and content definition of work packages", Project Management Journal, Vol. 29 No. 4, pp. 17-23.

Ribeiro, Francisco Loforte, Ferreira, Vanessa Leitão Tomásio (2010) „Using knowledge to improve preparation of construction projects“, Business Process Management Journal, Vol. 16 Issue: 3, pp.361-376, <https://doi.org/10.1108/14637151011049403>

Rogalska, M., Bożejko, W, Hejducki, Z. (2008) "Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling", Automation in Construction18(1) pp. 24–31.

Sultanow, E. , Brockmann, C., Pratt, R. & Andresen, K., 2013, "Integrate Enterprise Systems to our Hyperconnected World: Anything, Anywhere, Anytime through architectural design", Integrate Enterprise Systems to our Hyperconnected World Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems, Chicago, Illinois, August 15-17, 2013.

Teece, D.J., Pisano, G. and Shuen, A. (1997), "Dynamic capabilities and strategic management", Strategic Management Journal, Vol. 18 No. 7, pp. 509-33.

Voivedich, B.E., White, R.E. and Aghili, H.K. (2001), "Development and implementation of a standard WBS for offshore construction", paper presented at Offshore Technology Conference, Houston, TX.

Wang, Y.R., Gibson Jr., G.E. (2010) "A study of pre project planning and project success using ANNs and regression models", Automation inConstruction19(3) pp. 341–346.

Worthington, J. (1994), "Effective project management results from establishing the optimum brief", Property Review, November, pp. 182-5.

Zundel, P., 1999, „Management von Produktions-Netzwerken. Eine Konzeption auf Basis des Netzwerk-Prinzips“ In: Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag.

*Asset Information Management for design,
construction and operation*

JANOSCH **KISCH**, SIEMENS **151**

*HOERBIGER Firmengebäude
Raum für Innovation*

MARTIN **LANGER**, **159**
HOERBIGER Wien GmbH
JAKOB **DUNKL**,
querkraft architekten zt gmbh
KARL **FRIEDL**, M.O.O.CON GmbH

Asset Information Management for design, construction and operation



Siemens Real Estate verantwortet weltweit knapp 11 Millionen Quadratmeter Gebäudefläche in rund 100 Ländern, wobei wir unseren Kollegen aus den verschiedenen Geschäftsbereichen stets die besten Voraussetzungen schaffen möchten. Jedes Jahr realisieren wir rund 20 neue große Bauvorhaben, dabei ist seit ca. 2015 BIM fester Bestandteil unseres täglichen Denkens und Handelns.

Als international agierender Immobiliendienstleister der Siemens AG betrachten wir vom Planen und Bauen, bis hin zum langjährigen Betrieb, den gesamten Lebenszyklus unserer Gebäude. Daher ist es unser größtes Bestreben, mögliche Optimierungspotentiale im ganzheitlichen Ansatz zu identifizieren und natürlich auch umzusetzen – unser Portfolio also erfolgreich zu „managen“.

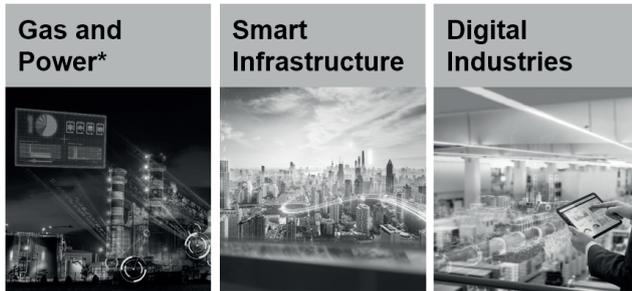
Janosch Kisch studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Energietechnik an der OTH Regensburg. Er trat 2011 als Projektengineer im internationalen Kraftwerksgeschäft in die Siemens AG ein und verantwortete die Planung, Auslegung und den Bau der technischen Gebäudeausrüstung sowie das damit verbundene modellbasierte Dokumentations- und Datenmanagement. 2015 wechselte er als technischer Projektleiter zu Siemens Real Estate in das Neubauprojekt „Siemens Campus Erlangen“ mit integrierter Projektleitung für Building Information Modeling neben weiteren Schwerpunkten wie Infrastruktur, MEP, Energiemanagement und Digitalisierung. Seit 2019 arbeitet er bei Siemens Real Estate im Bereich „Technologie und Nachhaltigkeit“ mit den Schwerpunkten Innovationsmanagement und Digitalisierungsstrategie.



Vision 2020+
Neuaufstellung zum 1. April 2019

SIEMENS
Ingenuity for life

Operating Companies



Strategic Companies

**Siemens
Mobility**



SIEMENS Gamesa*
RENEWABLE ENERGY



**SIEMENS
Healthineers**



Service Companies (Financial Services, Global Business Services, Siemens Real Estate)

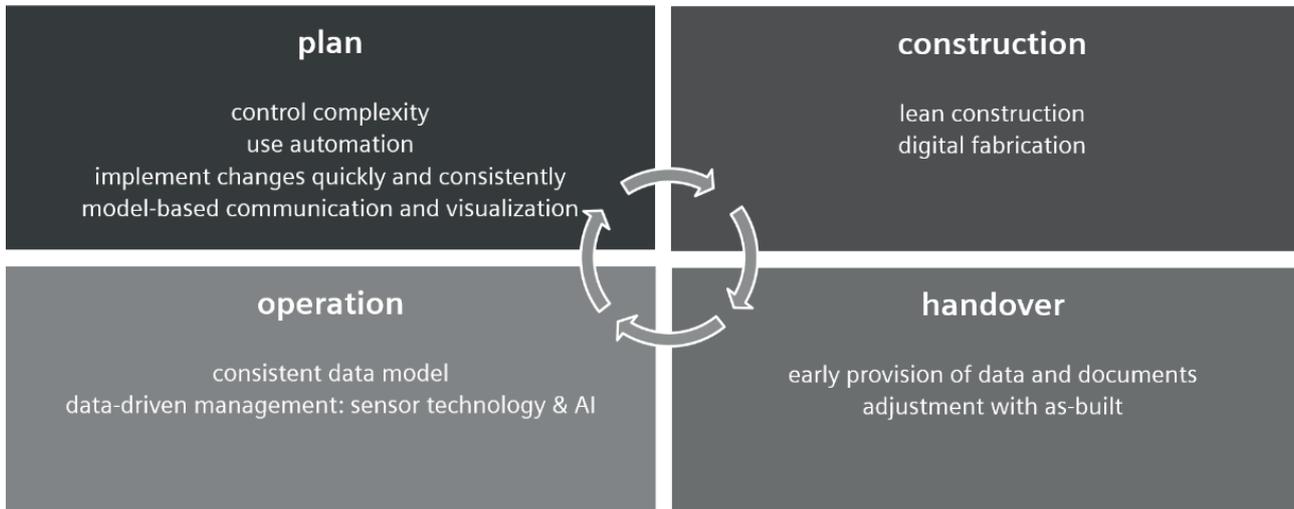
Corporate Development (u.a. IoT Services, Corporate Technology, Next47, Portfolio Companies)

Governance Einheiten

* Geplanter partieller Spin-off von Gas and Power; geplanter Transfer des Mehrheitsanteils (59 Prozent) an SGRE zur neuen Gesellschaft.

Responsibility for the full life cycle

SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

J. Kisch | Siemens Real Estate

Für das erfolgreiche Management unseres Portfolios benötigen wir Informationen und Daten, ein weitreichendes Verständnis für deren Bedeutung und Wechselwirkungen, um konkrete, wertschöpfende Maßnahmen ergreifen zu können. Wir nennen das ein optimales Asset Information Management.

Eine wesentliche Rolle spielt hier die konsequente Umsetzung der BIM-Methodik. Neben den etablierten Mehrwerten in Planung und Bauen, bilden - in Verbindung mit der digitalen Übergabedokumentation - insbesondere die geometrischen und alphanumerischen Daten die Basis für jede Art von Datenmanagement und -analyse. Ein besonderes Augenmerk muss auf die Qualität und Konsistenz dieser Daten gelegt werden, was im alltäglichen Projektgeschäft eine der größten Herausforderungen darstellt. Hierbei muss zwischen allen Gewerken und Planungsbeteiligten eine einheitliche Modell-, Daten- und Benennungssystematik abgestimmt und auch konsequent eingehalten werden – eine einfach klingende Anforderung, die in der Praxis aber immer wieder eine Herausforderung zu sein scheint.

Mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes spielen darüber hinaus auch Livedaten aus dem Betrieb also dynamische Daten, wie z.B. Energieverbräuche, Leistungsverläufe, Gebäudeleittechnikdaten und Auslastung, eine entscheidende Rolle. Mit Fokus auf die Immobilie entsteht somit eine verhältnismäßig umfangreiche und potente Datenbasis.

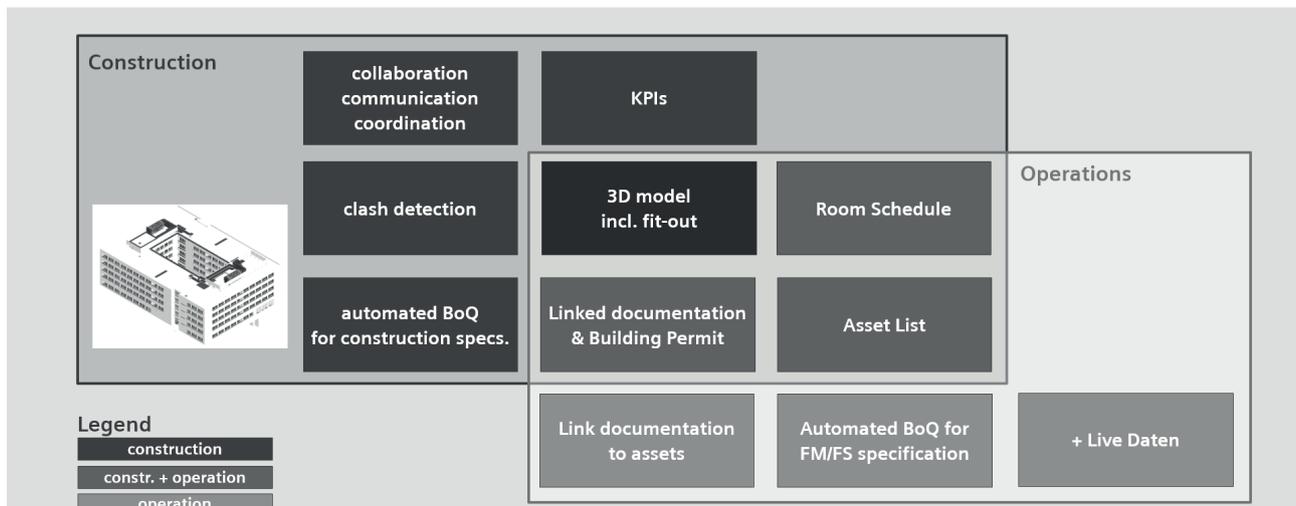
Weiterführend lassen sich die Daten aus den beiden Phasen Bauen und Betreiben, auf Grund ihres Entstehungszeitpunktes und Verwendungszweckes, in die Teilbereiche „Bauen“, „Betreiben“ und die wichtige Schnittmenge „Bauen und Betreiben“ gliedern. Wichtig deshalb, da diese Informationen einerseits die Grundlage für das Betreiben des Gebäudes nach der Fertigstellung bilden, die digitale Übergabedokumentation – gleichzeitig sind es aber auch eben jene Daten, die kontinuierlich und gewissenhaft auf aktuellstem Stand gehalten werden müssen, da nur so über die gesamte Betriebsphase auch die Mehrwerte eines effizienten Asset Information Managements generiert werden können.

Letztendlich errichten wir Gebäude, die unseren Mitarbeitern optimale Voraussetzungen bieten sollen, so effizient und wertschöpfend wie möglich für das Unternehmen zu agieren.

In der Momentaufnahme können insbesondere Livedaten aktiv für die Steuerung der Gebäudeleittechnik genutzt werden und somit zu einem signifikant reduzierten Energieverbrauch beitragen. Unter dem Aspekt der Langzeitanalyse können, z.B. mittels der Verbrauchs- und Leistungsdaten eines Gebäudes, wiederum konkrete Rückschlüsse für zukünftige Gebäude hinsichtlich genauere Auslegung und Dimensionierung gezogen werden.

BIM use-cases for the building life cycle

SIEMENS
Ingenuity for Life



Trotz dieser vielseitigen und als „greifbar“ erscheinenden Betrachtungsweisen, von deren konsequenter Implementierung der Großteil des Marktes jedoch immer noch weit entfernt ist, handelt es sich bereits um Ansätze, die heutigen Anforderungen und Entwicklungskonzepten schon nicht mehr gerecht werden.

Letztendlich errichten wir Gebäude, die unseren Mitarbeitern optimale Voraussetzungen bieten sollen, so effizient und wertschöpfend wie möglich für das Unternehmen zu agieren. Und... sie sollen Freude daran haben und gerne ins Büro kommen.

Gleichzeitig stehen wir vor immer größeren Herausforderungen im Bereich der Urbanisierung, Infrastruktur und Energie.

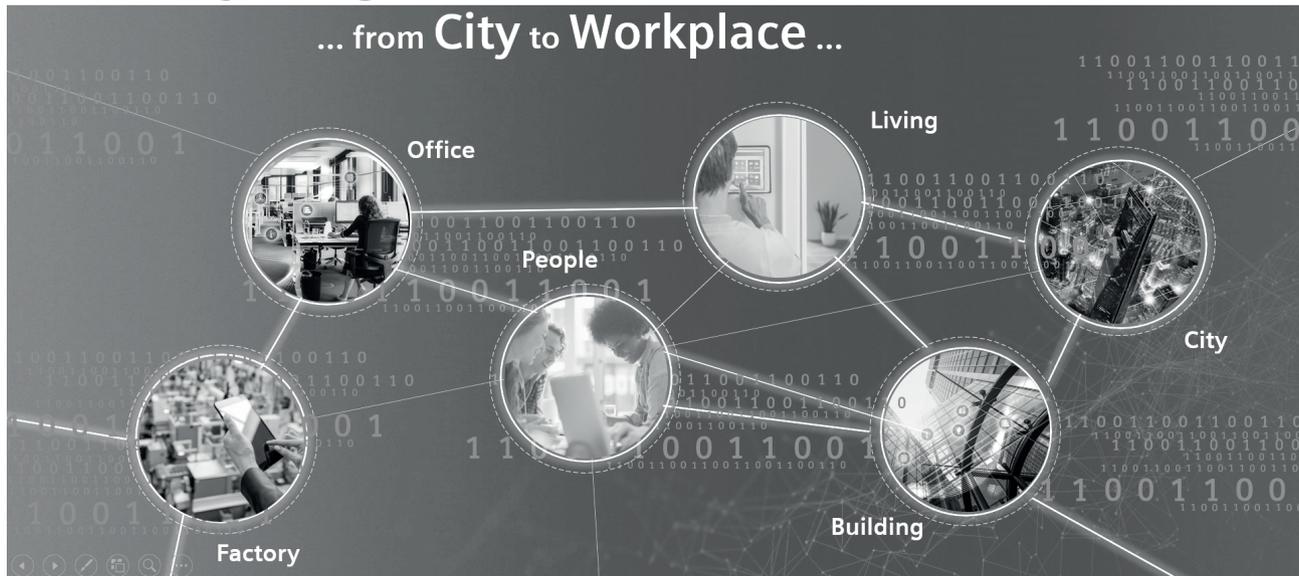
Demnach ist es auch zwingend erforderlich, dass das Asset Information Management über den „Mikrokosmos Gebäude“ hinauswächst und sich auf die Makroebene begibt.

Diese umfasst die Wechselwirkungen von Mensch, Arbeitsplatz bis hin zu unserer Lebensumgebung und Stadt und ist somit in der Lage, einen weit größeren Optimierungsbeitrag zu leisten.

SIEMENS
Ingenuity for life

... everything is connected ...

... from City to Workplace ...



Wenn wir mittels Asset Information Management unsere Gebäude und die Bedürfnisse unserer Mitarbeiter noch besser verstehen und daraus mit verlässlichen Daten auch konkret handeln, dann erst ergeben sich die wirklich großen Mehrwerte für Mensch, Gesellschaft und Unternehmen.

Wenn wir...

... mit den Zutrittsinformationen zu unseren Gebäuden die Arbeitswegzeit für unsere Mitarbeiter minimieren, weil wir den öffentlichen Nahverkehr optimieren, zielgerichtete Alternativen anbieten und den Individualverkehr reduzieren.

... heute Nacht zielgerichtet überschüssigen Windstrom speichern, da wir wissen, welche Energiemengen wir morgen benötigen und damit die Energiewende unterstützen.

... Gebäude so effizient planen und betreiben können, dass sich ihr Ressourcenbedarf stets am Optimum bewegt und Verschwendung dadurch minimiert wird.

Kurzum: Wenn unsere Gebäude für unsere Mitarbeiter, die Gesellschaft und ihren Standort stets eine Bereicherung sind.

Dipl.-Ing. Dr. tech. **Martin Langer**
Dipl.-Ing. Arch. **Jakob Dunkl**
Mag. **Karl Friedl**

HOERBIGER Wien GmbH
querkraft architekten zt gmb
M.O.O.CON® GmbH



HOERBIGER Firmengebäude Raum für Innovation

Autoren: Martin Käfer, Alexandra Popescu

Martin Langer ist seit 1995 für die Firma HOERBIGER in Wien in leitenden Funktionen tätig in den Bereichen Logistik und Europalogistik, Einkauf, Disposition, Lagerwesen, Versand, Prozessoptimierung, IT-Koordination, Organisation, Integrierte Management-system, Instandhaltung und Werkzeugbau sowie Facility Management. Davor Büroleiter Wien der Firma Planlogistik bzw. Projektleiter im Bereich Unternehmenslogistik der Firma Achammer Tritthart und Partner mit Projekten zum Thema Fabrikplanung - Masterplanung, Lager- und Förder-technikplanung und Lageroptimierung betraut.



Jakob Dunkl, geb. 1963 in Frankfurt/Main, war nach seinem Studium der Architektur an der TU Wien von 1992-1994 Mitarbeiter bei Helmut Richter. 1998 erfolgte die Gründung von querkraft architekten, gemeinsam mit Gerd Erhartt, Peter Sapp und Michael Zinner (bis 2004). Von 2002 - 2004 als Sprecher der IG Architektur wie auch von 2010 - 2013 als Sprecher der Plattform Baukultur tätig, moderierte er von 2012 - 2016 auch die Baukultur-Doku-Serie „Meine Stadt“ auf ARTE. 2016 erhielt querkraft den Preis der Stadt Wien.



Karl Friedl ist geschäftsführender Gesellschafter der M.O.O.CON® GmbH und führt diese mit Sitz in Wien, Frankfurt, Hamburg, München und Waidhofen/Ybbs. M.O.O.CON ist die führende Unternehmensberatung für identitätsstiftende und nachhaltige Gebäude, Prozesse und Arbeitswelten. Herr Friedl ist seit mehr als 25 Jahren als Projektleiter in vielen komplexen Neubau- und Sanierungsprojekten im In- und Ausland sowie als Dozent an verschiedenen Fachhochschulen tätig. Er ist Autor zahlreicher Fachveröffentlichungen zu den Themen Bauherrenberatung und Facility Management in österreichischen und deutschen Fachmagazinen. Darüber hinaus ist er Gründungsvorstand der IG Lebenszyklus Bau.



HOERBIGER ist führend im Bereich performancebestimmende Komponenten für Kompressoren, Industriemotoren und Turbinen, Automobilgetrieben und in vielfältigen Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau. Das Unternehmen mit Wurzeln in Wien beschäftigt insgesamt 6.700 Mitarbeitende. Auf einer Fläche von 24.000 m² für 500 MitarbeiterInnen ist in Aspern ein Vorzeigebispiel dafür entstanden, wie moderne Industriearchitektur im Zeitalter der Digitalisierung und Globalisierung einen wesentlichen Beitrag zum Unternehmenserfolg leisten kann. Die neue Arbeitsumgebung bricht die Grenze zwischen Tradition und klassischer Industriebautypologie, bietet eine intelligente Lösung zwischen Verwaltung, F&E sowie Produktion und bietet vielfältige Möglichkeiten für die Zusammenarbeit jenseits von Abteilungs- und Hierarchiegrenzen.

Mit seinem kürzlich fertig gestellten Innovations- und Produktionsstandort in Wien Aspern ist HOERBIGER nicht nur die erste Industrieansiedlung in Europas größtem Stadtentwicklungsgebiet, sondern auch ein Vorzeigeprojekt in puncto Raum für Innovation. Vier Jahre lang leistete M.O.O.CON Unterstützung bei der Realisierung dieses spannenden Projektes. Anlass für eine Dokumentation.

„Das Firmengebäude strahlt die Kernwerte des Unternehmens Hoerbiger aus – Effizienz, Dynamik und Offenheit. Es ist ein Objekt, das keinen Unterschied macht zwischen Produktion und Büroflächen, weder von außen betrachtet noch von der im Inneren genutzten Materialität. Es ist alles eines. Alles ist offen, schlicht und funktionell. Es gibt „kein Gramm Fett“. Das Gebäude kommt ohne übertriebene Symbolwirkung – übertriebenes Trommeln – aus.“

Die Mitarbeiter von Hoerbiger und Menschen aus aller Welt kommen am neuen Standort in Wien zusammen.

Industriequalitäten

Hierarchielosigkeit, Einfachheit, Effizienz und Klarheit stellen die Grundgedanken des Entwurfs für ein Gebäude mit Flächen für Produktion, Büro sowie Forschung und Entwicklung dar. Kopf und Hände gehören zusammen, daher gibt es nach außen hin keine Unterscheidung der baulichen Struktur von Produktionshalle und Büro. Es ist alles eines. Die gleiche Industriefassade, bestehend aus Paneelen und Fensterbändern, umgibt den ganzen Baukörper sowie dessen Auskragungen. Diese schwebenden Bauteile holen den darunterliegenden öffentlichen Raum weit ins eigene Grundstück herein und unterstreichen die dynamische Komponente des Unternehmens. Die Annäherung von Produktion und Verwaltung setzt sich ebenso im Inneren fort. Die Qualitäten der Halle werden ins Büro gebracht. Das bedeutet: Rohbeton, sichtbare, offene Leitungen und keine abgehängten Decken.

Konstruktion

Es gibt „kein Gramm Fett“. Der Industriebau benötigt weder Verkleidungen noch schmückende Schichten. Alles ist offen, schlicht und funktionell. Jegliches Ornament entsteht aus einem Aspekt der Funktionalität. Das reduzierte Tragwerk ermöglicht effiziente Gesamtkosten und langfristige Flexibilität. Die Produktionshalle ist als Stahlbau mit Betonstützen gefertigt. Der Rest des Gebäudes stellt einen Stahlbetonskelettbau dar.

Bedarfsplanung

Funktionsschema gesamt

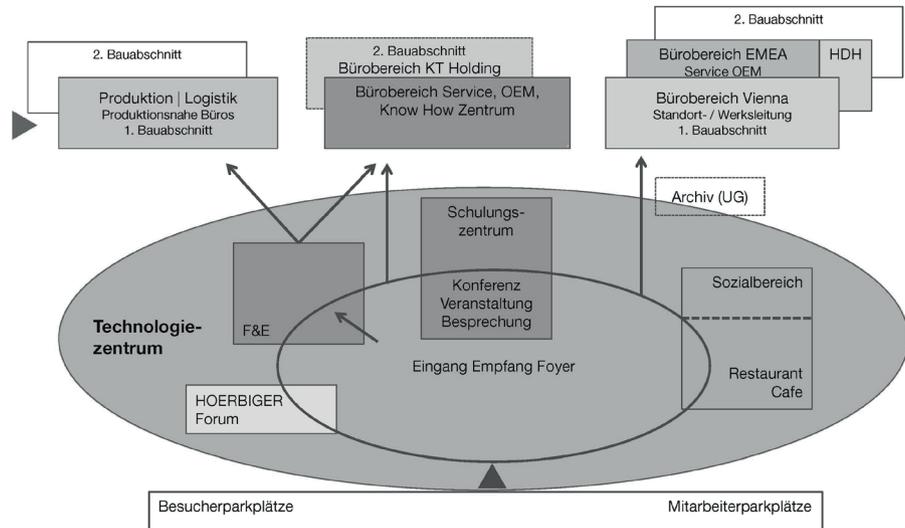


Abb. 1: Auf Basis des von M.O.O.CON formulierten Bedarfsplanen querkraft architekten das Haus. querkraft architekten



Abb. 2: Selbstbestimmtheit, Technologie und Wirtschaftlichkeit als zentrale Erfolgskriterien sind bereits im Eingangsbereich des neuen HOERBIGER Hauses zu spüren. querkraft architekten



Abb. 3, 4: Das von TRIAD Berlin Projektgesellschaft geplante HOERBIGER Forum ist eine multimediale Ausstellungsfläche im Foyer des Hauses, mit dem Ziel den Innovations- und Pioniergeist des Unternehmens bekannt zu machen und zu stärken.
querkraft architekten

Offenheit und Transparenz

Offenheit und Transparenz ziehen sich durch den Baukörper. Durch zahlreiche Ausblicke wird eine gute Orientierung innerhalb des Gebäudes ermöglicht sowie ein natürliches Arbeitsumfeld geschaffen.



Abb. 5, 6: Blick in die Zukunft - links im Bild kann man von der Ausstellungsfläche in den Forschungs- und Entwicklungsbereich des Unternehmens hineinschauen - und in die Vergangenheit - auf Touchscreens wird die Geschichte von HOERBIGER erzählt. querkraft architekten

Es dreht sich alles darum, dass die Menschen in der Produktion, wie in der Entwicklung und im Büro gleichwertig sind. Offene Bereiche ermöglichen die Interaktion der Mitarbeiter.

Außenraum

Der Innenhof stellt den Kernpunkt des Gebäudes dar und verzahnt Produktion und Verwaltung. Vom CEO bis zum Arbeiter und der Putzfrau kommen hier alle zusammen. Der windgeschützte Bereich dient als Aufenthaltsort für Gäste und Mitarbeiter.

Gebäude als veränderbare Maschine

Vom Entwurf bis zum fertigen Detail ist das Gebäude optimierbar wie eine Maschine. So wurden vom Wettbewerbsprojekt bis zur Fertigstellung laufend Räume angepasst oder ganze Gebäudeteile verändert, aber auch im fertigen Objekt beispielsweise be-

wusst Fugen zwischen den Akustikplatten gelassen, um so nachträglich Rohr- und Lüftungsleitungen montieren zu können. Es entsteht eine Maschine für Menschen.

Der Name HOERBIGER ist nur Kennern ein Begriff. Mit einem jährlichen Umsatz von 1,115 Mrd. Euro ist das Unternehmen der Weltmarktführer in seinem Segment – HOERBIGER steht für performancebestimmende Komponenten in Kompressoren, Industriemotoren und Turbinen, Automobilgetrieben sowie in vielfältigen Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau. Ein Hidden Champion mit einer weltweiten Präsenz – 6.858 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind insgesamt für das Unternehmen, dessen Wurzeln in Wien liegen, tätig.

Gegründet wurde das Unternehmen vor mehr als 120 Jahren, als der Pionier- und Quergeist Hanns Hörbiger mit der Erfindung seines massearmen und reibungslos geführ-



Abb. 7: Der Innenhof als Kernpunkt des Gebäudes
querkraft architekten

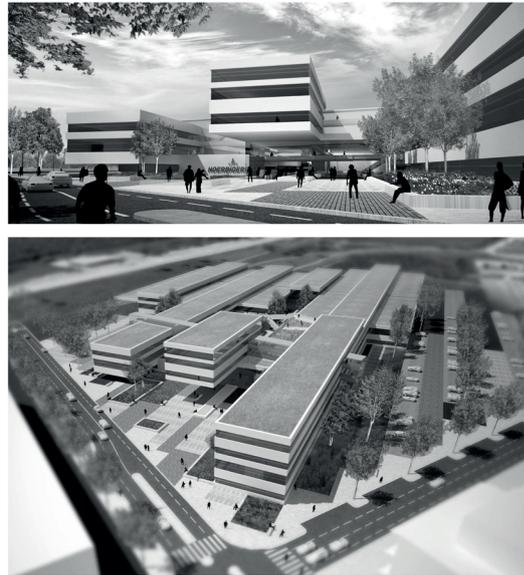
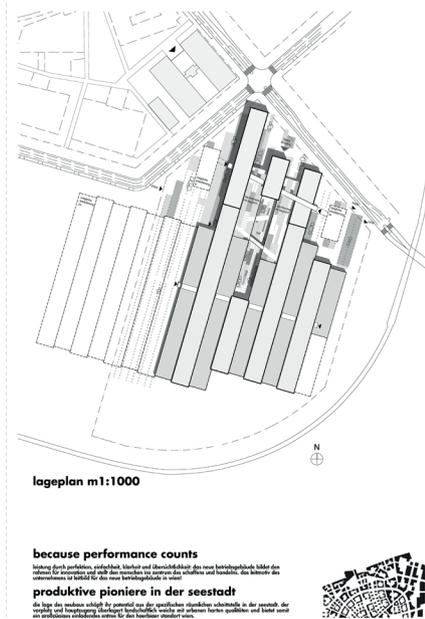


Abb. 8: HOERBIGER Standort Wien in Aspern
 querkraft architekten

ten Ventils die Stahlindustrie und die Chemische Industrie revolutionierte und eine der Schlüsseltechnologien für die industrielle Entwicklung zu Beginn des 20. Jahrhunderts lieferte. Das Unternehmen gehört heute zum Großteil der von Martina Hörbiger gegründeten HOERBIGER Stiftung mit Sitz in der Schweiz. Die Stiftung wahrt das unternehmerische Erbe, ist Garant für Stabilität und Eigenständigkeit sowie für eine zukunftsorientierte und auf profitables Wachstum gerichtete Konzernstrategie. Der überwiegende Teil des vom Konzern erwirtschafteten Unternehmensgewinns wird von der Stiftung vorwiegend in weiteres Wachstum investiert, was auch die Investition in das neue Haus in Wien Aspern ermöglichte.

Das Geschäftsmodell von HOERBIGER konzentriert sich darauf, performancebestimmende Komponenten, wie Kompressor- und Motorenkomponenten, Kompaktachsen sowie Synchronsysteme herzustellen und die darauf abgestimmten Serviceleistungen anzubieten. Diese weisen hochwertige Alleinstellungsmerkmale auf, die durch einen entscheidenden Einfluss auf die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit von Maschinen nachhaltigen Kundennutzen bieten. Sie sind der Grund dafür, dass mit Komponenten, Systemen und Serviceleistungen von HOERBIGER Standards gesetzt werden.

Der Weg nach Aspern

Über acht Jahrzehnte waren die HOERBIGER Ventilwerke in Wien Simmering zu Hause, einem der traditionsreichsten Industriebezirke Wiens.

Vor vier Jahren wurde in der HOERBIGER Holding AG die Entscheidung getroffen, den dortigen Firmenstandort aufzugeben und in der Seestadt Wien Aspern an einem neuen Standort die rund 500 in Wien tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HOERBIGER Konzerns unter einem Dach zusammenzuführen. Viele Gründe sprachen für diese Entscheidung: Nicht nur die räumliche Trennung – vor dem Umzug waren die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf drei Standorte in Wien verteilt und auch am Traditionsstandort Brauhubergasse 23 in Wien Simmering war man durch eine Straße getrennt – sondern auch die Notwendigkeit zur Schaffung einer attraktiven Arbeitsumgebung, sowohl für das bestehende Team als auch im Hinblick auf die Gewinnung neuer Talente war groß. Darüber hinaus gab es im bevölkerungsreichen Bezirk Wien Simmering einen dringenden Bedarf nach Wohnbebauung.

Nach dem Umzug des Unternehmens werden auf dem Areal des ehemaligen HOERBIGER Standortes in der Brauhubergasse 23 mehr als 500 Wohnungen entstehen. Vor diesem Hintergrund wurde ein neuer Standort in Wien gesucht, an dem HOERBIGER von langfristigen Entwicklungsmöglichkeiten profitieren kann.

In der Seestadtstraße 25 wurde im Rahmen des Stadtteils „aspern – Die Seestadt Wiens“ ein passendes Grundstück für den Neubau von HOERBIGER gefunden. „aspern – Die Seestadt Wiens“ ist eines der größten Stadtentwicklungsprojekte Europas. Das Gebiet im 22.

Wiener Gemeindebezirk, der Donaustadt, soll in mehreren Bauphasen und über die Dauer von zwei Jahrzehnten entwickelt werden. In Summe werden hier 8.500 Wohneinheiten für 20.000 Bewohner und zahlreiche Arbeitsplätze im Büro und Dienstleistungssektor, Produktions- und Gewerbebereich sowie im Wissenschafts- und Forschungsbereich entstehen.

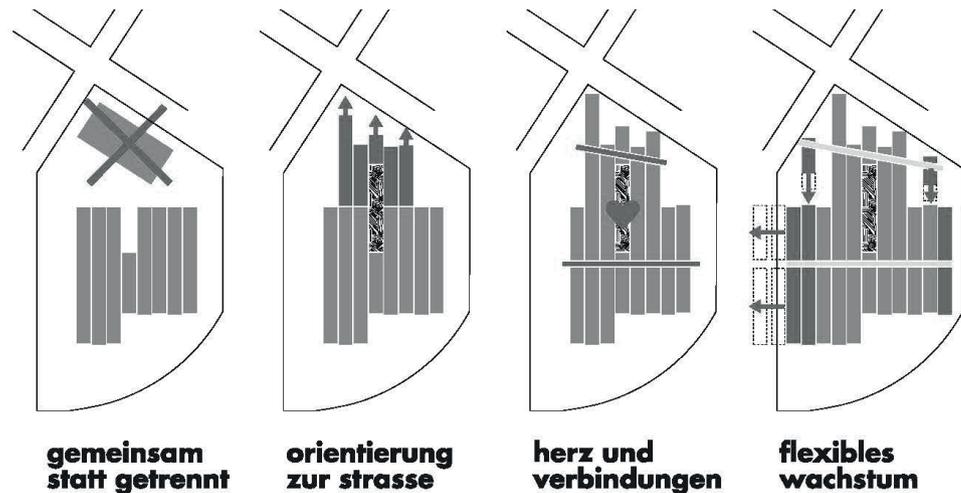


Abb. 9: Die vier Prinzipien des Siegerprojektes von querkraft architekten



Abb. 10: Der Innenhof und die Terrasse mit dem Hanns Hörbiger Raum, einer Ausstellungsfläche über das Leben und Wirken des Unternehmensgründers
querkraft architekten

HOERBIGER – WIENeu

Mit dem neuen Gebäude in Wien Aspern ist es HOERBIGER gelungen, die Firmenwerte – Mut, Pioniergeist, Nähe und Fairness – sowie die den Erfolg bestimmenden Kriterien des HOERBIGER Konzerns – Technologie, Selbstbestimmtheit, Wirtschaftlichkeit und Marktpositionierung – in Form eines unverwechselbaren architektonischen Bauwerks Gestalt zu verleihen. Das neue HOERBIGER Haus in Wien Aspern – WIENeu – ist nicht nur die erste Industrieansiedlung in diesem Stadtteil, sondern auch ein Vorzeigeprojekt in puncto Raum für Innovation:

Auf Basis des von M.O.O.CON formulierten Bedarfs plante querkraft architekten unter der Federführung von Jakob Dunkl und Projektleiter Guillermo Alvarez ein 24.000 m² großes Gebäude, das mit der Tradition der klassischen Industriebautypologie bricht und die Grenzen zwischen Verwaltung, Forschung & Entwicklung sowie Produktion intelligent auflöst. Vielfältige Möglichkeiten für Zusammenarbeit und Austausch jenseits von Abteilungs- und Hierarchiegrenzen, die Wege sowie Innovations- und Produktionszyklen kürzen, sind im neuen Haus entstanden.



Darüber hinaus ist mit dem HOERBIGER Forum, für deren inhaltliche Konzeptionierung und Umsetzung die Berliner Triad Projektgesellschaft verantwortlich zeichnete, eine einzigartige identitätsstiftende Ausstellungs- und Kommunikationsfläche realisiert worden, die den Innovationsund Pioniergeist des Unternehmens stärken wird. Das in den Neubau integrierte HOERBIGER Forum soll die Bedeutung des Standortes für die Gegenwart, Vergangenheit und Zukunft des Konzerns illustrieren und unterstreichen.

Die mit Unterstützung von M.O.O.CON definierten Projektziele, die auch ein wesentlicher Bestandteil der Auslobungsunterlagen im Rahmen des Generalplanerwettbewerbs waren, lassen sich optimal im neuen Haus ablesen. Von der Bedarfsplanung über die Koordination des Generalplanerwettbewerbs bis zum Einzug der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in das neue Haus zeichnete M.O.O.CON umfassend für das Projekt verantwortlich.

Kulturell:

Durch seine schlichte, ja fast rohe und ungeschminkte Architektur ist das Haus eine gelungene Visitenkarte für den innovationsgetriebenen Technologieführer HOERBIGER. Mit seinen offenen Leitungsführungen und Akustikpaneelen, den schnörkellosen Röhren und Leuchten sowie den fehlenden Verklei-

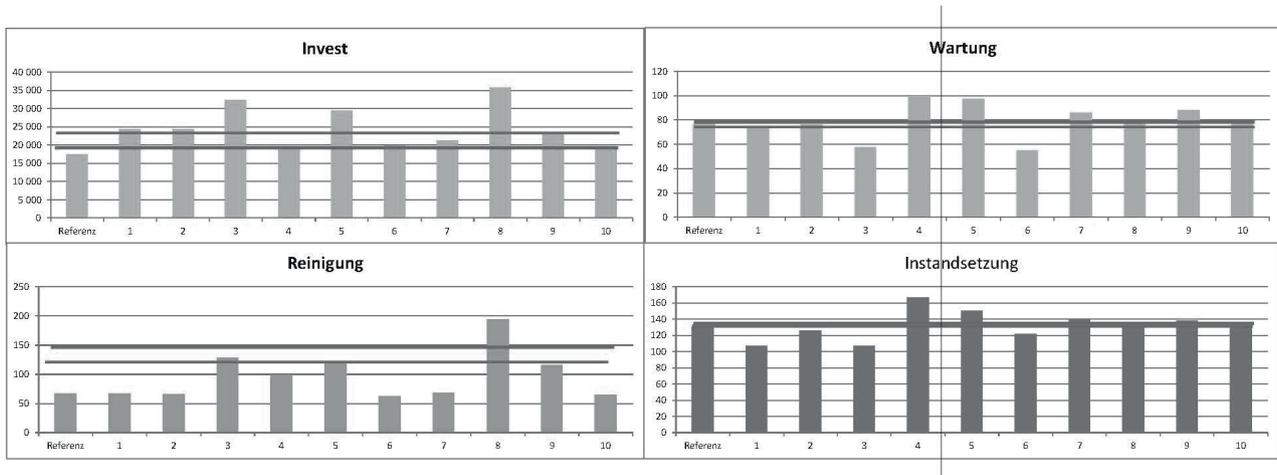


Abb. 11: Mit Hilfe des LZK Tools Öko wurden die Lebenszykluskosten der Wettbewerbsbeiträge berechnet querkraft architekten

— Mittelwert
 — Referenzraum

dungen, dem Stahl und Beton, die nicht nur in der Produktionshalle, sondern auch im Verwaltungs- sowie Forschungs- und Entwicklungsbereich zu sehen sind, ist der technologieaffine und erfinderische Geist des Unternehmens überall im neuen Haus zu spüren.

Organisatorisch und sozial:

Ein wichtiges Ziel war von Anfang an, die räumliche und kulturelle Trennung zwischen den verschiedenen Gesellschaften und Abteilungen zu überwinden. So wurde das neue Haus als Ort der Begegnung und des Austauschs konzipiert, in dem sich der Erfindergeist, der das Unternehmen von seinen Anfängen begleitet, optimal entfalten kann. Durch die intelligente Vernetzung der Bereiche Produktion, Verwaltung und Forschung & Entwicklung in Form von zahlreichen Brücken und Begegnungsplätzen, des

HOERBIGER Forums, des Restaurants und gemeinsamen Innenhofs wird besonders die informelle Kommunikation gestärkt. Dadurch sollen Innovations- und Produktionszyklen deutlich verkürzt werden.

Wirtschaftlich:

Die Investitionssumme inklusive des Grundstücksankaufs für das neue HOERBIGER Haus in Aspern beläuft sich auf 45 Millionen Euro und die lebenszyklusorientierte Planung des Hauses sichert die Minimierung der Nutzungskosten auch im laufenden Gebäudebetrieb. So zum Beispiel wird der Gasmotor, der zum Test von HOERBIGER Komponenten zum Einsatz kommt, zur Stromgewinnung eingesetzt. Die Abwärme des Motors wiederum wird über einen Wärmetauscher der Heizenergie für das Gebäude zugeführt. Darüber hinaus halten effiziente Beleuchtungssysteme und ein zentral über den Sonnenstand

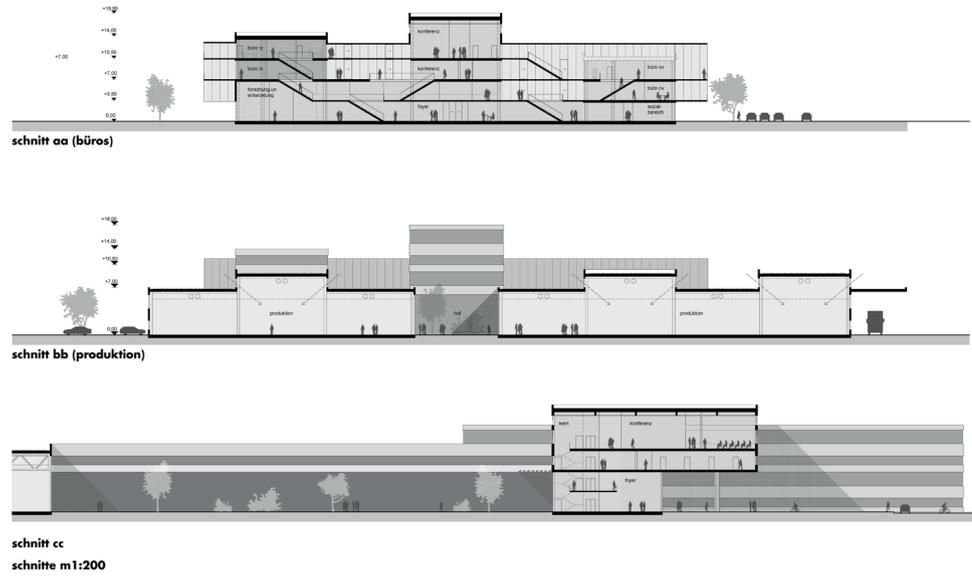


Abb. 13: Intelligente Schnittlösungen für das neue HOERBIGER Haus. querkraft architekten



Abb. 14: Aussenansicht des neuen HOERBIGER Hauses querkraft architekten

Design-to-Budget

Für das Projekt wurde von Seiten des Bauherrn ein Budget vordefiniert und der Generalplaner verpflichtete sich dazu, die Planung so zu adaptieren, dass die Kosten eingehalten werden können (Design-to-Budget). Gemeinsam mit HOERBIGER wurden in den Projektphasen Vorentwurf und Entwurf sogenannte Abwurfpakete identifiziert, die bei einer Überschreitung der Baukosten im Vergabeprozess jederzeit gezogen werden konnten. Diese Änderungen wurden auch teilweise in den Vergabeverhandlungen mit den ausführenden Firmen angewandt, um die Beauftragung innerhalb des Budgets zu ermöglichen.

Das von M.O.O.CON verantwortete Änderungswesen in der Ausführungsphase stellte sicher, dass die Kostenreserven über die 18 Monate Bauzeit ausgereicht haben. Eine kontinuierliche Risikoabschätzung half dabei zu identifizieren, ab wann die Reserven zugunsten von zusätzlichen Qualitäten abgebaut werden konnten. Dieses rigide Kostencontrolling stellte sicher, dass das zu Beginn vereinbarte Budget eingehalten werden konnte. M.O.O.CON verantwortete dabei das Gesamtbudget, der Generalplaner das Baubudget und eine dritte Kontrollinstanz seitens HOERBIGER nahm das Projektcontrolling wahr.

Mit M.O.O.CON MOODS Unternehmenswerte sichtbar machen

Mit der Errichtung eines Gebäudes setzt ein Unternehmen ein deutliches Zeichen und bezieht langfristig und weithin sichtbar Position im öffentlichen Raum. Gelungene Unternehmensarchitektur signalisiert den Qualitätsanspruch eines Unternehmens und sorgt für eine überdurchschnittliche Identifikations-



Abb. 15 - 17: Innen wie aussen Raum für Innovationen im neuen HOERBIGER Haus. querkraft architekten

möglichkeit – sowohl nach innen, als auch nach außen.

Nur: Wie kann diese Identität optimal in die Sprache des Architekten übersetzt werden?

Mit M.O.O.CON MOODS haben wir ein interaktives Kommunikationsinstrument entwickelt, auf Basis dessen die Unternehmensidentität in die Sprache der Architektur übersetzt werden kann.

Auch HOERBIGER entschied sich dazu, mit diesem Instrument zu arbeiten: 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nahmen an der Onlinebefragung teil, die eine erste Verortung der Unternehmenskultur ermöglichte.

In einem zweiten Schritt wurden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu einem Workshop eingeladen, im Rahmen dessen in einer interaktiven Diskussion das folgende Moodboard entstand, das auch Eingang in die Auslobungsunterlage fand. Für die an einem Wettbewerb teilnehmenden ArchitektInnen ist das Moodboard eine wesentliche Hilfestellung, um ein Gefühl dafür zu bekommen, mit welchen Werten und Bildern sich ein Unternehmen identifiziert.

Raum für Innovation

Warum wir Räume für Innovationen im physischen und im übertragenen Sinn brauchen und wie man diese schaffen kann – darüber unterhielten sich Dr. Peter Steinrück, Executive Vice President und Head of Business Development, HOERBIGER Kompressortechnik Holding GmbH, der für das neue HOERBIGER-Haus verantwortliche Architekt Jakob Dunkl von querkraft architekten und Karl Friedl, Geschäftsführender Gesellschafter bei M.O.O.CON.

Friedl: Was hat HOERBIGER dazu bewogen, die Innovation ins Zentrum des neuen Hauses in Aspern zu stellen?

Steinrück: Wir sind als Engineering-Büro gegründet worden und sind immer von technischen Innovationen getragen und getrieben worden. Das Motto unseres heutigen Konzerns lautet „Wir setzen Standards“ und das heißt für uns, dass in allen Bereichen, in denen wir auch tätig sind, Innovationen für uns elementar sind. Durch die Produkte, die wir anbieten, liefern wir unseren Kunden einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil. Dabei setzen wir auf zwei Säulen – einerseits auf die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, andererseits auf die Technologie, in die wir viel investieren. Und wenn man das als Grundmotiv des Unternehmens sieht, dann muss sich das auch in der täglichen Praxis des Unternehmens widerspiegeln.

Friedl: Der Innovationsprozess bedeutet, dass man immer wieder neue Anwendungsbereiche für die eigenen Produkte findet. Wie finden Sie diese Anwendungsbereiche und Ihre Kunden?

Steinrück: Ein unheimlich spannendes Thema! Natürlich spielt König Zufall eine gewisse Rolle. Wenn man sich die Geschichte des Unternehmens anschaut, dann war es die Innovation von Hanns Hörbiger, unseres Namensgebers, die zu unserer Entstehung geführt hat. Im Grunde die sehr geschickte Beobachtung seines Arbeitsumfeldes – er war in einem Unternehmen tätig, das Kompressoren gebaut hat. Ein Wahlspruch, den einer unserer ehemaligen Vorstände geprägt hat, war, die Anwendung des Kunden besser zu verstehen als der Kunde selber. Dieses genaue Hinschauen ist also ein wesentliches Element, das uns in der Innovation trägt.

Friedl: Dazu fällt mir der Spruch eines Innovationsforschers ein, der sagt: Schau nicht auf die Bohrmaschine, sondern auf das Loch in der Wand, das gebohrt werden muss. Dann kommst du darauf, wie man die Bohrmaschine auch verbessern kann. Wie bringt man die Menschen dazu, das zu sehen?

Steinrück: Ein Unternehmen ist nicht nur eine einzelne Person. Hanns Hörbiger war wohl eine Person, aber ein Unternehmen braucht die Vernetzung zwischen den Individuen – so wie die Ganglien im Hirn eines einzelnen Individuums optimal verschaltet sind, so muss auch ein Unternehmen auf die Vernetzung der verschiedenen Individuen und ihres jeweiligen Wissen setzen.

Es sind nicht die Forscher und Entwickler, sondern unsere Serviceleute und unsere Verkäufer, die täglich draußen beim Kunden sind. Als Unternehmen muss es gelingen, diese Leute, die die Verbindung zur Applikation haben, mit den Denkern, den Entwicklern zu vernetzen.

Wie kann ich das machen? Nähe spielt eine ganz wichtige Rolle und ist übrigens auch einer unserer zentralen Werte. Das kann ich machen, indem ich die Forscher und Entwickler zusammen mit den Produktmanagern, mit den Verkäufern und mit den Marketingleuten an „die Front“ hinausbringe.

Darüber hinaus muss ich das aber auch mit der Organisation und mit der Architektur unterstützen. Für mich wäre es vollkommen undenkbar, ein Forschungs- und Entwicklungszentrum zu bauen, das in Wolkenkuckucksheim sitzt.

Friedl: Wien ist für HOERBIGER ein historisch wichtiger Standort, das Unternehmen ist aber weltweit tätig. Welche Bedeutung hat Wien für das Unternehmen im Hinblick auf Innovationen?

Steinrück: Wir sind am Standort Wien seit unserer Gründung vor rund 120 Jahren. Wir sind aber international aufgestellt und Wien ist sicher nicht der Nabel der Welt. Warum wir hier so ein Gebäude errichten haben lassen? Dazu gibt es eine ganz einfache Antwort: die Verfügbarkeit von sehr guten Leuten! Wien ist zwar nicht so eine starke Industriestadt beziehungsweise hat nicht so eine starke Nachfrage nach hochkarätigen Technikern wie beispielsweise der Stuttgarter Raum, bietet jedoch mit der Ausbildung an der Technischen Universität ein sehr hohes Niveau, das sich mit den Niveaus woanders durchaus messen kann.

Und wir haben Zugriff auf die besten Leute, die hier ausgebildet werden. Wir haben in Wien auch einen gewissen Ruf – in den wir regelmäßig investieren – und ziehen die besten Köpfe an. Mit dem neuen Haus wollten wir unsere Attraktivität als Arbeitgeber steigern.

Friedl: Sie hätten die Produktion auch an billigeren Standorten dieser Welt verlagern können. Die Entscheidung, hier zu bleiben, hat also nicht so sehr kulturelle, sondern vielmehr strukturelle Gründe. Damit Neues entstehen kann, braucht es die enge Zusammenarbeit mit der Produktion.

Steinrück: Genau! Kunststofftechnik zum Beispiel ist eine Schlüsseltechnologie für uns. So haben wir in unserem F&E-Zentrum eine Kunststoffspritzmaschine aufgestellt, die gemeinsam von den Entwicklern und den Produktionsmitarbeitern bedient wird. Diese Zusammenarbeit wird auch durch die Architektur unterstützt, denn die Maschine ist genau an der Schnittstelle zwischen diesen beiden Bereichen platziert. Und auch die Musterwerkstätte ist genau an der Grenze zur Produktion. Da kann man dann nicht mehr genau sagen, ist das jetzt der Produk-

tion oder der Verwaltung zugeordnet, der Übergang ist fließend. Dass die Architektur diese Idee so unterstützt, darauf sind wir sehr stolz.

Friedl: Wie kann ein Haus den Prozess der Innovation unterstützen?

Steinrück: Indem es den Menschen Begegnungs und Vernetzungsmöglichkeiten bietet. Wenn man sich den von Dunkl und seinem Team entworfenen Grundriss anschaut, dann ist es ihnen gelungen, Brücken zu bauen – so wie die Brücke, auf der wir uns jetzt befinden, auf denen sich Menschen auf ihrem täglichen Gang zu ihrem Arbeitsplatz, den Konferenz- und Besprechungsräumen, zum Restaurant begegnen können. Wir haben Begegnungsräume geschaffen, womit die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, dass sich die Entwicklungsleute, mit den Kollegen, die draußen im Markt sind sowie den Produktionsleuten treffen. Es ist ein wichtiges Charakteristikum dieses Hauses, dass wir eine enge Verbindung zwischen der Produktion und den Angestellten, also zwischen dem Ort, wo etwas erdacht und dem, wo es gemacht wird, geschaffen haben. Wenn man das Haus von außen anschaut, dann kann man die Grenzen zwischen Produktion, Sales, Engineering nicht erkennen.

Friedl: Wie seid ihr an diese Aufgabenstellung herangegangen?

Dunkl: Wir haben nichts anderes getan als unserem Leitsatz treu zu bleiben – wir meinen, dass Menschen immer das Wichtigste sind und deshalb war es für uns klar, dass wir zwischen Ingenieuren, Verwaltungsmitarbeitern und den Menschen an der Maschine nicht differenzieren werden. Wir glauben, dass alle gemeinsam am Erfolg des Unternehmens

teilhaben. Wir wollten zwischen dem Verwaltungsbereich, der vorne und dem Produktionsbereich, der hinten ist – und diese Formulierung ist schon gefährlich – nicht unterscheiden, sondern eine Einheit schaffen.

Das Zusammenwachsen, eine Firma sein, war für uns zentral. Am alten Standort in Simmering war zwischen diesen beiden Bereichen eine Straße. Man war so stark getrennt, wie es überhaupt nicht sein sollte. Darüber hinaus waren wir sehr stark darauf bedacht, dass nicht nur die Fassade die Idee des Zusammenwachsens und der Einheit widerspiegelt, sondern dass sich die Elemente auch im Inneren in fast schon extremer Weise annähern. Klarerweise sind Produktionsbereiche mit offenen Leitungsführungen, mit offenen Akustikpaneelen, mit schnörkellosen Röhren und Leuchten ausgestattet und das Gleiche haben wir dann in sehr roher, ungeschminkter Weise in die Büro- und Konferenzbereiche geführt.

Vielleicht ist es dann ein Differenzkriterium zu anderen modernen Verwaltungsbauten, wo alles immer verkleidet ist und man überall natürlich abgehängte Decken und schöne Vorsatzschalen hat und man sehr selten die „Maschine“ sieht, die ein Haus heutzutage durchaus ist. Ein Haus besteht nicht nur aus ein paar Ziegelwänden mit einer Decke, sondern es sind viele Strukturen drinnen. Wir haben gefunden, dass diese Herangehensweise für ein technisches Unternehmen durchaus passend ist.

Friedl: Kommen wir zu den Kommunikationsplätzen und Brücken zurück, die vorher erwähnt wurden. Wie unterstützt die Architektur die Vernetzung im Haus?

Dunkl: Mit dem südlichen Teil, wo die Produktion angesiedelt ist und dem Bürobereich im nördlichen Teil würde sich das Haus in zwei

Hälften aufteilen. Ein verbindendes Element ist aber der Forschungs- und Entwicklungsbereich, der sich mit lauten und vibrationsreichen Maschinen unter dem Technology-Center (Verwaltung) bis ins 2.Obergeschoß hindurchzieht. Darüber hinaus haben wir an jedem Ort, in jedem Gang im Haus Glas vorgehen. Das ist für die Orientierung, aber auch für die Kommunikation wichtig. Man sieht viel mehr zufällig. Verkehrswege könnten in einem Gebäude das Ärgerliche sein, weil sie keine produktiven Quadratmeter sind, aber durch diese Transparenz und Einladung zur Kommunikation werden sie potenziell zu den produktivsten Flächen im Haus. Darüber hinaus braucht es Plätze zum Verweilen, wie zum Beispiel den Ort an dem wir jetzt sind, mit Stehpulten oder im Bürotrakt die Mittelzonen, wo man sich gemeinsam zusammensetzen kann. Abgesehen davon waren wir diejenigen im Wettbewerb, die am stärksten den Hofeinschnitt, den die Produktion angeboten hat, fortgesetzt haben. Den gleichen Hof haben jetzt auch die anderen Teile des Hauses gekriegt und so haben wir einen gemeinsamen, geschützten Innenhof – was auf Grund der Windverhältnisse in Aspern wichtig ist – der wie ein Dorfplatz funktioniert: Gleich hier angeschlossen

ist auch das Restaurant – innen und außen im Hof – das wie das gesellschaftliche Zentrum eines Wirtshauses am Dorfplatz alle anlockt.

Steinrück: Die Ideen, die wir vorher formuliert haben, diese Nähe, die Vernetzungsmöglichkeiten zwischen Produktion und Verwaltung haben wir vorher zusammen mit M.O.O.CON in der Erstellung der Auslobungsunterlagen mitbedacht.

So konnten wir in der Auswahl des Siegerprojektes ganz bewusst auf diese Kriterien eingehen. Und dies war sehr wichtig, weil für mich und viele meiner Kollegen war das die

erste Erfahrung im Umgang mit einem Architekturwettbewerb. Zunächst haben wir den Fehler gemacht, dass wir uns von den Fassaden der Visualisierungen beeindrucken haben lassen und ich muss gestehen, dass das querkraft-Projekt in der ersten Schau, als wir mit der Jury noch nicht zusammengesessen hatten, nicht weit vornelag. Die Jury wurde von einem sehr erfahrenen Architekten, Prof. Gnaiger aus Linz, geführt, der die Unterlagen sehr gut studiert und uns dann zu den für uns zunächst verborgenen Schönheiten des querkraft-Konzeptes hingeführt hat: wie die Grundrisse zusammenstimmen, wie die Ausgewogenheit zwischen den Angestellten und den gewerblichen Mitarbeiter-Bereichen gegeben ist, wie die Wegeführungen sind, wie die Kommunikationsmöglichkeiten unterstützt werden, wie der Besucherpfad aussieht – wir wollten nämlich mit unserem Haus auch unsere Technologie zeigen. So gesehen, hat das Konzept von querkraft eine einzigartige Position gehabt.

Friedl: Es gibt Architekten, die das schöne Bild vor Augen haben. querkraft ist von der Funktion ausgegangen und hat sich überlegt, wie man dem Ganzen dann eine Form geben kann.

Dunkl: Vielleicht kommt unserem Büro zu Gute, dass wir alle drei Eigentümer von der Technischen Universität kommen. Ich persönlich wurde drei Mal an Kunstakademien abgelehnt. Wir denken sehr stark technisch, funktional, pragmatisch.

Das Haus ist zunächst eine Maschine, die dienen und funktionieren und Produktivität erhöhen muss. Dann erst kommt der Gestaltungsanspruch, der die Attraktivität des Nutzers erhöhen muss. Mit dem neuen HOERBIGER-Haus sollen die besten Köpfe gewonnen werden. Für jeden Absolventen, der

frisch von der Uni mit seinem Diplom kommt, spielt dieses Gebäude eine wichtige Rolle – und zwar nicht nur in der ersten Sekunde, sondern über Jahre hinweg.

Friedl: Das Haus ist kein querkraft-Denkmal, sondern eine Visitenkarte für das Unternehmen. HOERBIGER hat sich mit Hilfe des Moodboards mit seinen Werten und Zielsetzungen in Bezug auf das neue Haus auseinandergesetzt.

Wenn man heute durch das neue Haus geht, spürt man HOERBIGER. Für eine Bank würde das Haus anders aussehen.

Dunkl: Ja, es ist ein technisches Unternehmen und dies soll man hier spüren. Als die Diskussion aufkam, ob unter die auskragenden Teile Stützen gestellt werden sollten, weil diese günstiger als die großen Stahlauskrenzungen wären, die wir jetzt haben, hat Dr. Steinrück vehement protestiert.

Wir wollten auch ein dynamisches Gebäude haben, das diesen technischen Anspruch ausstrahlt. Hätten wir die Stahlauskrenzungen eliminiert, dann wäre das so wie wenn man einen tollen Motor drosseln würde. Es geht hier um gewisse Werte, die das Gebäude ausstrahlt.

Friedl: Ein Bauprojekt ist als Unternehmen auf Zeit zu verstehen. HOERBIGER hat das gleich verstanden und dementsprechend die Mitarbeiter eingesetzt und geführt.

Steinrück: Es war uns klar, dass dieses Projekt nur dann erfolgreich zu Ende gebracht werden kann, wenn wir eine Spitzenkraft zu 100 % in diesem Projekt einsetzen. So haben wir uns für Dr. Langer, der bei uns im Unternehmen für die Logistik zuständig war, entschieden und gesagt, wir hätten dich gerne im Projekt weil du der beste Mann dafür bist

und nicht weil wir auf dich sonst verzichten können. Diese Entscheidung hat sich wunderbar bewährt. Wir haben mit ihm auch eine Person ausgewählt, die sehr moderierend in ihrem Umgangston ist und deutlich unterschiedliche Interessen immer wieder auf einen Nenner bringen kann. Darüber hinaus hatten wir mit dem Generalunternehmer und seinem Team großes Glück, da sie menschlich und atmosphärisch sehr gut in unser Team hineingepasst haben. Ansonsten hätten wir die extrem harten Kostenforderungen nicht erfüllen können.

Fact Sheet

Geschäftsfeld: Gebäudeentwicklung
Branche: Produktion
Nutzung: Verwaltung,
Forschung & Entwicklung, Produktion

Kompetenzfelder M.O.O.CON:
Organisationsberatung, Prozessmanagement,
Lebenszyklusmanagement, Facility Management

Projekt: HOERBIGER, WIENeu
Bauzeit: 06.10.2014 – 18.04.2016
Bruttogeschoßfläche: 24.000 m²
Arbeitsplätze:
rund 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Projektpartner:
- Bauherrenberatung und Projektsteuerung:
M.O.O.CON GmbH
- Generalplaner:
querkraft architekten ZT GmbH
- Hochbau: Granit Bauunternehmung GmbH
- Haustechnik: Caverion Österreich GmbH
- Elektrotechnik:
ELA Elektro Anlagenbau GmbH

*Additive Fertigung im Bauwesen:
Stand der Technik und eigene Arbeiten*

KLAUDIUS HENKE, 179
Technische Universität München

*Integration von Fabrikplanung und –betrieb
in Building Information Modeling (BIM)*

PEGGY NÄSER, 193
Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg
(BTU)

Concrete Choreography

ANA ANTON, 203
ANGELA YOO,
ETH Zürich

Additive Fertigung im Bauwesen: Stand der Technik und eigene Arbeiten



Traditionell werden Bauteile aus Beton gegossen. Die dafür notwendige Verschalung begrenzt jedoch die Gestaltungsmöglichkeiten. Neue Freiheiten in der Formgebung ermöglicht der 3D-Druck. Forscherinnen und Forscher an der Technischen Universität München (TUM) experimentieren mit verschiedenen Verfahren, unter anderem dem sogenannten selektiven Binden. Mit dieser Technik ist es jetzt erstmals gelungen, filigrane, bionische Strukturen aus echtem Beton zu drucken.

Passgenaue Implantate, gewichtsoptimierte Flugzeug- und Autobauteile – in vielen Industriezweigen wird der 3D-Druck heute bereits routinemäßig eingesetzt. Höchste Zeit, dass auch die Architektur davon profitiert, meint Dr. Klaudius Henke vom Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TUM: „Die additive Fertigung wäre für das Bauwesen extrem attraktiv: Sie erlaubt eine große Formenvielfalt – und auch bei kleinen Stückzahlen – hohe Wirtschaftlichkeit.“

Klaudius Henke, geboren 1957 in Dortmund, studierte Architektur an der Universität Stuttgart, der Architectural Association School of Architecture in London (AA) und an der Hochschule der Künste in Berlin (HdK/UdK). Anschließend absolvierte er das Arbeits- und Wirtschaftswissenschaftliche Aufbaustudium an der Technischen Universität München und arbeitete freiberuflich als Architekt.

Klaudius Henke ist seit 2002 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion an der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt der Technischen Universität München. Seit 2010 forscht er auf dem Gebiet der additiven Fertigung im Bauwesen und promovierte 2016 mit dem Thema ‚Additive Baufertigung durch Extrusion von Holzleichtbeton‘.



Additive Fertigung

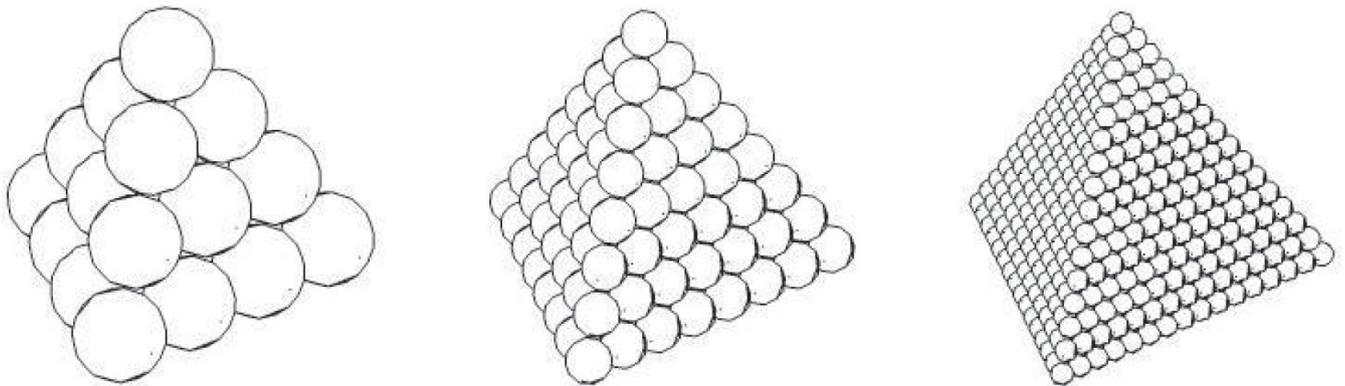


Abb. 1: Prinzip der additiven Fertigung

Additive Schichtbauverfahren

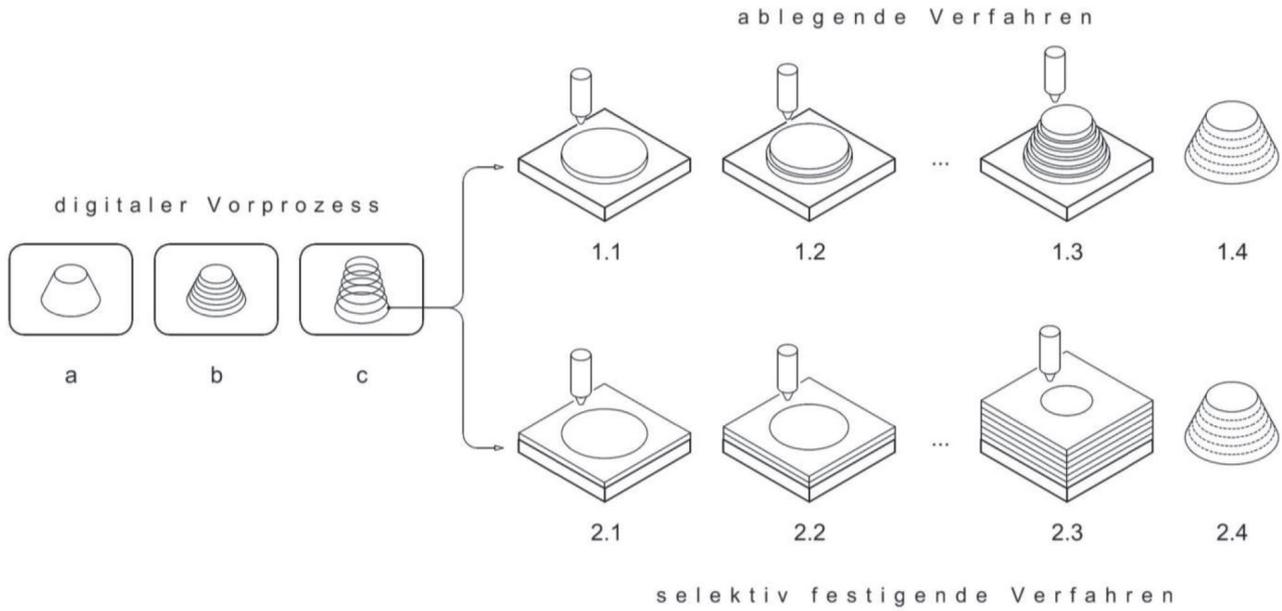


Abb. 2: Additive Schichtbauverfahren

Additive Fertigung im Bauwesen

Besonderheiten der additiven Fertigung:

- direkte, maschinelle Fertigung auf der Grundlage eines digitalen Modells
- „werkzeuglos“ durch Fügen kleiner Volumina
- Aufwand weitgehend unabhängig von der Stückzahl



Abb. 3: Additive Fertigung im Bauwesen - Aktivitäten April 2017

**Additive Fertigung im Bauwesen -
Materialien und Verfahren**

	Holz	Lehm, Keramik	Naturstein, Kunststeine	Metall	Glas	Beton	Kunststoffe	neue Materialien
Stereolithography (SLA)								
Selective Laser Sintering/Melting (SLS/SLM)				●				
Selective Binding (3DP)	●					●		●
Fused Deposition Modelling (FDM)				●	●		●	●
Fluid Deposition	●	●				●		●
Solid Deposition	●		●				●	

Abb. 4: Additive Fertigung im Bauwesen -
Materialien und Verfahren

3D-Betondruck an der TUM

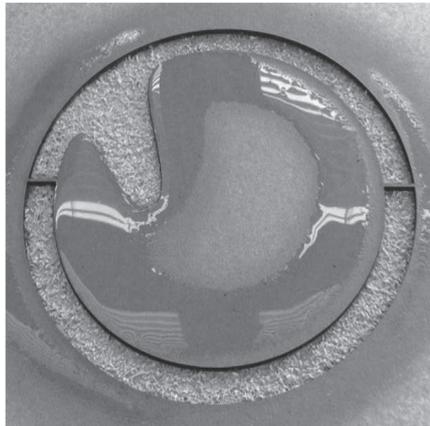


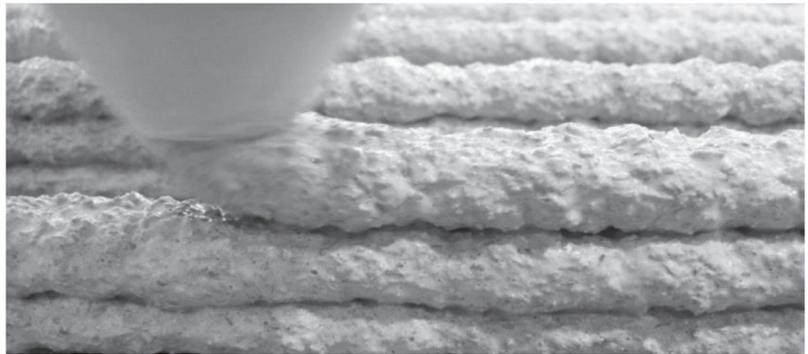
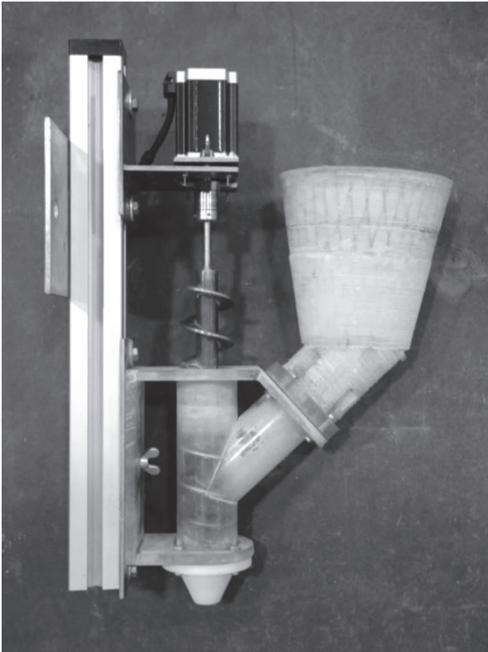
Foto: S. Medele



Foto: R. Rosin, HFM

Abb. 5: Selektives Binden von Holzspänen mit Zement
(Selective Activation)

Extrusion von Holzleichtbeton



D. Talke

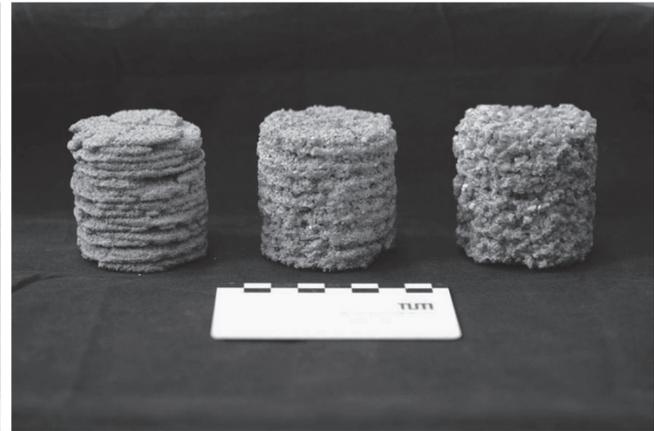
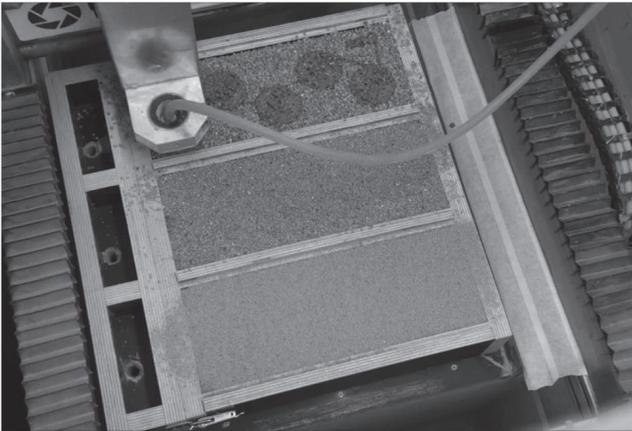
Abb. 6: Extrusion von Holzleichtbeton -
Modularer Versuchsextruder und Extrusionsvorgang

Extrusion von Holzleichtbeton



Abb. 7: Additive Fertigung eines multifunktionalen Wandelementes durch Extrusion von Holzleichtbeton

Selektives Binden von Gesteinskörnung mit Zement (Paste Intrusion)



Weger, Lowke & Gehlen, cbm

Abb. 8: Paste Intrusion - Herstellung von Prüfkörpern mit Gesteinskörnungen von unterschiedlicher Korngröße

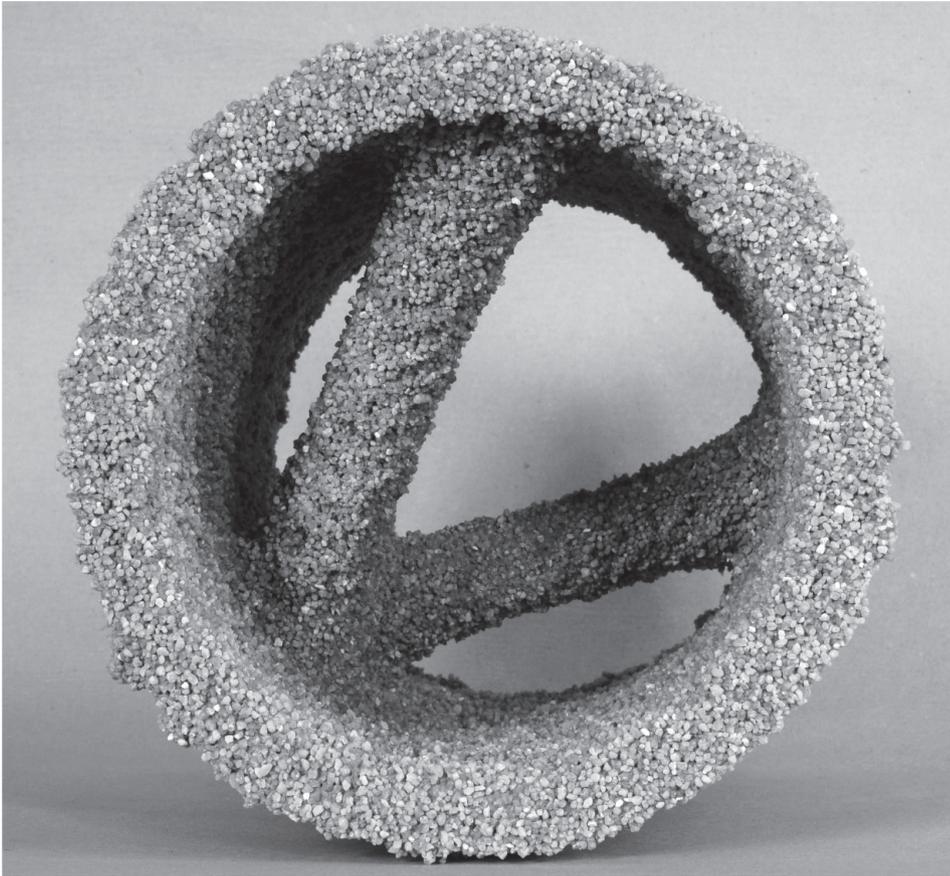
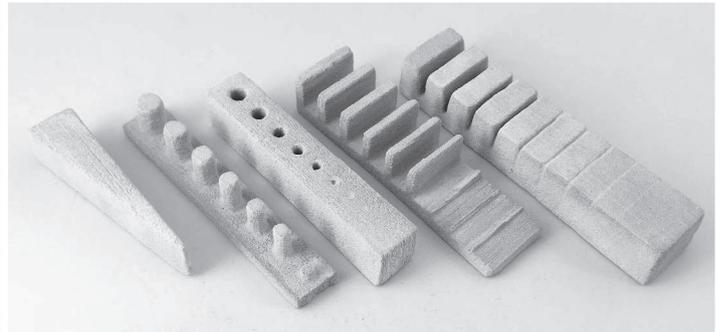
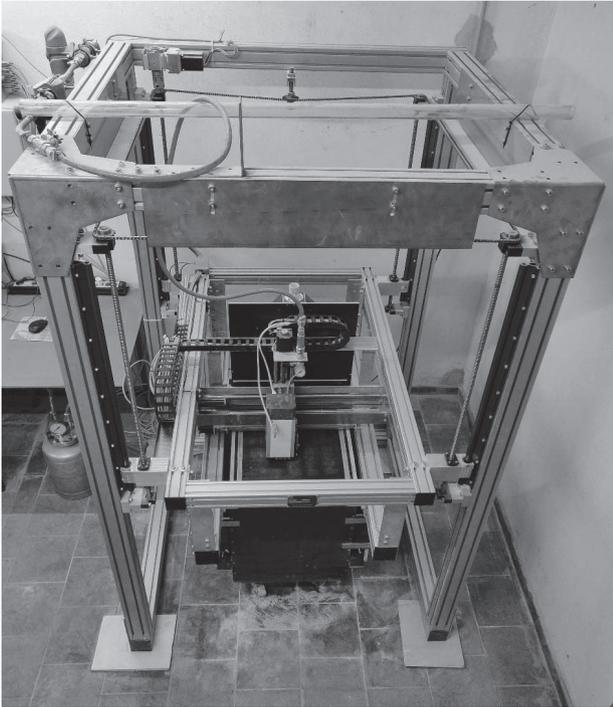


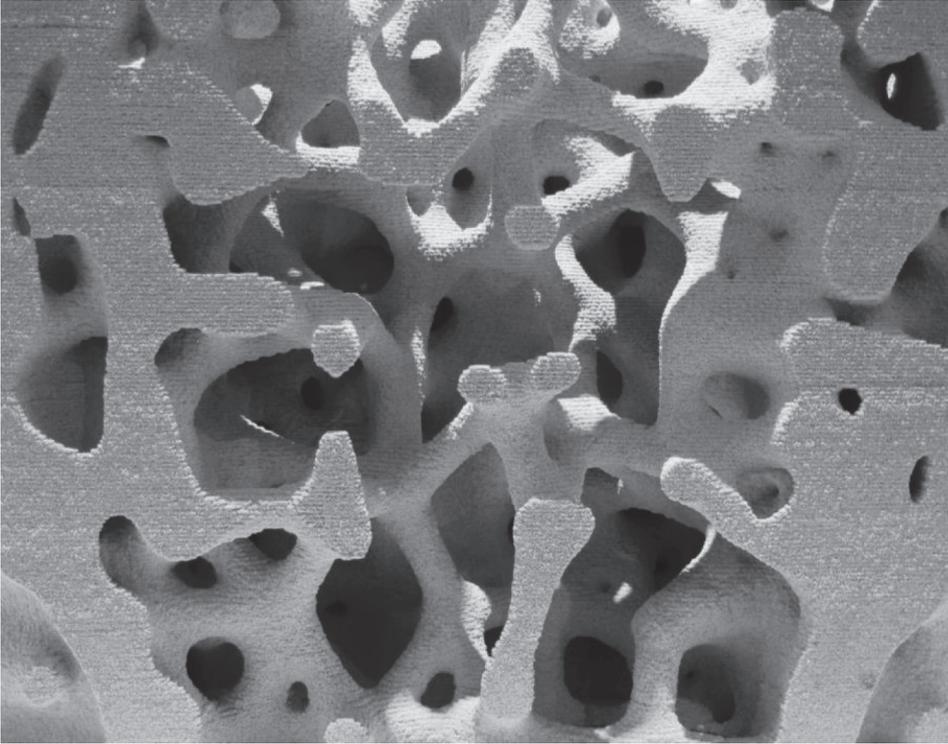
Abb. 9: Paste Intrusion - Demonstrator Rohr mit inneren Verstreubungen

Selektives Binden von Gesteinskörnung mit Zement (Selective Activation)



D. Talke

Abb. 10: Selective Activation - Versuchsgerät und Prüfkörper zur Bestimmung der geometrischen Auflösung



Design: O. Tessin, 3D-Druck: K. Wohlgemuth

Abb. 11: Selective Activation - Demonstrator mit innerer Zellstruktur

Integration von Fabrikplanung und -betrieb in Building Information Modeling (BIM)



Die Planung und der Betrieb von Fabriken unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht z.B. von der Planung und dem Betrieb von Wohnungen oder öffentlichen Gebäuden. So setzt eine erfolgreiche Fabrikplanung ein enges Zusammenspiel von Gebäude, Technischer Gebäudeausrüstung und Produktionstechnik sowie logistischer Systemtechnik voraus. Andererseits existieren zahlreiche Gemeinsamkeiten zur Planung anderer Gebäudetypen. So fokussiert auch der BIM-Ansatz auf Planung und Betrieb von Gebäuden. Die Integration von Fabrikplanung und BIM soll die heute noch bestehende Trennung dieser Ansätze überwinden und die Vorteile der beiden Konzepte miteinander vereinen. Der Beitrag vermittelt den derzeitigen Forschungsstand und zeigt methodische Ansätze auf.

Peggy Näser hatte von 2009 bis 2013 verschiedene Lehraufträge, unter anderem an der FH Jena und der WHZ Zwickau, inne, bevor sie 2015 die Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik der Brandenburgische Technische Universität Cottbus übernommen hat. Seit 2009 ist sie Geschäftsführerin der Firma „fabrik-ID GmbH“.



Fabrikplanung und BIM – Zusammenhänge und Potenziale

Fabrikplanung ist der „systematische, zielorientierte, in aufeinander aufbauende Phasen strukturierte und unter Zuhilfenahme von Methoden und Werkzeugen durchgeführte Prozess zur Planung einer Fabrik von der Zielfestlegung bis zum Hochlauf der Produktion.“ [VDI 5200, Bl. 1, 2009] Hierbei wird zwischen 4 Planungsfällen unterschieden, von denen im Beitrag jedoch lediglich die „Neuplanung“ und die „Umplanung“ betrachtet werden. Grundsätzlich bedeuten die beiden Planungsfälle:

- „Eine Neuplanung ist die Planung einer Fabrik auf der „grünen Wiese“. Dabei sind als bauliche Restriktionen das Gelände und die vorhandene Infrastruktur, nicht aber eine gegebenenfalls vorhandene Bausubstanz zu berücksichtigen.
- Eine Umplanung betrifft eine bestehende Fabrik. Dabei sind die vorhandenen Produktionsfaktoren sowie die Restriktionen des laufenden Fabrikbetriebs zu berücksichtigen.“ [VDI 5200, Bl. 1, 2009]

Das Besondere der Fabrikplanung ist demnach:

- die Komplexität durch sehr enge Zusammenhänge zwischen dem Fabrikgebäude sowie den in dem Gebäude befindlichen Einrichtungen (z.B. Maschinen, Anlagen, Transportsysteme, Lager, usw.)
- eine enge Kooperation unterschiedlicher Planer aus unterschiedlichen Fachgebieten (Fabrikplaner, Arbeitsvorbereiter, Logistiker, Architekten, usw.)
- die zeitliche Einordnung der Fabrikplanung vor der eigentlichen Gebäudeplanung (Die Anforderungen an das Gebäude werden aus der Fabrikplanung abgeleitet.)
- die Fabrikplanung und der Fabrikbetrieb folgen aufeinander und sind in ihrer Einheit ein iterativer Prozess. Das bedeutet, dass die Fabrik während der Betriebsphase immer wieder überplant und dabei auf Informationen aus der Betriebsphase zurück gegriffen wird.
- die Fabrikplanung, insbesondere die Detailplanung, findet weitestgehend in 3D statt und wird als Ergebnis im 3D-Layout dargestellt. Außerdem entstehen weitere Unterlagen (z.B. Raumbücher, Ausrüstungslisten, usw.), die zahlreiche weitere Informationen zur Fabrik und deren Einrichtung enthalten. Dem gegenüber steht die Definition des Building Information modeling (Abbildung 1).



Abb. 1: Building Information Modeling [André Borrmann; Markus König; Christian Koch; Jakob Beetz Hrsg.: Building Information Modeling - Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden 2015]

Building Information Modeling (BIM) beschreibt eine Methode, in der alle bei Entwurf, Errichtung und Betrieb von Immobilien entstehenden Daten in einem sogenannten Building Information Model (ebenfalls mit BIM abgekürzt) zusammengeführt werden, das von den Beteiligten gemeinsam lebenszyklusübergreifend gepflegt und genutzt wird. Building Information Modeling beruht auf der durchgängigen Nutzung und verlustfreien Weitergabe eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus.

Bei Betrachtung der Definitionen sowie bei Auswertung weiterer existierender Quellen wird klar, dass der aktuelle BIM-Ansatz sich im Wesentlichen auf das Gebäude konzentriert. Die Einbeziehung von Produktionsmitteln oder logistischer Systemtechnik in den BIM-Ansatz ist nicht vorgesehen. Auf Grund der bereits genannten starken Verbindung zwischen Gebäude und Technik und der weiteren genannten Besonderheiten wird das jedoch bei der Fabrikplanung als zwingend notwendig angesehen.

Allerdings fehlen dazu die methodischen Vorgehensweisen ebenso wie die praktische Umsetzung. Nachfolgend werden daher Ansätze zur Integration der Fabrikplanung in den BIM-Ansatz aufgezeigt.

Anforderungen an BIM-gerechte Informationen

Die Definition eines integrierten Prozesses macht es erforderlich, entlang des gesamten Lebenszyklus der Fabrik die Informationen entlang des Planungs- und Betriebsprozesses zu definieren, die für die Integration in das BIM-Konzept erforderlich sind. Die Basis dafür stellt die in Abbildung 2 abgebildete Übersicht dar.

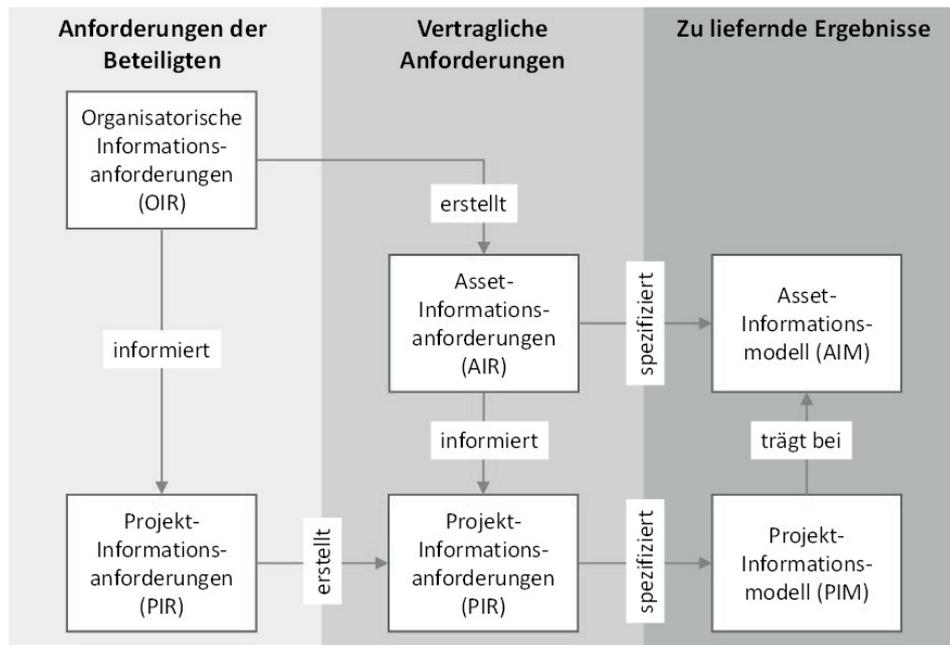


Abb. 2: Hierarchie der Informationsanforderungen [DIN EN ISO 19650-1]

Die Integration von Fabrikplanung und BIM setzt eine genaue, informationsspezifische Betrachtung der Planungsfälle der Fabrik voraus.

„Informationsmodelle für Assets und Projekte sind strukturierte Daten- und Informationsarchive für alle Informationen, die für die Entscheidungsfindung während des gesamten Lebenszyklus eines Asset der gebauten Umwelt erforderlich sind. Es sollte damit gerechnet werden, dass die Menge der in den Informationsmodellen gespeicherten Informationen sowie die unterschiedlichen Einsatzzwecke, für welche diese verwendet werden, üblicherweise im Lauf des Asset Management und der Projektlieferung zunehmen.“ [DIN EN ISO 19650-1:2017-04] Bezogen auf eine Integration von Fabrik und BIM bedeutet das, dass entlang des gesamten Lebenszyklus der Fabrik zu klären ist,

- in welchem Planungsfall
- welche Daten,
- in welcher Art und Qualität,
- wann und
- durch wen

zu erzeugen bzw. zu liefern sind. Aus diesen Informationen sind strukturierte Informationsmodelle sowohl für die Fabrik als auch für das Projekt abzuleiten. Zwischen diesen beiden Informationsmodellen existieren enge, bidirektionale Beziehungen. Gleichzeitig regeln die Informationsmodelle die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Beteiligten der Fabrikplanung und des Fabrikbetriebes.

... entlang des Lebenszyklus

Entlang des Lebenszyklus der Fabrik kann zwischen unterschiedlichen Status unterschieden werden. Nach Abschluss der Planungsphase existiert ein Modell der Fabrik, welches den Planungsstand widerspiegelt und als „as planned“ bezeichnet wird. Dieses Modell unterscheidet sich in der Regel vom Zustand nach der Umsetzung. Daher ist es

zwingend erforderlich, ein Modell zu erstellen, welches den realisierten Zustand wiedergibt, ein sogenanntes „as built“ –Modell. In beiden Modellen sind zwar gleiche Informationen, jedoch mit unterschiedlichen Ausprägungen vorhanden. Außerdem werden diese Modelle durch unterschiedliche Personengruppen erstellt. Eine genaue Definition der Anforderungen an diese Modelle ist daher unabdingbar.

... in der Fabrikplanung

Die Integration von Fabrikplanung und BIM setzt eine genaue, informationsspezifische Betrachtung der Planungsfälle der Fabrik voraus. Daraus abgeleitet werden in diesem Zusammenhang 3 Planungsszenarien definiert:

- vollständige Neuplanung: Integration neuer Arbeitsplätze in ein neues Fabrikgebäude,
- kombinierter Planungsfall: Integration bestehender Arbeitsplätze in ein neues Fabrikgebäude,
- Umplanung: Umplanung bestehender Arbeitsplätze in einem bestehenden Fabrikgebäude.

In Abbildung 3 werden beispielhaft für den Planungsfall der Umplanung Informationen und deren Lieferzeitpunkte aufgezeigt.

... im Fabrikbetrieb

Die Daten aus der Fabrikplanung sind in den Fabrikbetrieb zu übernehmen. Ebenso sollten Daten aus dem Fabrikbetrieb für die Umplanung einer Fabrik zur Verfügung stehen. Dies setzt voraus:

- Es existieren Schnittstellen zwischen den heutigen Planungssystemen und den Systemen zum Betrieb der Fabrik (z.B. ERP-, CAFM- oder Instandhaltungsmanagementsysteme),

um Daten aus der Planung für den Betrieb zur Verfügung zu stellen. Dazu gehört z.B. die Übernahme von Informationen zu Maschinen und Anlagendaten sowie logistischen Einrichtungen.

- Betriebsdaten liegen in ausreichendem Umfang und in ausreichender Qualität vor, um sie für eine Umplanung der Fabrik nutzen zu können.
- Die vorliegenden Informationen zur Fabrik (z.B. die Layoutdaten) werden immer aktualisiert. Es liegen zu jedem Zeitpunkt aktuelle Informationen über den umgesetzten Zustand vor.

Heute fehlen die entsprechenden Schnittstellen. Die IFC-Schnittstellen sind nicht ausreichend, um individuelle Eigenschaften zu einzelnen BIM-Objekten zu übertragen. Außerdem sind Bestandsdaten häufig nicht aktualisiert. 3D-Modelle im Status „as built“ existieren demnach nicht.

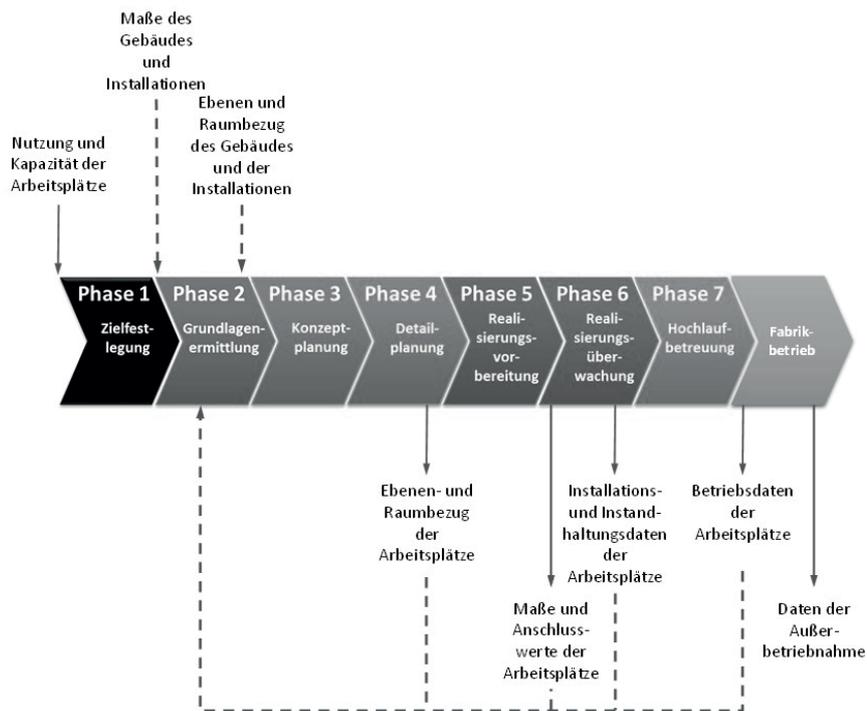


Abb. 3: Informationen in Fabrikplanung und Fabrikbetrieb (Beispiele) im Falle einer Umplanung

Es existiert heute kein durchgängiger digitaler Planungsprozess von einer Grundlagenermittlung bis zur Detailplanung.

Standardisierung als Lösungsansatz

Standardisiertes Asset-Register (Ausrüstungsliste)

„Ein Register von Assets sollte bereitgestellt werden, um eine genaue Auditierung und das Berichtswesen zu unterstützen; dieses sollte sowohl räumliche als auch physikalische Assets und deren Gruppierungen umfassen.“

[DIN EN ISO 19650-1:2017-04]

Zu diesem Zweck wurde eine standardisierte Ausrüstungsliste entworfen. Diese dient einerseits zur standardisierten Informationserfassung und -verwaltung. Gleichzeitig dient die standardisierte Ausrüstungsliste zur Koordination der Kommunikation zwischen verschiedenen Planungsbeteiligten. Im Fall der Umplanung sowie dem kombinierten Planungsfall könnte dies die Kommunikation zwischen dem Betreiber der Fabrik sowie dem Fabrikplaner sein.

Standardisierte, generische BIM-Objekte

Einen weiteren Lösungsansatz stellen generische BIM-Objekte dar. Hierzu werden unterschiedliche Anlagentypen mit unterschiedlichen Eigenschaften definiert.

Generische BIM-Objekte sind herstellernerutral. Das bedeutet, dass für eine integrierte Planung ebenfalls herstellernerneutrale 3D-Modelle verwendet werden. Dieser Ansatz entspricht dem Vorgehen in frühen Planungsphasen der Fabrikplanung. Bevor konkrete, herstellereinspezifische umsetzungsreife Pläne erarbeitet werden, werden Strukturkonzepte und Layouts auf der Basis von herstellernerneutralen Modellen umgesetzt.

Standardisierter Planungsprozess

Es existiert heute kein durchgängiger digitaler Planungsprozess von einer Grundlagenermittlung bis zur Detailplanung. Häufig fehlen ausreichend Schnittstellen, um alle Planungsinformationen zwischen verschiedenen Planungssystemen übernehmen zu können.

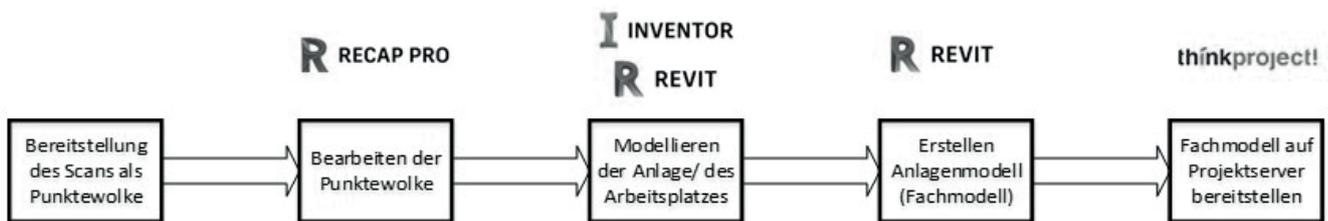


Abb. 4: Integrierter Planungsprozess

Die IFC-Schnittstellen sind nicht ausreichend entwickelt, um individuelle Informationen zu einzelnen BIM-Objekten im Ausrüstungsbe- reich übernehmen.

Ein wirklicher integrierter Planungsprozess lässt sich demnach noch nicht umsetzen. Daher wurde ein Planungsprozess definiert, der dem BIM-Ansatz weitestgehend nahe kommt (Abbildung 4).

Ausblick, weiterer Handlungsbedarf

Entsprechend der dargestellten Informatio- nen besteht weiterer Handlungsbedarf, um eine Integration der Fabrikplanung in den BIM-Ansatz umsetzen zu können. Dazu ge- hören unter anderem folgende Handlungs- felder:

- Die weitere Konkretisierung eines integ- rierten Prozesses für Fabrikplanung und BIM.
- Die Weiterentwicklung von Schnittstellen zwischen einzelnen Planungssystemen sowie die Weiterentwicklung der IFC-Schnittstelle.
- Die Weiterentwicklung methodischer Grundlagen zur Integration ist eine grundle- gende Herausforderung.
- Bereits bestehende Ansätze müssen in- tensiven Praxistests unterzogen werden.

Arch. **Ana Anton**
Arch. **Angela Yoo**

ETH Zürich
Institute of Technology in Architecture
Digital Building Technologies

Concrete Choreography



Concrete is a versatile and sustainable material **but its** potential for complex shapes is limited by the necessary formwork. **Concrete 3D printing** can enable the fabrication of bespoke, highly efficient concrete components **that** only use a fraction of the amount of material used conventionally.

Ana Anton is a PhD Candidate in the chair for Digital Building Technologies, ETH Zurich and associated to the National Centre for Competence in Research – Digital Fabrication, where she leads the research in concrete 3D printing. She received her architectural degree, cum laude, in the TU Delft, in 2014. Her current thesis, Tectonics of Concrete Printed Architecture, focuses on robotic concrete extrusion processes for large-scale building components.



Angela Yoo is currently a Research Assistant at the chair of Digital Building Technologies, ETH Zurich. Upon graduating with a Master of Architecture from the University of Auckland in 2014, Angela gained professional experience at Monk Mackenzie Architects based in New Zealand. Upon moving to Switzerland in 2017, she graduated from the MAS in Architecture and Digital Fabrication at ETH Zurich and has since been involved in the research and teaching activities of Digital Building Technologies, the chair of Prof. Benjamin Dillenburger. Her recent projects have focused on design for robotically 3D printed concrete and 3D printed formwork for functional building components in architecture.



Architecture and building industry are at a turning point. Augmented with robots and 3D printers, building processes which have undergone little change in past decades are now evolving to address urgent challenges in construction – that of offering sustainable, materially-efficient and cost-effective solutions. Robotic fabrication in the case of concrete 3D printing enables the ability to place concrete in layers exactly where needed - offering a drastic reduction of building material used and the complete elimination of waste formwork.

It also entails the ability to craft free-form spaces of unique character at no extra cost. With such advantages offered by this innovative fabrication process, a new expression for concrete exemplary of concrete 3D printing is needed from architects.

A new expression for concrete exemplary of concrete 3D printing is needed from architects.



Fig. 1: Concrete Choreography: Nine concrete 3D-printed columns. Photo: Benjamin Hofer

The project *Concrete Choreography* is a constellation of concrete 3D-printed columns, bridging the arts and sciences to showcase this technology in a tangible way – not just in the demonstration of its economic and environmental benefits, but in the expression of its unique architectural quality. Columns, as vertical elements of architecture, have evolved throughout history with notable care in regards to their proportion, order and ornament. Enabled by advances in digital technologies, *Concrete Choreography* investigates what columns in a contemporary building context could mean for architecture.



Fig. 2: Concrete Choreography in Riom, Switzerland for The Origen Festival of Culture. Photo: Benjamin Hofer

Concrete 3D Printing

The Concrete 3D Printing process at ETH Zurich was developed as an interdisciplinary collaboration between the chairs of Digital Building Technologies and Physical Chemistry of Building Materials. A fast hardening mortar is deposited by a custom printing tool mounted on an industrial robot hanging from a three-axis gantry. The specially developed material formulation and the Robotic Fabrication Laboratory of ETH Zurich allows for columns to be fabricated at full height. Amongst other additive manufacturing technologies, the

fast speed of concrete 3D printing makes it particularly suited to large-scale application in architecture, with each column able to be printed in a continuous process taking less than two and a half hours. To minimise material and print-time, each column was printed as a hollow double shell, with minimal print paths in between for structural internal bracing. The inner shell was kept as rational as possible in order to house a cavity for traditional reinforcement whereas the outer shell was highly-differentiated to demonstrate the versatility and aesthetic potential of concrete 3D printing.

The specially developed material formulation and the Robotic Fabrication Laboratory of ETH Zurich allows for columns to be fabricated at full height.

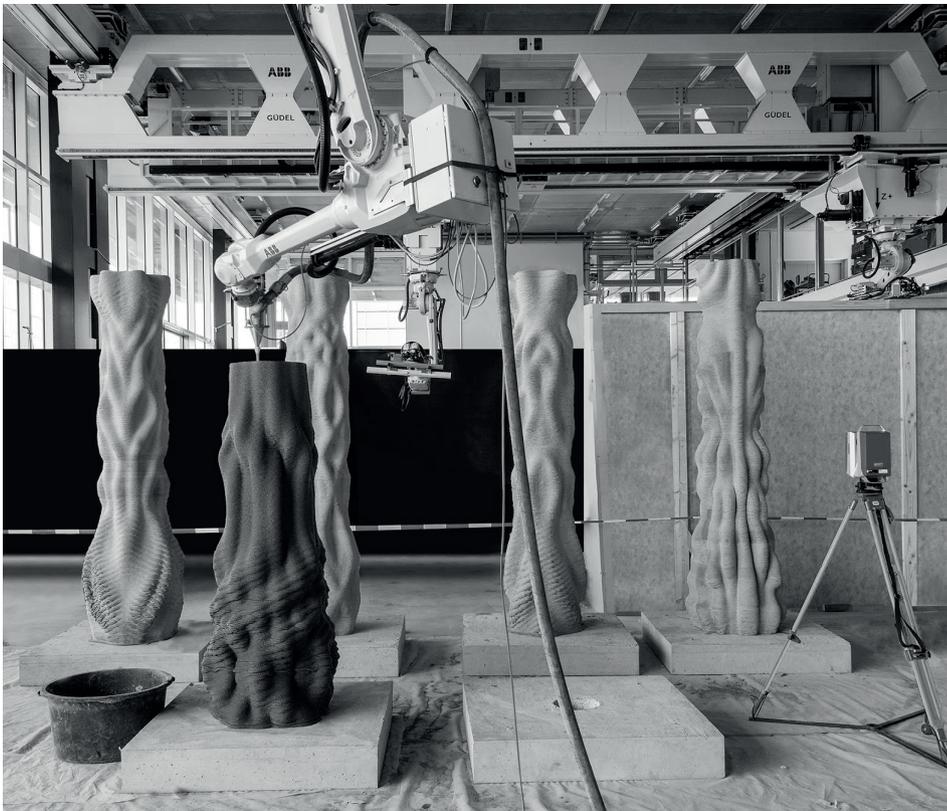


Fig. 3: Fabrication in the Robotic Fabrication Laboratory of ETH Zurich. Photo: Axel Crettenand

New Design Approaches

Exploring a new expression of concrete using this novel fabrication method entails a rethinking of design processes – in Concrete Choreography, this meant the creation of custom computational tools that aid in the exploration of geometric freedom at the limit of material and processing constraints. For example, an understanding of limits such as the angle and size of overhangs were included to indicate print feasibility, informing an iterative process of design.

Print stability can of course be achieved with less-ambitious geometries, but strategies such as the design of self-stabilising shapes

and intersecting print paths, proved to be at once beneficial for fabrication and for extending the geometric freedom of the columns. Concrete 3D printing is based on the direct organisation of material along a print-path – a level of precision in concrete forming that allows the production of material ornament, a feature of the columns exploring the role of the visible traces of concrete. Print paths were designed to slightly deviate from previous layers, utilising the natural fluid behaviour of concrete to form a level of detail approaching texture. Being unique to concrete 3D printing, the resulting computationally-designed material ornament and surface texture exemplify a significantly different aesthetic to that of cast concrete.

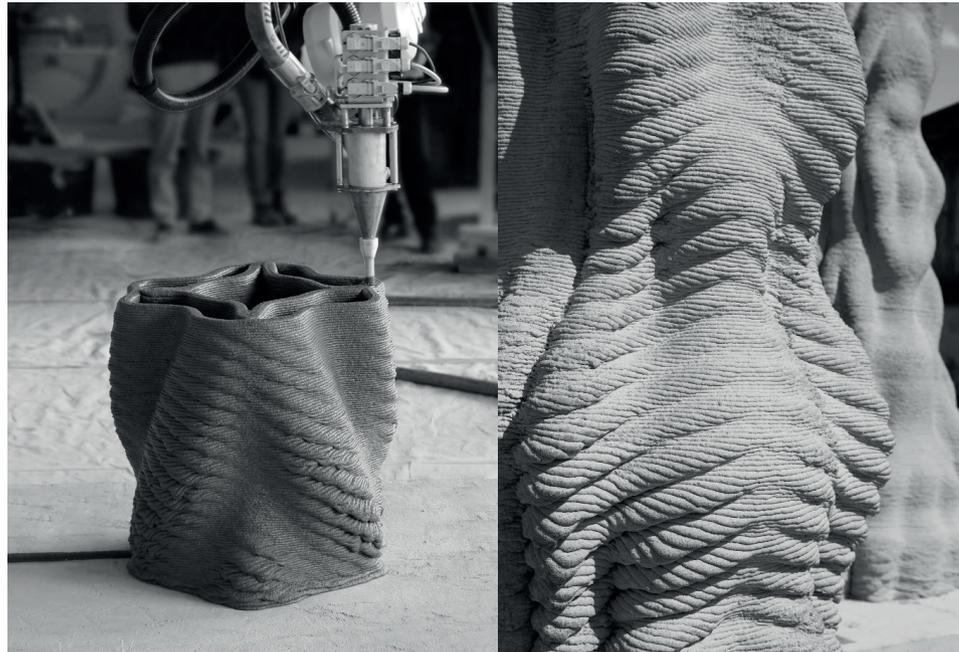


Fig. 4:
Left: Printing process of material ornament.
Photo: Keerthana Udaykumar
Right: Behaviour of concrete self-forming along the
print-path into a unique surface texture.
Photo: Sofia Michopoulou

Technology and Art

Concrete Choreography was designed by students of the Master of Advanced Studies in Architecture and Digital Fabrication at ETH Zurich over a period of ten weeks from design to full installation. A constellation of nine, individually designed 2.7m tall columns were arranged on-site in Riom, Switzerland as part of the annual Origen Festival of Culture, a significant cultural arts event inviting world-class performers to the remote region of Grisons. Set against the impressive backdrop of the Alps, the columns served as a unique outdoor set and stage – a stone forest - throughout the summer season of the Ex Horto Eden dance performance, choreographed by Beate Vollack and featuring dancers Christoph Schaller, Lucie Horna and Stefanie Fischer.

As much as the production of the columns was motivated by exploring novel approaches, the performance also took on an unconventional format, with dancers climbing and interacting with the columns, imbuing them with more than just a passive role.



Fig. 5: Columns transported and lifted on-site in Riom, Switzerland. Photo: Benjamin Hofer



Fig. 6: Columns assembled on site. Photo: Benjamin Hofer

The unique intersection of innovative fabrication technologies and the performing arts allowed Concrete Choreography to showcase how emerging digital building technologies can already be utilised to unique and spectacular spatial effect. Moreover, it brought technology and novel aesthetics closer to the general public, taking fabrication research out of the lab and into a cultural arena accessible to a larger audience. The installation makes tangible the fact that new methods of shaping concrete deserve an entirely new approach to design thinking. Contrary to unimaginative, direct applications to established building practices, significant economic, environmental and expressive benefits are to be gained from researching digital methods of working with concrete.

In this way, architects can give new life to an age-old material, imagining new kinds of spaces fit for progressing a contemporary building culture.



Fig. 7: 'Ex Horto Eden' with dancers Christoph Schaller, Lucie Horna and Stefanie Fischer; a choreography by Beate Vollack. Photo: Bowie Verschuuren

Project Credits

Concrete 3D Printing Research:

Ana Anton, Prof. Benjamin Dillenburger (Digital Building Technologies, ETH Zurich)

Lex Reiter, Timothy Wangler, Prof. Robert J. Flatt (Physical Chemistry of Building Materials, ETH Zurich)

Tutors: Ana Anton, Patrick Bedarf, Angela Yoo, Timothy Wangler

Students: MAS DFAB 2018-2019, ETH Zurich

Origen Foundation: Giovanni Netzer, Irene Gazzillo, Guido Luzio, Flavia Kistler

Technical Support: Michael Lyrenmann, Philippe Fleischmann, Andreas Reusser, Heinz Richner

This research was supported by the NCCR Digital Fabrication, funded by the Swiss National Science Foundation (NCCR Digital Fabrication Agreement #51NF40-141853).



Innovation in Construction

Module im Wohnungsbau

CHRISTIAN KERN, TU Wien

215

*Innovation in Industrialized Construction:
Emerging business models and technical
approaches from Silicon Valley*

DANIEL HALL, ETH Zürich

239



Module im Wohnungsbau



Das kooperative Arbeiten – von der industriellen Fertigung bis zur Montage – setzt voraus, dass alle Daten miteinander kompatibel sind. Daraus ergeben sich ganz neue Möglichkeiten für das Planen und Bauen der Zukunft.

Mit einem Kurzüberblick zur Architektur konventionell geplanter und gebauter Objekte wie auch zur Gestaltung und dem Denken in Systemen beschäftigt sich dieser Beitrag eingehend mit dem Haus als Produkt und den Vor- und Nachteilen im Wohnungsbau und beleuchtet an Hand von Beispielen die Nachverdichtung, die klassische Produktion im Vergleich zu Lean Production wie auch die Schnittstelle Modul - Ortbeton.

Christian Kern studierte Architektur an der Curtin University Perth, Westaustralien und der Universität Stuttgart. Er hat ein Diplom in Architektur und ist zugelassener Architekt bei der Bayerischen Architektenkammer. Von 1999 bis 2004 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bauphysik und Produktentwicklung der Technischen Universität München. Christian Kern gründete BLAUWERK Architects 2001 zusammen mit Michael Schneider in München. BLAUWERK hat mit seinen Entwürfen und Wettbewerbsbeiträgen im Laufe der Jahre mehrere Preise gewonnen, unter anderem den „German Design Award 2018“. Christian Kern ist seit 2007 gemeinsam mit Tom Repper Geschäftsführer der BLAUWERK Architekten GmbH. Seit 2006 ist er Vorstandsmitglied von „European Germany“ und seit 2015 Mitglied des „BDA, Bund Deutscher Architekten“. Er hat eine Professur an der Technischen Universität in Wien inne. Seine Arbeit am Institut für Kunst und Design ist eng mit der akademischen Forschung in Formfindungstechnologien verbunden. Darüber hinaus ist er Gründungsmitglied des interdisziplinären „Zentrums für Geometrie und Computational Design“ der TU Wien.



Architektur

Konventionell geplante und gebaute Objekte



Abb. 1: BLAUWERK Architekten, St.Johannis Nürnberg



Abb. 2: BLAUWERK Architekten ZOB Eichstätt

Gestaltung

Denken in Systemen, Parkettierung



Abb. 3: Studierendenarbeiten aus dem Wintersemester 2017 aus der Lehrveranstaltung Dreidimensionales Gestalten, Fakultät für Architektur und Raumplanung, TU Wien.
Links: Keil Alexander, Mitte: Sceanovic Filip
Rechts: Krstic Marija

Architektur

Module im Wohnungsbau



Abb. 4: Habitat 67 Montreal, Moshe Safdie

Architektur

Module im Wohnungsbau

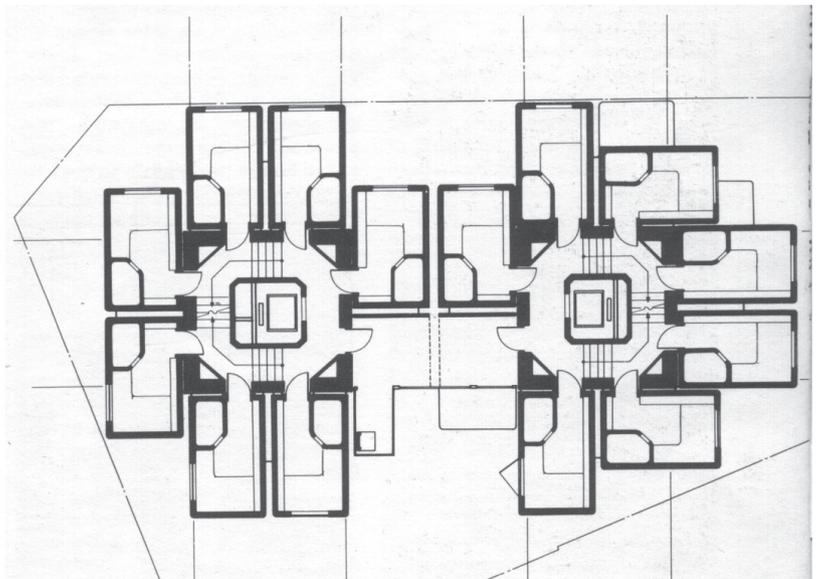


Abb. 5: Nakagin Capsule Tower 1972, Kurokawa Kisho

Architektur

Das Haus als Produkt

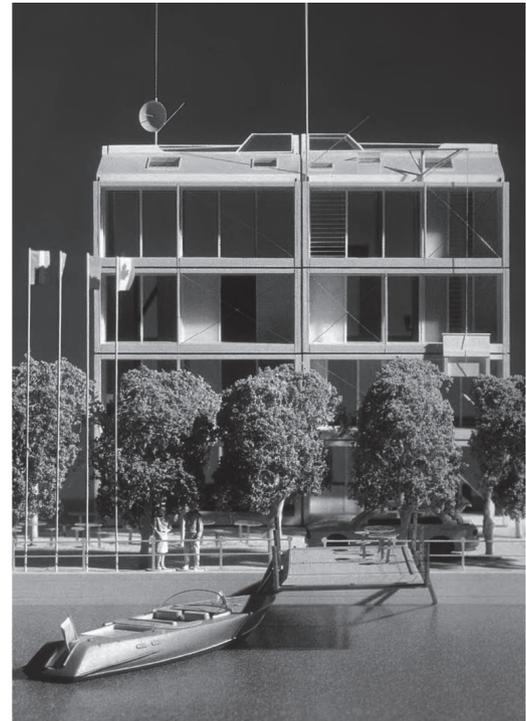
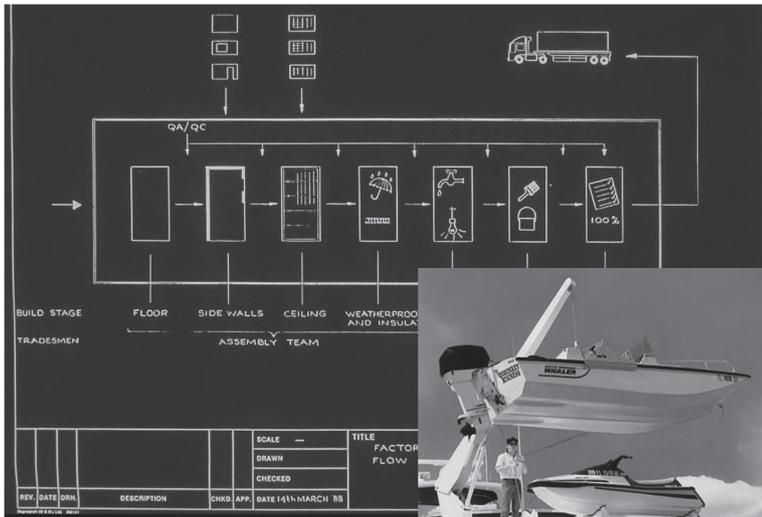


Abb. 6: Skydeck House 1998, Richard Horden



Abb. 7: Ofra House, TU München

Architektur

Das Haus als Produkt

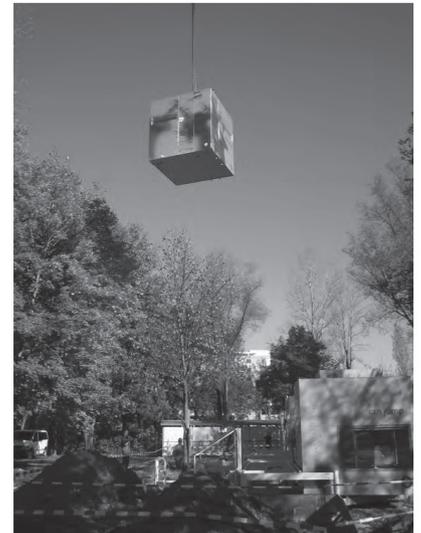


Abb. 8: MCH Munich Compact Home,
Richard Horden, TU München

Architektur

Raumzellen

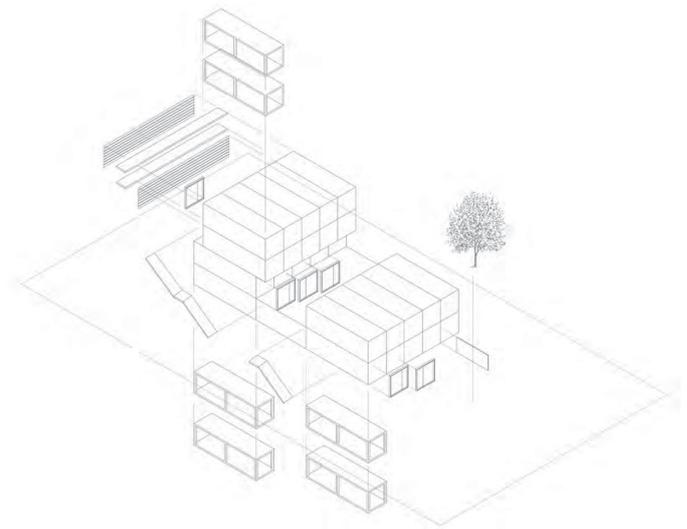
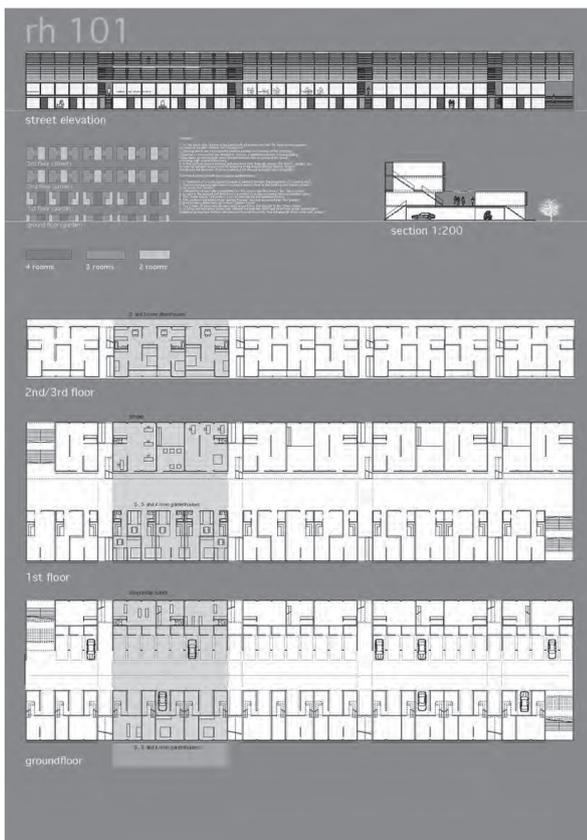


Abb. 9: prefab_ulous,
BLAUWERK Architekten, 2001

Raumzellen

Vor- und Nachteile im Wohnungsbau

Vorteile:

- Kontrolliertes Fertigungsumfeld
- Bessere Qualitätssicherung
- Geringe Belastung des direkten Umfeldes
- Schnelle Bauzeit
- Leichte Rückbaubarkeit (Recycling)

Nachteile:

- Bauphysik ?
- Variabilität
- Kosten*
- Image !!!

*EU Osterweiterung, Arbeit war billiger
Infrastruktur Fertigung teuer, braucht Stückzahl

Architektur

Vorfertigung

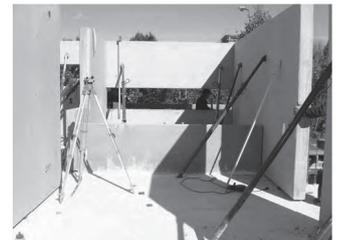


Abb. 10: Europen 6, BLAUWERK Architekten, 2005

Architektur

Raumzellen im Wohnungsbau

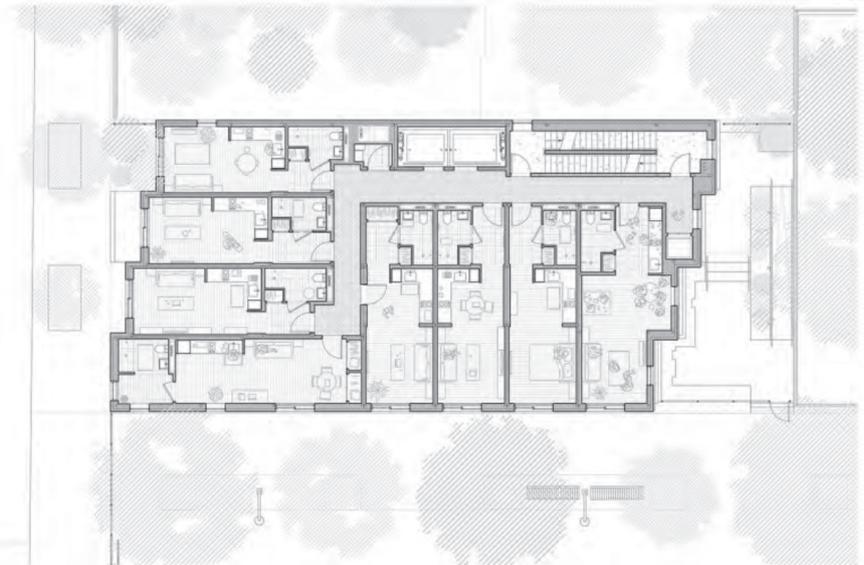


Abb. 11: Carmel Place N.Y., nArchitects

Architektur

Raumzellen im Wohnungsbau

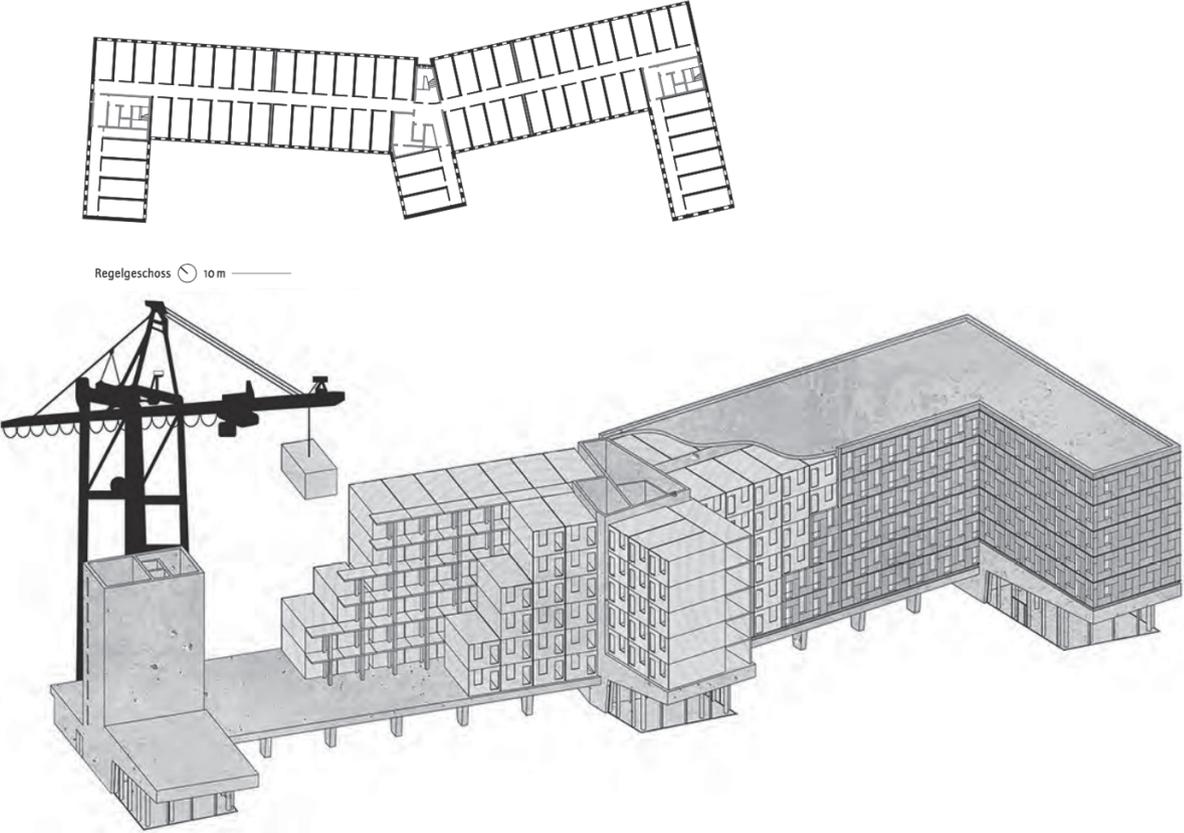


Abb. 12: Woddie, Sauerbruch Hutton, 2018

Architektur

Optimierung im Wohnungsbau



Abb. 13: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching,
Maxmodul



Modulbau

Anwendungsbeispiel Betonraumzelle



Abb. 14: BLAUWERK Architekten, St.Johannis Nürnberg

Wohnungsbau

Nachverdichtung

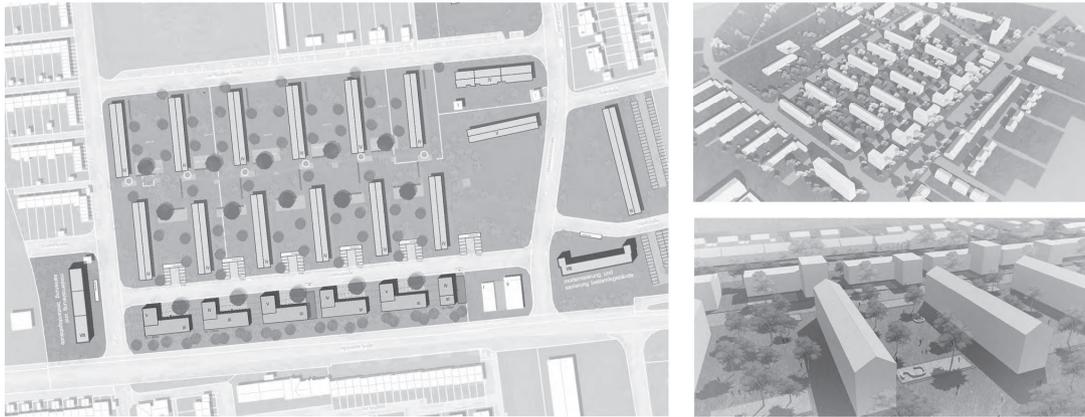


Abb. 15: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Wohnungsbau

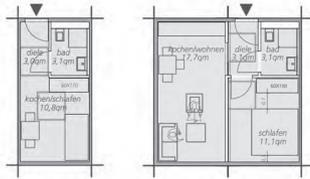
Optimiert kostengünstig



Abb. 16: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Wohnungsbau

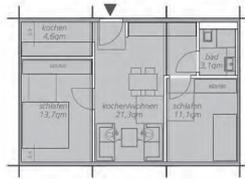
Raumzellen, Regelgrundrisse



1zi-whng
16,90 m²



2zi-whng
35,00 m²



3zi-whng
53,90 m²



4zi-whng
71,70 m²



4zi-whng
71,30 m²

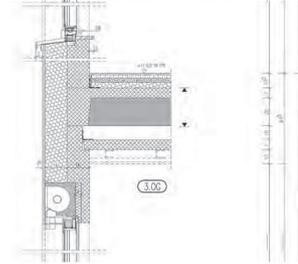


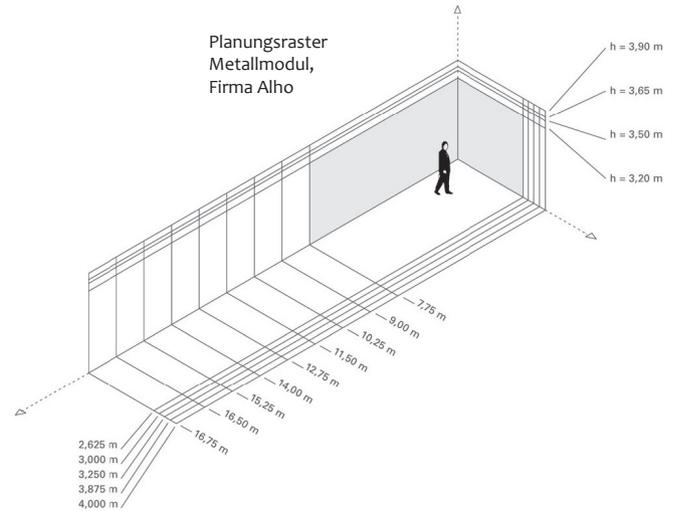
Abb. 17: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Wohnungsbau

Architekten für Raumzellen?



Abb. 18: Brecht, Maxmodul



Wohnungsbau

Raumzellen

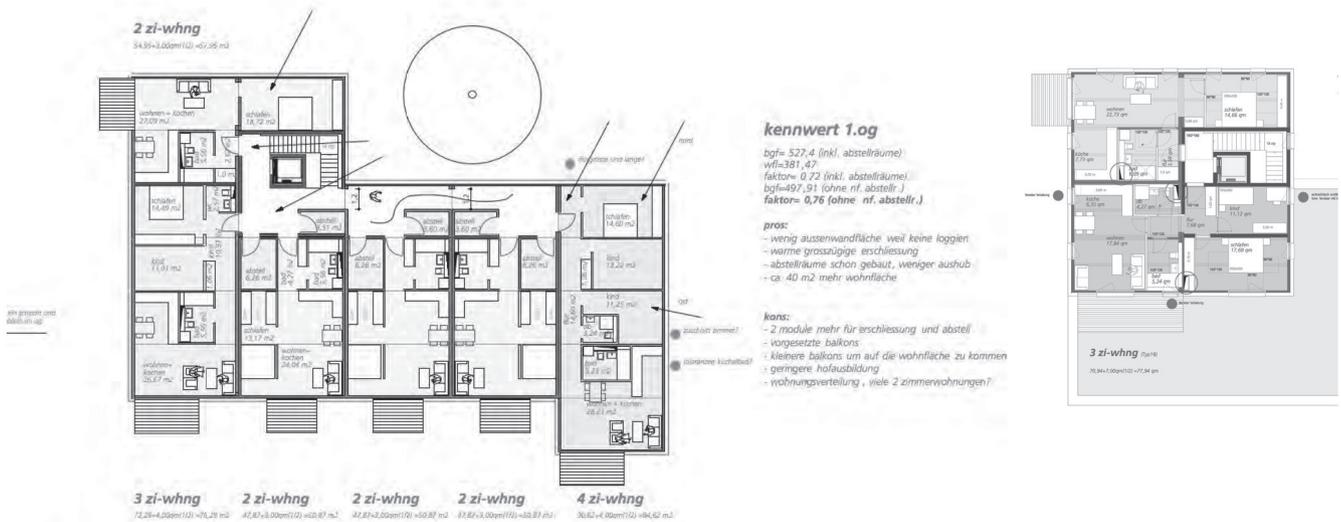


Abb. 19: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmudol

Wohnungsbau

Raumzellen Ansicht

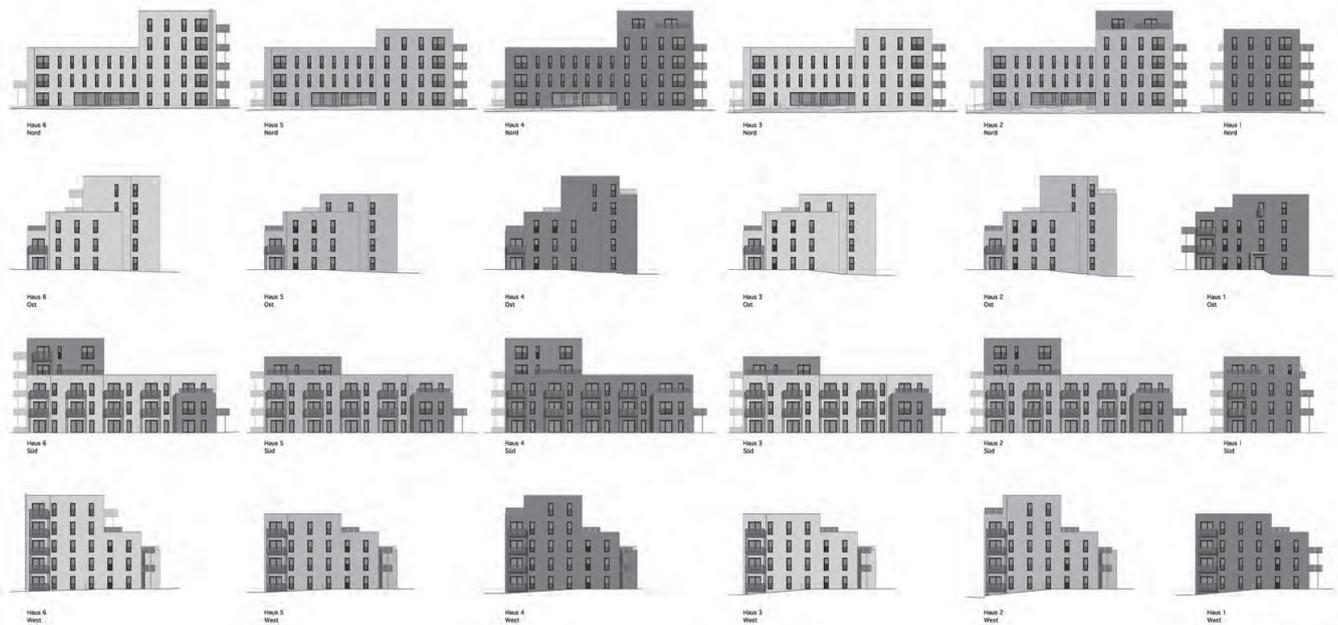


Abb. 20: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Produktion klassisch

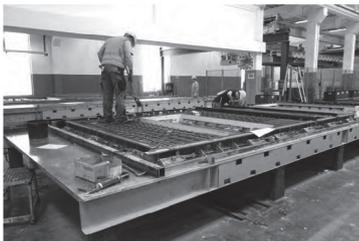


Abb. 21: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Lean Production



Abb. 22, 23: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Lean Production



Abb. 24: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Baustelle Aufbau



Abb. 25: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Baustelle Fugen



Abb. 26: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Baustelle Verbindung Haustechnik



Abb. 27: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Schnittstelle Modul - Ortbeton

Aufbau



Abb. 28, 29: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Modulbau

Architektur

„Die Einführung dieses Systems erforderte von allen Beteiligten zunächst einen Mehraufwand. Von der Hard- und Software über die Qualifizierung der Mitarbeiter bis hin zur Pflege des digitalen Modells mussten alle Arbeitsprozesse entscheidend geändert werden – ein echter „Kulturwandel“ war bei Maxmodul dazu erforderlich.“

Mit dem Projekt GBW Manching wurde der Digitalisierungsprozess bei Max Bögl zum festen Bestandteil der Planung und Ausführung im Werk und auf der Baustelle. Das kooperative Arbeiten – von der industriellen Fertigung bis zur Montage – setzt voraus, dass alle Daten miteinander kompatibel sind. Hier zeigt das Projekt, dass sich bereits jetzt ganz neue Möglichkeiten für das Planen und Bauen der Zukunft ergeben.“

maxmodul



Abb. 30: BLAUWERK Architekten,
Donaufeldsiedlung Manching, Maxmodul

Innovation in Industrialized Construction: Emerging business models and technical approaches from Silicon Valley



“Organizations which design systems ... are constrained to produce designs which are copies of the communication structures of these organizations.”

Conways's Law (1968)

Daniel Hall is Assistant Professor of Innovative and Industrial Construction at the Institute of Construction and Infrastructure Management, ETH Zurich, Switzerland. The overarching theme of his research is to enhance innovation and entrepreneurship in the construction industry through new technologies, processes, and organizational models to integrate the fragmented construction supply chain. His research interests are industrialized construction and innovative project management. Ongoing research in industrialized construction includes circular economy models for industrialized housing, cloud-based configuration platforms, and new business models for systemic innovation in industrialized production. Ongoing research in innovative project management includes smart contracts using blockchain, managing digital fabrication, integrated project delivery, collaborative design management in VR/AR, and common data environments to enable virtual design and construction. Prof. Hall holds a Doctor of Philosophy (2017) in Civil and Environmental Engineering (CEE) from Stanford University where he was recipient of the Charles H. Leavell Fellowship for Civil Engineering.



Over the past decade, Silicon Valley has been at the center of entrepreneurial approaches to industrialize construction. A new generation of firms have emerged with the intent to link downstream manufacturing and assembly activities with upstream design constraints. These firms attempt to industrialize the construction process through the use of off-site manufacturing, prefabrication, modular construction, automation, and/or robotics. In addition, these industrialized construction firms strategize for long-term relationships between participants, supply chain management integration, design for manufacturing and assembly, and a new focus on customer requirements (Lessing 2006, 2015).

Industrialized construction firms benefit from rethinking construction at the system level. This includes the physical product architecture and the digital design-to-production chain (Hall et al. 2019). However, systems-level innovation in construction is difficult (Hall et al. 2018; Katila et al. 2018; Taylor and Levitt 2004, 2007). It can require firms to “break the mirror” (Colfer and Baldwin 2016) that exists between the design of building systems and the established divisions of work found in project teams (Hall et al. 2019).

Meanwhile, industrialized construction has seen significant investment in recent years. In 2018, over \$1 billion USD of funding was secured by industrialized construction startup firms (see Figure 1). Many of these firms are located in Silicon Valley and the San Francisco Bay Area. Industrialized construction firms in Silicon Valley are exploring new business models to deliver design-to-production chains.

The traditional business model in construction occurs through the delivery of projects organized into temporary project teams.

These teams are characterized by horizontal, vertical, and longitudinal fragmentation (Fergusson 1993). New business models are created to better align the organization of the firm with the technical dependencies required (Colfer and Baldwin 2016) to create design-to-production chains and develop new product architectures. These business models might capture greater value than existing business models. From Silicon Valley, there are three examples of new business models that depart from the traditional project delivery method of organizing for construction.

Industrialized construction firms benefit from rethinking construction at the system level.

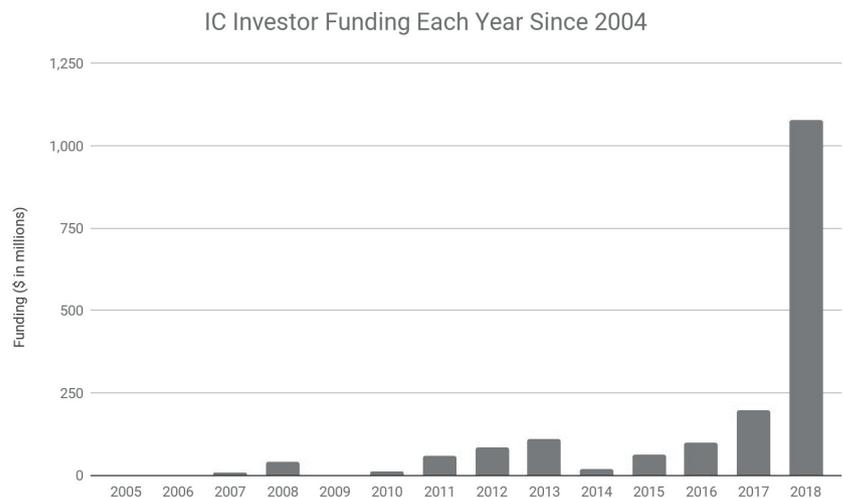


Fig. 1: Investment in US Industrialized Construction Firms by Year. Source: Pullen et al. (2019)

The first business model is spinoff factories from project-based firms. Established general contractor firms are developing or investing in spinoff factories. These spinoff factories might exist as a new division within the same company, or a new startup company. Inter-organizational arrangements between factory and established contractor fosters high levels of communication and cooperation across boundaries using informal and formal mechanisms. The established contractor and the new offsite factory can mutually benefit in the context of a long-term relationship (Colfer and Baldwin 2016). The established business model of the existing firm does not need to change. An example from Silicon Valley is Digital Building Components, which is a spinoff that was funded by DPR Construction.

The second business model is vertical integration. These firms often redefine the business model of construction through horizontal, vertical and longitudinal integration. They are structured as integrated hierarchical firms, keeping the control of product architecture and processes in-house. These firms do not outsource production but typically elect to conduct construction activities within a central offsite factory. Design, manufacturing, transport, and assembly are all coordinated within the same integrated firm. These new firms often focus on the delivery of housing as it offers repeatable modules and the ability to scale across the market. Two examples of these firms in Silicon Valley and the San Francisco Bay Area are RAD Urban and Katerra.

The third business model is digital systems integration. These firms design and integrate a new system or product architecture but do not own the manufacturing technology themselves. They instead leverage an integrated cloud-based product configurator (Cao

and Hall 2019) to enable mass customization. Using principles of capital-light industry 4.0 supply chains, digital system integrators can manufacture parts from periphery supply chain partners suppliers such as the automotive, aerospace, manufacturing or industrial sectors. They are longitudinally integrated through their digital platforms and build long-term relationships with partners in the design, procurement, fabrication, and assembly stages. The benefit is a capital-light digital firm that can create a new ecosystem around its digital platform integration. An example from Silicon Valley is the firm Project Frog.

Business models of spinoff factories from project-based firms, vertical integration, and digital systems integration do not represent all potential business models for industrialized construction. It is possible that other business models might emerge. Instead, these business models should be understood as strategic attempts to design a ‘formal structure of an organization’ that can better “mirror” the design of the underlying technical system (Colfer and Baldwin 2016) required for successful implementation of industrialized construction.

Looking forward, these examples from Silicon Valley have several potential implications for the future of construction.

First, there is evidence of a shift **from projects to product platforms**. Product platforms enable longitudinal continuity through the development of a proprietary technical building system, often referred to as the product platform. Projects are then delivered using a ‘kit of parts’ derived from this platform. The platform provides longitudinal continuity where organizational knowledge about the technical building system can be embedded and

continuously improved. Versions of the building system are released in a similar way to versions of mobile phones or software are released (e.g. version 1.0, version 2.0, etc.) The knowledge embedded in the development and maintenance of this technical building system platform can be considered a strategic asset (Johnsson 2011). Products that are not built by the firm are procured using long-term partnerships with others in the supply chain instead of through competitive bidding.

Second, there is potential for **construction industry disruption** through a mechanism theorized as the “innovator’s dilemma” (Christensen 2013). Industrialized construction startups and entrepreneurs have entered at the less ‘complex’ end of the market. For example, firms in Silicon Valley are entering the residential housing market. This is one of the least complex and most repetitive sectors of the construction industry. Large, project-based firms that manage complex mega-projects will see little competition from these firms in the near future. Relatively small housing projects do not interest or attract the core business of entrenched industry players. Yet should these new firms derive higher productivity using integrated business models, they may eventually be able to move up from the lower end of the value chain to more complex projects and disrupt more established firms in the industry.

Third, these trends might see **acceleration driven by future systemic innovations** such as robotics and additive manufacturing. These systemic innovations offer great potential for the future of construction (García de Soto et al. 2018). They also have new technical requirements and drive new organizational arrangements. For example, research conducted at the NCCR digital fabrication at ETH

Zürich demonstrates that these innovations require intense cross-discipline collaboration between architects, material scientists, structural engineers, construction engineers, and roboticists (Graser et al. 2019). It will require a systemic re-orientation of the supply chain to diffuse in the construction industry. New business models such as vertical integration and digital systems integration might have the ability to more rapidly adjust organizational structure. This can allow these firms to better align the required product knowledge with technical dependencies required for these innovations. It is more difficult for established project-based contractors to do this due to the longitudinal fragmentation that occurs when teams move from project to project. Furthermore, vertically-integrated firms can better invest in expensive manufacturing technologies and distribute the costs over several years, where project-based firms often hesitate to make significant investments beyond any one project.

In summary, three new business models are emerging for industrialized construction. Three examples from Silicon Valley include: spinoff factories from project-based firms, vertical integration, and digital system integration. Future trends might suggest that the industry will continue to move from projects to product platforms, should be aware of potential for industry disruption, and understand that new digital fabrication technologies represent systemic innovations that might accelerate these trends at an even faster pace.



In summary, three new business models are emerging for industrialized construction.

References

- Cao, J., and Hall, D. (2019). "An overview of configurations for industrialized construction: typologies, customer requirements, and technical approaches." *Proceedings of the 2019 European Conference for Computing in Construction*, 295–303.
- Christensen, C. (2013). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Review Press.
- Colfer, L. J., and Baldwin, C. Y. (2016). "The mirroring hypothesis: Theory, evidence, and exceptions." *Industrial and Corporate Change*, 25(5), 709–738.
- García de Soto, B., Agustí-Juan, I., Hunhevicz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G., and Adey, B. T. (2018). "Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall." *Automation in Construction*, Elsevier, 92(2018), 297–311.
- Graser, K., Wang, Y., Hoffman, M., Bonanomia, M. M., Kohler, M., and Hall, D. (2019). "Social Network Analysis of DFAB House: a Demonstrator of Digital Fabrication in Construction." *Engineering Project Organization Conference*, P. S. Chinowsky and J. J. Taylor, eds., Vail, CO, 1–21.
- Hall, D. M., Algiers, A., and Levitt, R. E. (2018). "Identifying the Role of Supply Chain Integration Practices in the Adoption of Systemic Innovations." *Journal of Management in Engineering*, 34(6), 04018030.
- Hall, D. M., Whyte, J. K., and Lessing, J. (2019). "Mirror-breaking strategies to enable digital manufacturing in Silicon Valley construction firms: a comparative case study." *Construction Management and Economics*, Routledge, 0(0), 1–18.
- Johnsson, H. (2011). "THE BUILDING SYSTEM AS A STRATEGIC ASSET IN industrialized construction." *Nordic conference on construction economics and organisation*, (Barney 1991).
- Katila, R., Levitt, R. E., and Sheffer, D. (2018). "Systemic Innovation of Complex One-off Products: The Case of Green Buildings." *Organization Design*, 40, 299–328.
- Lessing, J. (2006). "Industrialised House-Building: Concept and Processes." *Licentiate thesis*, Division of Design Methodology, Department of Construction Sciences, Lund University.
- Lessing, J. (2015). "Industrialized House-Building - Conceptual Orientation and Strategic Perspectives." *Lund University*.
- Pullen, T., Hall, D. M., and Lessing, J. (2019). *White Paper: A Preliminary Overview of Emerging Trends for Industrialized Construction in the United States*. Zurich, Switzerland.
- Taylor, J. E., and Levitt, R. E. (2004). *Understanding and Managing Systemic Innovation in Project-based Industries*. *Innovations: Project management research*, Project Management Institute, Newton Square, Pa.
- Taylor, J., and Levitt, R. (2007). "Innovation alignment and project network dynamics: An integrative model for change." *Project Management Journal*, 38(September), 22–35.

Outro

Sponsoren

247

**Wir bedanken uns herzlich bei unseren Sponsoren
für die Unterstützung des 24. Industrieauseminars!**



Unter dem Titel Innovationsinkubator Industriebau haben wir uns 2019 im Rahmen des 24. Internationalen Industrieauseminars an der TU Wien – nach der intensiven Erörterung der beschleunigten Digitalisierung in der Branche in den vergangenen Seminaren – damit auseinandergesetzt, wie der Industriebau seit jeher starker Innovationstreiber der Bauindustrie war und uns dieser spannenden Thematik anhand von Beiträgen von ExpertInnen aus Forschung und Entwicklung, Praxis und Industrie intensiv gewidmet.

Als besonderes Highlight durften wir Bernard Plattner vom Renzo Piano Building Workshop (RPBW Architects) mit der Public Lecture Piece for Piece begrüßen.